

Présentation du rapport

Sûreté nucléaire en France post-Fukushima

Analyse critique des Évaluations complémentaires de sûreté (ECS)
menées sur les installations nucléaires françaises après Fukushima

Arjun Makhijani, Ph.D., Président IEER, USA

Yves Marignac, Directeur de WISE-Paris, France

Février 2012

Présentation générale

- Le rapport est une analyse critique des évaluations complémentaires de sûreté d'EDF et Areva. Les sites choisis :
 - Gravelines, Flamanville (avec EPR), Civaux
 - La Hague.
- Les ECS sont un bon point de départ, mais
- Le cahier des charges est trop limité – par exemple les agressions externes humaines comme les actes de malveillances ou internes comme les erreurs humaines n'en font pas partie

Points forts des rapports ECS

- Pour la première fois, des hypothèses écartées à la conception et dans la conduite des installations sont envisagées et leurs conséquences examinées dans les rapports ECS
- Ils étudient de façon systématique les scénarios d'accident grave qui pourraient être déclenchés par un séisme et/ou une 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
- Ils décrivent en détail les dispositifs qui devraient être mis en place pour prévenir des rejets radioactifs importants, et des propositions de dispositifs de renforcement sont introduites
- 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

Principales lacunes

Les ECS sont un bon point de départ...
mais elles présentent des lacunes, par exemple :

- Les ECS sont basées sur un état théorique des installations qui peut présenter des écarts importants avec leur état réel. Par exemple le vieillissement des composants ou des structures n'est pas pris en compte
- Les scénarios retenus restent trop limités : d'une part des événements initiateurs, des éléments aggravants sont écartés, d'autre part les phénomènes les plus redoutés ne sont pas toujours étudiés
- Le zirconium joue un rôle central dans les accidents de fusion de cœur, dans la production d'hydrogène, et les accidents d'incendie dans les piscines après perte du refroidissement. Pourtant la possibilité de recourir à des matériaux alternatifs n'est pas abordée
- 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.
- La formation de "red oil" (La Hague) qui peut déclencher des explosions et des rejets importants de radioactivité n'est pas abordée

Réacteurs / conformité et vieillissement

Base des ECS : référentiel de sûreté et état jugé conforme au 30 juin 2011

Des points importants de non conformité sont ignorés dans l'ECS :

- Affaissement de la digue de protection du canal d'amenée
- Insuffisance du refroidissement des groupes diesel après séisme
- La non conformité « diffuse » n'est pas correctement traitée

Le vieillissement n'est pas discuté dans l'ECS :

- Problème de dégradation (micro-fissures) des enceintes béton
- Effets du vieillissement diffus, inclus problèmes de corrosion saline etc.

Recommandations sur les conformités et le vieillissement :

- 1.** Renforcer la démarche d'examen de conformité. L'impact des non conformités connues ou envisagées devra être discuté
- 2.** Prendre en compte les mécanismes de vieillissement et l'incertitude qu'ils introduisent dans les scénarios d'accident
- 3.** Intégrer ces éléments aux réflexions sur l'acceptabilité des renforcements

Réacteurs / dimensionnement

Dimensionnement :

Les dispositifs de gestion de l'accident grave et de secours (filtre à sable, bloc de sécurité) ne sont pas autant dimensionnés aux agressions externes (séisme) que les dispositifs qu'ils doivent secourir

En général, des équipements supports secondaires sont moins dimensionnés que les équipements de sûreté qu'ils appuient (instrumentation, circuits électriques, hydrauliques, ventilation, etc.)

Le groupe électrogène de secours (turbine à combustion) n'est pas protégé contre l'inondation par la protection volumétrique

Un risque de rupture au séisme des tuyauteries permettant d'utiliser les bassins (en haut de falaise) comme secours est mis en évidence

Nécessité de compléter les analyses de dimensionnement en intégrant l'ensemble des dispositifs participant à la gestion des scénarios d'accident

Réacteurs / scénarios aggravés

Agressions induites :

L'analyse ECS proposée par EDF écarte tout risque d'agression « induite » : incendie, explosion, chute de charge, inondation interne... qui peuvent résulter des scénarios d'accident considérés (et les aggraver)

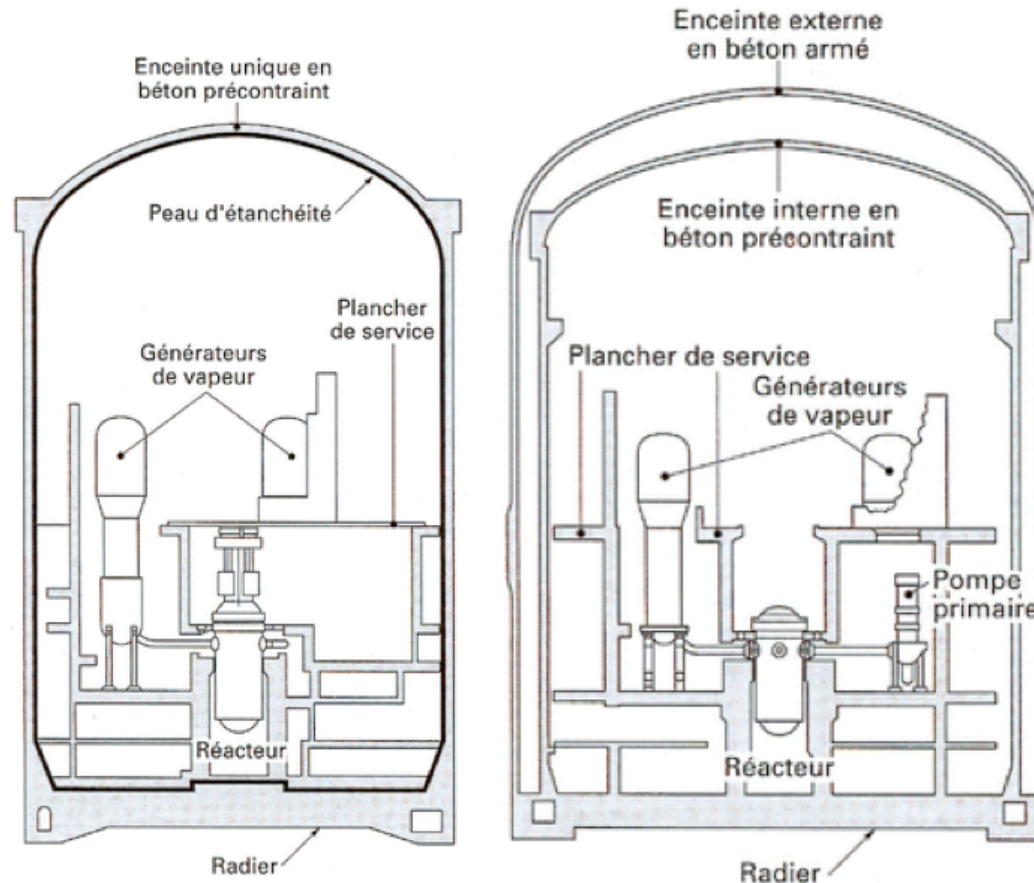
Phénomènes redoutés :

EDF écarte les conséquences les plus graves des situations accidentelles :

- Fusion du cœur :
ni explosion d'hydrogène, ni explosion de vapeur,
ni percement du radier
—> seul scénario retenu : montée en pression lente / dispositif U5
- Accident de piscine :
évaporation de l'eau par la chaleur du combustible mais
aucune hypothèse de vidange mécanique

Tenue des enceintes

Les choix de renforcement des enceintes en regