

# Sûreté post Fukushima : le rapport « Évaluations complémentaires de sûreté » de l'Autorité de Sûreté Nucléaire

Yves Maignac, 19 février 2012

## 1 - Pourquoi un rapport ECS (Évaluations complémentaires de sûreté) ?

Les conclusions rendues le 3 janvier 2012 par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) sur le renforcement des installations nucléaires françaises après Fukushima<sup>1</sup> s'inscrivent dans un contexte particulier. D'un côté, l'ASN elle-même précise dès le début de son avis que l'analyse sur laquelle ces conclusions s'appuient, moins d'un an après la catastrophe du 11 mars 2011, ne « constitue [que] la première étape du processus de retour d'expérience de l'accident de Fukushima, qui pourra prendre une dizaine d'années ». On comprend donc que les prescriptions formulées à ce stade par l'ASN ne présagent pas d'une révision plus complète des exigences de sûreté à venir : les premiers renforcements demandés ne valent pas quitus aux exploitants pour la suite.

Mais de l'autre, le temps semble compté. Avec un parc nucléaire construit massivement sur une période très courte, l'heure des choix approche. Ainsi, 80 % des réacteurs en service actuellement ont été mis en service entre 1977 et 1987. Ils ont déjà atteint ou atteindront 30 ans de fonctionnement au plus tard en 2017 et ils atteindront, si leur exploitation au-delà de 30 ans est autorisée, 40 ans entre 2017 et 2027. Le développement de la maîtrise de la demande d'électricité et des énergies renouvelables ou la construction d'un nouveau parc de réacteurs nucléaires prendront du temps. La

tentation de prolonger la durée de vie du parc actuel pour reculer l'échéance du choix entre ces deux options est grande, d'autant plus que cette stratégie apparaît la moins « coûteuse » dans un calcul économique à court terme<sup>2</sup>. Seul problème : pour s'engager dans la prolongation de la durée de vie des réacteurs comme le souhaite EDF, il faut garantir que l'ASN autorisera leur fonctionnement, et donc lever rapidement et à moindre coût l'hypothèque des exigences post-Fukushima.

La définition de nouvelles exigences de sûreté se trouve ainsi au cœur des décisions à venir. Cette démarche suppose d'abord de réévaluer le risque posé par les réacteurs actuels, ensuite d'envisager les possibilités de réduction du risque ainsi réévalué, et enfin de décider du niveau d'acceptabilité du risque résiduel en fonction des améliorations possibles. Bien entendu, ce risque doit être comparé à celui que l'on peut attendre de nouveaux réacteurs auxquels le même effort de réévaluation et de réduction du risque doit par ailleurs être appliqué.

Les « évaluations complémentaires de sûreté » (ECS) sur lesquelles s'appuie l'ASN s'inscrivent bien dans cette démarche d'analyse du risque et des moyens de le réduire. Ces évaluations font suite à la demande d'un audit de sûreté formulée dès le 23 mars 2011 par le Premier ministre<sup>3</sup> et que l'ASN a engagé le 25 mars<sup>4</sup>. Conformément aux premiers enseignements de Fukushima, le cahier des charges élaboré par l'ASN portait essentiellement sur l'examen pour les réacteurs

1 - ASN, Avis n° 2012-AV-0139 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 3 janvier 2012 sur les évaluations complémentaires de la sûreté des installations nucléaires prioritaires au regard de l'accident survenu à la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi. Paris, 3 janvier 2012. <http://www.asn.fr/index.php/content/download/32343/234586/file/2012-AV-0139.pdf> Cet avis est complété par un rapport technique : ASN, Évaluations complémentaires de sûreté - Rapport de l'Autorité de sûreté nucléaire. 522 p. Paris, décembre 2011. <http://www.asn.fr/index.php/content/download/32357/234808/file/ECS-Rapport-de-l-ASN-12-2011.pdf>

2 - Voir à ce sujet les articles consacrés dans ce numéro à l'analyse du rapport de la Cour des Comptes sur le coût du nucléaire et du rapport de la Commission Énergies 2050 sur les choix énergétiques à long terme.

3 - Lettre du Premier ministre au Président de l'Autorité de sûreté nucléaire, 23 mars 2011. <http://www.asn.fr/index.php/content/download/29003/177367/file/12.03+Lettre+du+Premier+ministre-saisine+de+l%5C%27ASN.PDF>

4 - Lettre du Président de l'Autorité de sûreté nucléaire en réponse au Premier ministre. Paris : ASN, 25 mars 2011. <http://www.asn.fr/index.php/content/download/29044/177693/file/lettre-reponse-aclacoste-a-ffillon.pdf>

d'une part de leur robustesse à des agressions naturelles supérieures à celles prévues à la conception, d'autre part de leur comportement en cas de perte totale des alimentations électriques et/ou des sources de refroidissement. Après concertation notamment au sein du Haut comité à la transparence et à l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN), le cahier des charges a été élargi pour traiter les autres installations nucléaires et pour prendre en compte le facteur organisationnel et humain, en particulier le rôle de la sous-traitance.

Par une série de décisions du 5 mai 2011, l'ASN a demandé aux exploitants de produire des rapports ECS pour chacun des sites nucléaires concernés selon le cahier des charges ainsi défini<sup>5</sup>. Ces rapports, remis à l'ASN le 15 septembre 2011<sup>6</sup>, ainsi que leur évaluation globale par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) remise en novembre 2011<sup>7</sup> ont été rendus publics sans attendre les conclusions de l'ASN, qui dit avoir ainsi tenu compte des différentes remarques formulées sur ces rapports.

Il faut toutefois souligner que jamais dans l'ensemble de ce processus, malgré sa transparence inédite sur bien des points, la question de l'acceptabilité n'a été posée en tant que telle. Ce point reste au contraire à l'entière discrétion de l'ASN. Dans son avis, elle porte ainsi sur les installations le jugement suivant :

« À l'issue des évaluations complémentaires de sûreté des installations nucléaires prioritaires, l'ASN considère que les installations examinées présentent un niveau de sûreté suffisant pour qu'elle ne demande l'arrêt immédiat d'aucune d'entre elles. Dans le même temps, l'ASN considère que la poursuite de leur exploitation nécessite d'augmenter dans les meilleurs délais, au-delà des marges de sûreté dont elles disposent déjà, leur robustesse face à des situations extrêmes. »

## 2 - Les principales recommandations de l'ASN

L'ASN formule sur la base de ce constat pour le moins ambigu une série de recommandations qui portent essentiellement sur deux registres : celui du renforcement des installations elles-mêmes, et celui de l'évolution du référentiel de sûreté applicable aux installations.

5 - Par exemple : ASN, Décision n° 2011-DC-0213 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 5 mai 2011 prescrivant à Electricité de France (EDF) de procéder à une évaluation complémentaire de la sûreté de certaines de ses installations nucléaires de base au regard de l'accident survenu à la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi. <http://www.asn.fr/index.php/content/download/29568/181580/file/Decision-n-2011-DC-0213.pdf>

6 - Il s'agit plus précisément des rapports concertant les 80 installations nucléaires de base qui ont été jugées prioritaires, dont les 58 réacteurs exploités par EDF, plus l'EPR, et les principales usines de la chaîne du combustible. Les rapports concernant les autres installations devront être remis au plus tard le 15 septembre 2012.

7 - IRSN, Évaluations complémentaires de sûreté post-Fukushima : comportement des installations nucléaires françaises en cas de situations extrêmes et pertinence des propositions d'améliorations, rapport n° 679, 2 tomes, novembre 2011.

Pour le premier, l'ASN introduit différentes prescriptions aux exploitants autour de quatre idées :

- l'idée centrale formalisée par l'IRSN et retenue par l'ASN à l'issue des ECS est celle d'un « noyau dur ». Il s'agit de définir et de mettre en œuvre pour chaque installation un ensemble « de dispositions matérielles et organisationnelles permettant de maîtriser les fonctions fondamentales de sûreté dans des situations extrêmes », en d'autres termes d'assurer quelques soient les circonstances des moyens matériels et humains de gestion de crise d'une part, et des moyens d'alimentation électrique et de refroidissement « d'ultime secours » d'autre part. L'ASN demande aux exploitants de proposer avant le 30 juin 2012, pour chacune de leurs installations, « le contenu et les spécifications » de ce « noyau dur » ;
- en complément, pour les seules centrales nucléaires et conformément à une proposition d'EDF, l'ASN demande la mise en place progressive d'une « force d'action rapide nucléaire (FARN) » qui devra être complètement opérationnelle fin 2014. La FARN est définie comme « un dispositif national d'intervention rassemblant des équipes spécialisées et des matériels, pouvant assurer la relève des équipes d'un site accidenté et mettre en œuvre des moyens complémentaires d'intervention d'urgence en moins de 24 heures » ;
- les prescriptions ne visent que de manière ponctuelle des éléments de renforcement des dispositifs existants de prévention des accidents graves. Un premier point concerne, pour l'ensemble des piscines d'entreposage de combustibles des différentes installations, dont celles des réacteurs et de l'usine de retraitement de La Hague, « la mise en place de dispositions renforcées visant à réduire les risques de dénoyage du combustible ». Outre le refroidissement des piscines, il s'agit également à La Hague de renforcer la robustesse du refroidissement des cuves d'entreposage des solutions concentrées de produits de fission. Un second point concerne, pour les réacteurs, le « renforcement du dispositif d'éventage-filtration de l'enceinte de confinement des réacteurs afin d'améliorer sa robustesse et son efficacité ». En effet, les ECS ont montré que certains dispositifs requis pour la gestion d'accident grave, et notamment ce dispositif dit U5 d'évacuation de la pression croissante avant rupture de l'enceinte en cas de fusion du cœur, ne sont pas dimensionnés au séisme et pourraient donc s'avérer inutilisables dans le cas d'un séisme provoquant un accident grave (cas jugé jusqu'à présent impossible) ;
- enfin, l'ASN ne formule qu'une prescription visant le renforcement des barrières de protection de l'environnement vis-à-vis des conséquences d'un accident grave. Encore ne le fait-elle que de manière indicative, en demandant simplement, « pour les centrales nucléaires et les silos de La Hague [des] études de faisabilité en vue de la mise en place de dispositifs techniques, de type enceinte géotechnique ou d'effet

équivalent, visant à protéger les eaux souterraines et superficielles en cas d'accident grave ».

Pour le second, les évolutions envisagées dans les référentiels de sûreté concernent d'une part la question de la conformité des installations à leur état de référence, et d'autre part la question du renforcement des exigences vis-à-vis des risques de séisme, d'inondation et d'agression par d'autres activités industrielles :

- les ECS ont mis en évidence l'importance de la conformité de tous les éléments participant à la sûreté dans les installations au niveau de robustesse et/ou d'efficacité attendu d'eux dans les démonstrations de sûreté. Les examens menés ont également révélé de nombreux problèmes de non conformité. L'ASN souligne qu'un renforcement des exigences de détection et de traitement des non conformités est nécessaire et indique que ce point est engagé dans l'arrêté fixant les nouvelles règles générales relatives aux installations nucléaires de base (INB), en attente de signature à l'époque et signé depuis<sup>8</sup> ;
- concernant les référentiels vis-à-vis du risque, le premier point est le séisme. L'ASN considère que les marges des réacteurs sont globalement suffisantes et se concentre sur le renforcement d'autres installations plus anciennes. Pour les centrales, les deux éléments retenus sont la protection des équipements de sûreté vis-à-vis d'un incendie consécutif à un séisme, et l'amélioration de l'appropriation par les opérateurs du risque sismique. De même pour l'inondation, l'ASN estime que le niveau de protection atteint à l'issue du retour d'expérience de l'accident du Blayais en 1999 est satisfaisant et que la priorité est d'achever sa mise en œuvre sur toutes les centrales. Au-delà, l'ASN vise une augmentation du niveau volumétrique de protection des centrales (rehausse des protections), et la mise en application d'exigences similaires dans les installations de la chaîne du combustible. Enfin, l'ASN juge « nécessaire de réévaluer les risques induits par les autres activités industrielles présentes autour des installations nucléaires », c'est-à-dire de réévaluer les conséquences sur ces installations d'agressions naturelles extrêmes et leur répercussion sur les installations nucléaires. L'ASN prescrira aux exploitants nucléaires de compléter leurs évaluations dans ce sens.

Pour mettre en perspective ces conclusions, nous reproduisons ci-dessous l'intégralité de la synthèse d'un rapport indépendant d'évaluation du processus d'ECS<sup>9</sup> paru le 20 février 2012, qui dresse une analyse

8 - Arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base. <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000025338573&dateTexte=&categorieLien=id>

9 - IEER / WISE-Paris, Sûreté nucléaire en France post-Fukushima : Analyse critique des Évaluations complémentaires de sûreté (ECS) menées sur les installations nucléaires françaises après Fukushima. Rapport commandité par Greenpeace, 176 p. Paris, février 2012. <http://www.greenpeace.org/france/PageFiles/3007/18/120217RapportECS-IEER-WISE-Paris.pdf>

critique des évaluations présentées par les exploitants et de l'avis rendu par l'IRSN. À l'issue de cette synthèse, nous analyserons les faiblesses et les manques des leçons tirées par l'ASN.

### 3 - Analyse critique des Évaluations complémentaires de sûreté (ECS)

Résumé du Rapport établi par Arjun Makhijani (IEER) et Yves Marignac (Wise) à la demande de Greenpeace

La catastrophe qui a frappé la centrale de Fukushima Dai-ichi au Japon le 11 mars 2011 a définitivement démontré qu'un scénario d'accident jugé jusque là trop improbable pouvait se réaliser. Pour répondre aux défaillances multiples et sans précédent de la sûreté nucléaire ainsi mises en évidence, le Gouvernement français a engagé très vite une démarche d'évaluation complémentaire de la sûreté (ECS) des principales installations nucléaires. Les rapports ECS des exploitants ont été publiés en septembre 2011 et leur analyse par l'IRSN a été publiée en novembre 2011. Ces mesures de transparence inédites, accompagnées d'une concertation dans les instances nationales et locales concernées, ouvrent la voie à une expertise pluraliste du dossier.

Le présent rapport dresse une analyse critique de la démarche conduite à travers les ECS, depuis leur cahier des charges jusqu'aux conclusions de l'IRSN, en s'appuyant notamment sur l'analyse menée par EDF sur les trois sites de Gravelines, Civaux et Flamanville couvrant les différents paliers du parc de réacteurs ainsi que le projet de réacteur EPR en construction, et sur l'analyse menée par Areva pour les usines de retraitement de La Hague. À ce stade, notre analyse porte sur le processus d'évaluation technique et n'étudie pas les premières conclusions et prescriptions qu'en a tirées l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) début janvier 2012. Vus les délais courts et les ressources limitées, nous n'avons pas cherché à examiner tous les sites ou tous les problèmes. En conséquence, nous avons ciblé certaines questions de sûreté essentielles et formulé des recommandations qui, nous espérons, apporteront des éléments utiles au débat français sur la sûreté nucléaire.

Les rapports ECS étudiés présentent des points forts qu'il est important de souligner. Pour la première fois, des hypothèses écartées à la conception et dans la conduite des installations sont envisagées et leurs conséquences examinées. Conformément au cahier des charges, ils étudient de façon systématique les scénarios d'accident grave qui pourraient être déclenchés par un séisme et/ou l'inondation, y compris dépassant le dimensionnement des installations, ainsi que l'ensemble des situations pouvant découler d'une perte des alimentations électriques et/ou des sources de refroidissement. Enfin, les dispositifs qui devraient être mis en place pour prévenir des rejets radioactifs importants sont décrits en détail, et des propositions

de dispositifs de renforcement sont introduites. Par conséquent, les documents ECS fournissent un premier éclairage important sur la sûreté nucléaire en France et les mesures qui pourraient être nécessaires pour réduire les risques d'accidents graves telles qu'on doit les envisager après Fukushima.

### 3-1 - Principales conclusions

Notre analyse des évaluations complémentaires de sûreté confirme, au-delà des conclusions tirées dans leurs rapports par les exploitants, qu'à la lumière de Fukushima plusieurs scénarios d'accident majeur doivent être considérés comme plausibles :

- pour les 58 réacteurs en exploitation d'EDF, quelque soit le palier considéré :
  - un accident de fusion du cœur peut conduire à une rupture brutale de l'enveloppe (fuite atmosphérique majeure) et/ou un percement du radier (contamination des eaux),
  - un accident de vidange de piscine d'entreposage peut conduire à un feu du combustible et à des rejets très importants faute d'enveloppe de confinement de ce bâtiment ;
- pour le projet de réacteur EPR, les mêmes risques ne peuvent pas être totalement écartés ;
- pour les usines de retraitement de La Hague, un accident majeur peut se produire sur une piscine de combustible ou sur un stockage de déchets liquides hautement radioactifs.

Les rapports ECS constituent un bon point de départ pour envisager le renforcement de la sûreté des installations vis-à-vis de ces scénarios, mais ils présentent en l'état trop de limites et de lacunes pour fonder des décisions définitives.

À l'examen, le cahier des charges très limité et son interprétation par les exploitants ont en effet conduit à des faiblesses importantes dans les ECS :

1. Une réserve générale doit être posée sur les conclusions apportées par les exploitants, du fait d'une part des limites dans l'analyse de l'état réel des installations, et d'autre part que les démonstrations présentées n'ont dans l'ensemble pas pu s'appuyer sur de nouvelles études. De nombreuses conclusions reposent ainsi sur la justification par les « jugements d'experts » et la confiance des ingénieurs dans la qualité de la conception et de la construction des installations ;
2. Le tableau des déclencheurs et aggravations possibles de situations accidentelles n'est pas complet et les situations étudiées dans les ECS ne sont donc pas « enveloppe » des scénarios d'accident. Les éléments suivants manquent ou ne sont pas suffisamment développés dans les ECS :
  - a) les scénarios découlant de défaillances matérielles sur les équipements des installations, d'erreurs humaines et d'actes de malveillance,

- b) les défaillances et agressions secondaires pouvant résulter d'un séisme et/ou une inondation et d'une perte d'alimentation électrique et/ou de refroidissement, notamment : (i) ruptures dans les circuits primaire et secondaire de refroidissement des réacteurs, (ii) chutes de charge (y compris d'un assemblage de combustible usé lors de son transfert ou d'un château de transport du combustible), (iii) incendies et (iv) explosions, y compris les explosions d'hydrogène dans les réacteurs et les explosions chimiques de « red oil » à La Hague.

3. Des facteurs susceptibles de rendre plus difficiles la gestion d'un accident, notamment la contamination sur le site due à la défaillance d'installations secondaires non-classées ne sont pas pris en compte. La contamination du site s'est révélée être un facteur important dans les difficultés auxquelles les autorités et le personnel se sont heurtés pour gérer l'accident de Fukushima. Celui-ci a aussi démontré que la contamination hors site peut compliquer la mobilisation des secours extérieurs et détourner les ressources, comme le personnel de protection. À ce titre, la réflexion menée dans le cadre des ECS doit conduire à une réévaluation des scénarios pour la planification de la gestion des conséquences immédiates de l'accident hors site et la gestion post-accidentelle à plus long terme.

4. Plusieurs questions génériques importantes ne sont pas examinées, dont :

- a) les limites imposées par les choix non ou difficilement réversibles de conception, telles que le dimensionnement des enceintes des réacteurs ou celui des piscines d'entreposage du combustible sur les sites des centrales et à La Hague ;

- b) le rôle que le vieillissement joue dans l'aggravation des conséquences des accidents. Les ECS sont basées sur un état théorique des installations mi-2011 et ne prennent pas en compte le vieillissement, qui augmente le risque de défaillance des dispositifs de sûreté et celui de rupture d'éléments matériels, y compris non remplaçables (cuve et enceinte des réacteurs).

5. En général, les propositions développées autour de l'idée de « noyau dur » pour l'alimentation électrique et le refroidissement, et du renforcement des moyens de gestion de crise répondent par l'aval sans réduire en amont le potentiel de danger. Il manque par exemple dans les ECS :

- a) une réflexion sur des facteurs de risques tels que l'utilisation de gaines de combustible en zirconium. Le zirconium joue un rôle central dans les accidents de fusion et dans la production d'hydrogène lors de ces types d'accidents, comme cela s'est produit à Three Mile Island et à Fukushima, mais la possibilité de recourir à des matériaux alternatifs n'est pas abordée ;

- b) une évaluation du facteur aggravant que constitue l'utilisation du combustible MOX ou du risque que génère l'entreposage concentré de grandes quantités de combustible, dont une part importante de MOX, à La Hague.

### 3-2 - Principales recommandations

Les documents ECS devraient être révisés selon un cahier des charges plus complet, qui inclut les agressions internes et externes, et la gestion des crises prenant en compte la contamination sur site et hors site. Les analyses présentées devraient également mieux identifier les marges d'incertitude pesant sur les conclusions et les moyens et délais envisagés pour les réduire. En outre, les ECS devraient prendre en compte l'état actuel des installations.

Élargir le cercle de l'expertise de ces dossiers nous semble nécessaire et constitue à terme un moyen de faire émerger et de mettre en débat une approche plus complète pour définir des nouvelles exigences de sûreté et leurs conditions de mise en œuvre. À ce titre, un processus de recensement systématique et de suivi des différents approfondissements et prolongements de la démarche ECS devrait être mis en place, et des revues indépendantes devraient être prévues aux étapes les plus critiques. Ce processus devrait en particulier couvrir la réalisation des améliorations des ECS recommandées ci-après.

#### 3-2-1 - Les scénarios d'accident pour les réacteurs

Les rapports ECS d'EDF montrent des limites importantes dans l'étude des scénarios considérés. Outre les limites fixées par le champ et le cahier des charges des ECS, EDF écarte systématiquement toute hypothèse d'aggravation des scénarios par des agressions induites par le déroulement de l'accident. De plus, EDF écarte pour les réacteurs l'ensemble des phénomènes les plus redoutés de rupture de l'enveloppe par explosion ou percement du radier pour ne retenir que le cas le moins pénalisant d'une montée en pression lente et d'une dépressurisation de l'enveloppe. Enfin, EDF ne retient pour les piscines qu'une situation d'échauffement sans vidange qui ne conduit pas à un accident grave, alors que différentes hypothèses pouvant engendrer une vidange et conduire à des conséquences plus sérieuses doivent être envisagées.

Recommandations sur les scénarios d'accident pour les réacteurs :

1. Les études ECS d'EDF devraient être complétées pour analyser de façon déterministe différents scénarios écartés dans les rapports actuels. Ceci comprend notamment la possibilité d'autres initiateurs liés à des défaillances matérielles internes ou à une origine humaine, ainsi que le rôle potentiel d'incendies, explosions ou chutes de charge induits par les

chaînes d'événements supposées dans les scénarios considérés.

2. Les rapports ECS devraient être complétés par l'analyse des conséquences potentielles des phénomènes d'explosion d'hydrogène ou de vapeur ou de traversée du radier envisageables en cas de fusion du cœur et actuellement écartés par EDF.
3. EDF devrait dans le cadre des ECS mener des études spécifiques aux sites sur les accidents et leurs conséquences pour les piscines de combustible usé. En particulier, le faible niveau de protection contre une vidange de piscine et ses conséquences devrait être pris en compte.

#### 3-2-2 - Le zircaloy

La gaine des crayons de combustible est faite d'un alliage, le zircaloy, composé principalement de zirconium. Le découvrage du combustible suite à une perte du refroidissement de la cuve déclenche une série de phénomènes qui entraîne la fusion du cœur. Le zircaloy joue un rôle central dans le déroulement de ces événements ainsi que dans la production d'hydrogène et le risque d'explosion. Cependant aucun document ECS n'envisage les possibilités pour remplacer le zirconium comme matériau de gainage du combustible.

Recommandation sur le zircaloy :

1. Le rôle des matériaux de substitution devrait consister à éliminer ou largement réduire la génération d'hydrogène. Il en résulterait que la probabilité d'un accident grave avec des rejets radioactifs serait considérablement réduite. Un programme systématique de recherche et développement devrait être mis en place pour trouver un substitut au zircaloy avec pour objectif de significativement réduire la probabilité d'un accident grave entraînant la fusion du cœur.

#### 3-2-3 - Le combustible MOX :

Vingt-deux réacteurs, tous 900 MWe sont autorisés à utiliser, et vingt-et-un utilisent effectivement un combustible mixte de dioxyde de plutonium et d'uranium (MOX) jusqu'à 30 % du cœur du réacteur. Le combustible MOX pose un ensemble de problèmes de sûreté lors d'un accident, et l'entreposage du combustible usé MOX est plus compliqué de part sa charge thermique plus grande. Les conséquences de la fusion du cœur chargé en combustible MOX ou d'incendies de combustible usé MOX pourraient aussi être beaucoup plus graves que celles avec du combustible de dioxyde d'uranium (UOX). Les documents ECS ne prennent pas compte de ces différences. Cette problématique est importante pour tous les réacteurs chargés en MOX, mais encore plus pour le site de Gravelines, où six réacteurs sont autorisés à utiliser du MOX et cinq d'entre eux l'utilisent. Cette situation est également importante pour La Hague, où au moins 900 tonnes de MOX, principalement du combustible usé, sont entreposées. Cela représente plus que le MOX engagé ou entreposé dans

l'ensemble des sites utilisant le combustible MOX. Bien que la charge thermique du combustible MOX usé entreposé sur les sites des réacteurs soit trop grande pour être entreposé à sec, la plupart du MOX à La Hague pourrait être entreposée de cette façon. L'entreposage à sec présente globalement une meilleure sûreté que l'entreposage en piscine.

Recommandations sur le MOX :

1. Les risques et les conséquences de l'utilisation du MOX, y compris le combustible usé MOX, doivent être évalués explicitement dans le cadre du processus des ECS.
2. La réduction des risques qui accompagnerait l'arrêt de l'utilisation du combustible usé MOX devrait être également considérée dans les ECS.
3. En outre, la réduction de la quantité de combustible usé entreposé dans les piscines permettrait également de réduire les risques et les conséquences d'accidents de piscine d'entreposage du combustible usé. Les ECS devraient examiner la diminution du risque que pourrait procurer l'entreposage à sec une fois suffisamment refroidi, sur les sites ou à La Hague, du combustible MOX usé.

### 3-2-4 - La conception et le dimensionnement des réacteurs

Les choix de conception et de dimensionnement qui ont été retenus lors de la construction des différentes installations ont un rôle déterminant sur leur capacité à résister aux scénarios non envisagés à l'époque considérés dans les ECS. Par exemple :

- a) Des différences ont été introduites entre les différents paliers du parc de réacteurs d'EDF. Les réacteurs 1300 et 1450 MWe ont une double paroi de béton respectivement précontraint et armé alors que les réacteurs 900 MWe ont une simple paroi en béton armé dont la surface intérieure est recouverte d'une peau métallique destinée à assurer l'étanchéité. La double paroi a été conçue notamment pour mieux résister aux agressions externes. Par contre, l'absence de peau métallique intérieure est susceptible de les rendre plus vulnérables aux agressions internes telles qu'une explosion d'hydrogène. EDF n'a pas examiné les conséquences en termes de robustesse de ce type de différences dans le dimensionnement des paliers du parc français.
- b) Les piscines d'entreposage du combustible usé n'ont pas été conçues et ne sont pas traitées avec le même degré de préoccupation vis-à-vis de la sûreté que les réacteurs, car durant les premières décennies de l'énergie nucléaire, seuls les accidents de réacteurs étaient considérés comme importants. Par conséquent, les piscines et les bâtiments combustibles ne sont pas dimensionnés au même niveau que les enceintes de confinement des réacteurs et n'offrent donc pas le même degré de résistance aux agres-

sions externes ou internes. Fukushima a clairement démontré les risques associés aux piscines de combustible usé. De plus, la quantité des radionucléides à vie longue du combustible en piscine, notamment l'inventaire du césium 137 (le principal contaminant à vie longue après Tchernobyl et Fukushima) à La Hague est beaucoup plus important que dans n'importe quel réacteur. Face à cette situation, il convient à la fois de réfléchir au renforcement et d'adapter les méthodes de gestion.

Recommandations sur la prise en compte des choix de conception :

1. Les ECS d'EDF devraient rendre compte des différences de conception et de dimensionnement et de leurs conséquences sur la capacité des installations à résister aux agressions internes et externes, afin de mesurer les écarts de robustesse des installations à différents scénarios d'accident grave envisagés dans le cadre des ECS actuelles et de leur révision.
2. Cette analyse devrait soutenir des réflexions sur les possibilités techniques et la faisabilité de renforcement des éléments constitutifs les moins robustes en cherchant à atteindre un niveau aussi élevé et homogène que possible des installations. Il s'agit notamment de palier aux faiblesses respectives des différents bâtiments (enceintes en fonction de leurs caractéristiques et bâtiments combustibles).
3. Parallèlement des réflexions doivent être menées pour adapter la gestion. Ainsi, le temps de refroidissement d'un cœur de réacteur avant son transfert dans la piscine devrait être révisé avec comme objectif le maintien des rejets d'iode 131 à un niveau aussi bas que possible dans l'éventualité d'un accident. De plus, des études devraient explicitement évaluer quels arrangements du combustible usé dans la piscine réduiraient les risques de propagation d'un incendie.

### 3-2-5 - Les écarts de conformité et le vieillissement

L'existence d'écarts entre le référentiel des installations sur lequel est basée l'évaluation de sûreté et leur état réel induit un risque important qui ne peut être réduit qu'en améliorant la connaissance détaillée des écarts pour les traiter d'une part, et en prenant en compte la possibilité d'écarts non détectés d'autre part.

De plus, le vieillissement et l'usure des différents dispositifs participant à la sûreté réduisent régulièrement les marges de sûreté réputées acquises à la conception et à la construction. À ce titre, il convient de rappeler que les réacteurs ont été conçus pour fonctionner au moins 30 ans mais pas plus de 40 ans. Or le vieillissement fragilise notamment des éléments non remplaçables et abaisse leur seuil de rupture aux chocs thermiques ou mécaniques, réduisant les marges de sûreté. Aucun renforcement ne semble à même de repousser les limites imposées par le vieillissement. Ainsi certaines enceintes

des 1 300 MWe et 1 450 MWe apparaissent déjà dégradées, tandis que pour les cuves de plusieurs réacteurs de 900 MWe les marges estimées vis-à-vis du risque de rupture apparaissent parfois insuffisantes avant 40 ans. Par ailleurs, l'usure continue de l'ensemble des équipements crée un risque diffus et croissant avec le temps de défaillance de la sûreté.

Recommandations sur les conformités et le vieillissement :

1. La démarche d'examen de conformité entreprise dans le cadre des rapports ECS doit être approfondie pour intégrer, au-delà du référentiel actuel, l'ensemble des éléments entrant en jeu dans les scénarios ECS ainsi que leurs supports. L'impact des non conformités connues ou envisagées devra être discuté.
2. Les mécanismes de vieillissement doivent être pris en compte dans la démarche ECS. Il s'agit d'une part d'envisager l'impact des mécanismes de vieillissement connus et identifiés sur les scénarios d'accident, et d'autre part d'étudier la sensibilité des scénarios d'accident à des défaillances dues à des effets de vieillissement non décelés. En particulier, les ECS devraient analyser la contribution potentielle de ces problèmes à l'apparition ou à l'accélération d'effets faibles dans les scénarios.
3. Le rôle des écarts de conformité et des effets du vieillissement dans la dégradation de la robustesse va à l'encontre de l'objectif de renforcement. La réflexion sur la définition de nouvelles exigences de sûreté doit prendre en compte ces phénomènes pour chercher à mieux définir les seuils acceptables dans ce domaine.

### 3-2-6 - Le réacteur EPR

Le projet de réacteur EPR en cours de construction à Flamanville a été conçu dès l'origine pour mieux résister aux agressions diverses et réduire à la fois la probabilité et les conséquences de scénarios d'accidents graves. Toutefois, sa conception doit être confrontée au retour d'expérience de Fukushima. Des premiers éléments de discussion sont apparus sur l'implantation vulnérable à l'inondation de ses diesels de secours, sur la protection de sa salle de commande contre un accident du cœur ou sur le degré de sûreté de sa piscine d'entreposage. En amont de cette discussion, il faut rappeler que la démonstration générique de la sûreté de l'EPR n'est pas achevée sur des points aussi cruciaux que son système de contrôle commande ou son dispositif innovant de récupérateur de corium. Par ailleurs, le chantier de construction a été affecté par de nombreux problèmes entraînant d'importantes non conformités.

Recommandations pour l'EPR :

1. Le rapport ECS d'EDF pour le projet de réacteur EPR devrait fournir un état aussi précis que possible des sujets restants ouverts dans le cadre de l'instruction du rapport de sûreté du réacteur. Ce bilan devrait

permettre d'apprécier la sensibilité des résultats proposés par EDF aux incertitudes de cette instruction.

2. De même, le rapport ECS d'EDF pour l'EPR devrait fournir un état aussi précis que possible des non conformités identifiées au cours du chantier de construction et de leur traitement passé ou à venir. Le rapport devrait étudier au moins pour les plus importants d'entre eux leur influence sur le comportement du réacteur dans les scénarios considérés par les ECS, en particulier les éventuels effets faibles ou les effets cumulatifs. De plus, considérant le risque que des non conformités ne soient pas décelées au cours du chantier, une analyse de sensibilité des résultats des ECS à des défauts non décelés devrait être proposée.
3. Par ailleurs, le champ des scénarios envisagés pour l'EPR devrait s'élargir pour prendre en compte l'ensemble des éléments recommandés plus haut pour les réacteurs existants (initiateurs, agressions induites, conséquences déterministes des phénomènes redoutés...).

### 3-2-7 - Les usines de retraitement de La Hague

Mis à part le combustible usé stocké sur site, La Hague dispose d'un vaste inventaire de déchets liquides hautement radioactifs qui doivent être refroidis. La perte totale du refroidissement pendant plusieurs jours pourrait entraîner une explosion avec possibilité de dispersion de contamination sur une vaste étendue. En 1957, l'explosion d'une cuve contenant des déchets de retraitement en Union Soviétique a entraîné une contamination qui perdure des sols d'une vaste région. Les autorités norvégiennes en matière de radioprotection ont estimé qu'un rejet des déchets liquides hautement radioactifs stockés à Sellafield, au nord-ouest de l'Angleterre, pourrait produire une contamination au césium-137 correspondant à un dixième au moins et jusqu'à cinquante fois des retombées de l'accident de Tchernobyl en Norvège.

Par ailleurs, de « l'huile rouge » (ou « red oil ») est formée quand un mélange de produits chimiques organiques entre en contact avec de l'acide à des températures élevées. Le contrôle du flux des matières et de la température, ainsi que la capacité d'effectuer des mesures sont importantes pour éviter les explosions de red oil. Dans le passé, plusieurs se sont produites aux États-Unis, et plus récemment en Russie en 1993, lorsqu'une partie d'un bâtiment de retraitement a été détruite par la force de l'explosion. L'IRSN a publié un document technique sur ces sujets en 2008. Pourtant, Areva n'a pas examiné le problème des explosions de red oil dans le cadre de l'ECS post-Fukushima, c'est-à-dire dans le contexte de perte totale de refroidissement et/ou de l'alimentation électrique.

Recommandations pour La Hague :

1. L'analyse ECS menée par Areva pour le site de La Hague devrait être renforcée sur les accidents et leurs conséquences pour les piscines de combustible usé. Le faible niveau de protection contre une vidange de piscine et ses conséquences devrait être pris en compte.
2. Areva devrait également examiner les arbres de défaillances des accidents potentiels, pour que des mesures d'atténuation plus complètes puissent être mises en place.
3. Areva devrait envisager la possibilité d'entreposage de faible densité du combustible usé dans ses piscines, laquelle augmenterait considérablement les délais d'ébullition, combiné avec l'entreposage à sec du combustible usé.
4. Areva devrait étudier la possibilité de réduire l'inventaire de l'entreposage du combustible usé à La Hague en favorisant des inventaires plus importants sur les sites des réacteurs en configuration à faible densité dans les piscines avec le reste en entreposage à sec. L'inventaire à La Hague pourrait être réduit au minimum des quantités requises pour des opérations de retraitement facilement gérables.
5. Si possible, certains termes sources secondaires mais quand même importants, devraient être éliminés dans des délais plus rapides, éliminant ainsi des sources, qui pourraient aggraver la gestion des situations accidentelles.

#### 4 - Faiblesses et manques de l'analyse de l'ASN

Il existe comme on le voit un écart entre le champ finalement assez restreint des décisions prises par l'ASN et l'ensemble des enjeux à prendre en compte pour poursuivre la réévaluation de la sûreté des installations, définir de nouvelles exigences de sûreté et fixer les renforcements susceptibles d'apporter le niveau de robustesse ainsi défini.

La première faiblesse observée dans la démarche de l'ASN est peut-être d'ailleurs de ne pas prendre les choses dans cet ordre. En partant de l'affirmation que les installations présentent, même s'il doit être renforcé, un niveau de sûreté « suffisant », l'ASN inscrit d'emblée les renforcements prescrits dans le registre de précautions supplémentaires venant s'ajouter à un socle minimum d'exigences qui serait déjà satisfait et qu'il ne s'agit pas de revoir. Or la vulnérabilité avérée des installations considérées à des scénarios pouvant conduire à des accidents majeurs implique au contraire d'ouvrir la question d'une révision des exigences applicables, en fonction d'un niveau d'acceptabilité qui ne peut par ailleurs pas être fixé par la seule ASN sans débat avec la société.

La définition de nouvelles exigences implique de disposer d'une vision solide des risques. Celle-ci suppose

de mener à son terme la démarche d'analyse systématique et déterministe des scénarios d'accident qui a été engagée avec les ECS. Ainsi, le premier registre des prescriptions de l'ASN devrait être celui de la poursuite des évaluations dans le sens d'un approfondissement de tous les points laissés en suspens et d'une plus grande exhaustivité des situations traitées. L'ASN pourrait par exemple établir une liste des questions abordées dans les rapports ECS des exploitants et indiquer lesquelles elles considère comme closes, lesquelles restent ouvertes et quelles questions supplémentaires doivent être traitées, en fixant pour chacun de ces points un calendrier d'instruction.

Les compléments nécessaires devraient porter en premier lieu sur les éléments de démonstration à apporter par les exploitants là où leur « jugement d'expert » sur les marges de robustesse dont disposent leurs équipements apparaît critique dans le raisonnement, par exemple sur le niveau réel de tenue au séisme au-delà de leur dimensionnement initial de différents équipements. Ensuite, les études devraient être complétées pour élargir l'analyse déterministe à toutes les familles de scénarios sans écarter sur la base de considérations de probabilité ou de vraisemblance certains développements. En particulier, les scénarios d'aggravation d'accidents primaires par des agressions induites telles que des incendies ou explosions internes provoquées par un séisme devraient être étudiés. Et surtout, les conséquences les plus graves de scénarios accidentels ne devraient pas être écartées : par exemple, le risque de ruine de l'enceinte du réacteur par une explosion interne ou de percement du radier devrait être étudié dans le cas d'une fusion du cœur, comme celui d'un feu du combustible après la vidange d'une piscine d'entreposage.

Enfin, les études devraient être élargies à des situations écartées par le cahier des charges des ECS dont les conséquences doivent pourtant être réévaluées selon la même démarche déterministe : outre l'intégration des risques posés par l'environnement industriel déjà pointée par l'ASN, il s'agit d'une part d'étudier en restant dans le domaine de la sûreté d'autres éléments initiateurs d'accident telles que les défaillances matérielles sur des équipements clés ou des erreurs humaines, et d'autre part d'étendre la démarche aux actes de malveillance.

Les approfondissements et compléments visés ci-dessus doivent à leur tour nourrir la réflexion sur l'évolution des exigences de sûreté. Le renforcement du référentiel de sûreté vis-à-vis des agressions externes que l'ASN propose en fait partie. La réflexion doit toutefois, sur ce point aussi, aller plus loin. Par exemple, le relèvement systématique du niveau de « protection volumétrique » contre les inondations est un point positif. Mais la question devrait également être posée du renforcement de la tenue au séisme de nombreux dispositifs de sûreté qui s'avèrent insuffisamment protégés au fil des ECS, ceci afin de relever le niveau général de protection sismique



des installations. Et bien sûr, la question devrait être élargie au niveau de robustesse des équipements clés aux différents phénomènes initiateurs et résultant de situations accidentelles, en traitant en particulier deux aspects.

Le premier est celui des exigences associées aux non conformités et au vieillissement. Il s'agit ici de prendre en compte la sensibilité des scénarios d'accident étudiés à la défaillance d'ouvrages ou d'équipements ne présentant pas, au moment voulu, la robustesse ou l'efficacité attendue, soit du fait d'un écart non identifié ou non traité (une non conformité), soit du fait d'une usure liée au vieillissement. Cette analyse devrait notamment viser à identifier des éléments clés pour à la fois renforcer les programmes de détection et traitement des écarts comme l'ASN le prescrit, et proposer des seuils d'acceptabilité vis-à-vis de la poursuite d'exploitation en fonction des écarts constatés ou envisagés. Ce point concerne en particulier les niveaux acceptables ou non de fragilisation de composants non remplaçables tels que les cuves ou les enceintes, mais aussi la prise en compte du phénomène d'augmentation diffuse des usures et non conformités qu'induit le facteur temps.

Le second porte sur l'analyse des forces et faiblesses de conception des installations, en fonction des accidents considérés à l'époque, vis-à-vis des scénarios considérés dans les ECS. Par exemple, comment poser des exigences post-Fukushima face au constat de l'écart de niveau de protection introduit dès la conception des centrales entre le renforcement de l'enceinte vis-à-vis d'un accident au cœur du réacteur et l'absence de confinement robuste des bâtiments abritant les piscines ? Ou encore, comment prendre en compte la vulnérabilité plus grande à des agressions internes ou à des explosions internes des enceintes, selon les paliers des réacteurs ?

Ce n'est qu'à l'issue d'un tel examen que la question des renforcements susceptibles de réduire le risque d'accident majeur à un niveau jugé acceptable pourra être véritablement instruite. Ce point n'est pas contradictoire avec le fait de procéder dès que possible à des renforcements non structurels consistant à introduire, en bout de chaîne des scénarios accidentels, des éléments de robustesse : il en va ainsi, dans les prescriptions de l'ASN, du renforcement d'éléments existants comme le dispositif U5 de dépressurisation des enceintes des réacteurs ou les systèmes de refroidissement des piscines des réacteurs ou de La Hague, mais aussi de l'introduction des éléments de secours et de gestion de crise dits de « noyaux durs ». D'autres renforcements non structurels et faciles à mettre en œuvre peuvent être envisagés, par exemple l'introduction de recombineurs d'hydrogène permettant de réduire le risque d'une explosion d'hydrogène dans les piscines en cas de dénoyage du combustible.

Au-delà de ces actions à court terme, la question de fond qui restera posée est celle de renforcements

structurels des installations, en particulier au niveau de la protection des hommes et de l'environnement vis-à-vis des conséquences des accidents les plus graves auxquelles conduisent les ECS révisées en fonction des installations. L'ASN pose de ce point de vue un premier jalon en demandant l'étude d'une protection géotechnique des eaux autour des réacteurs ainsi que des anciens silos de stockage à La Hague. Mais d'une part, la question mérite également d'être posée pour le renforcement éventuel des enceintes en fonction de leurs faiblesses respectives, ou encore et surtout pour la mise en place d'une protection robuste autour des piscines, sur les centrales et à La Hague. Et d'autre part, les études de faisabilité devront à terme être croisées avec des critères d'acceptabilité pour statuer sur les renforcements jugés nécessaires ou non.

Pour finir, l'ASN devrait parallèlement à l'ensemble de la démarche engagée par les ECS pour renforcer la robustesse des installations nucléaires et leur capacité à « contenir » le potentiel de danger qu'elles renferment, développer une démarche centrée sur les moyens de réduire à la source ce potentiel de danger. Trois exemples illustrent cette voie sans en épuiser les possibilités. Le premier est l'utilisation du zirconium et la possibilité de lui substituer un matériau de gainage ne présentant pas les mêmes problèmes de réactivité : l'ASN devrait encadrer un programme d'étude et d'essais dans ce sens. Le deuxième concerne la concentration du plutonium dans le combustible MOX : l'ASN devrait demander aux exploitants de compléter leurs ECS pour caractériser, dans les réacteurs où il est présent ou à La Hague, le rôle de ce combustible dans les scénarios d'accident considérés puis tirer des conclusions sur l'évolution de l'utilisation de ce combustible. Le troisième porte sur les conditions d'entreposage des combustibles usés : l'ASN devrait demander aux exploitants d'étudier respectivement la possibilité d'un prolongement par un entreposage à sec du refroidissement en piscine sur les sites des centrales, et celle d'une substitution de l'entreposage en piscine par un entreposage à sec à La Hague, et de compléter les ECS en tenant compte de cette possibilité.

On le voit : les premières décisions de l'ASN posent des jalons dans la bonne direction, mais ils sont loin de répondre à l'ensemble des enjeux. La réévaluation de la sûreté, l'élaboration d'exigences de sûreté qui en découlent et la mise en œuvre des mesures de renforcement correspondantes là où elles seront possibles est un processus nécessairement long et incertain. Ce constat est sans doute incompatible avec la volonté de statuer à court terme sur le prolongement de la vie du parc, mais c'est du point de vue de la sûreté un passage obligé.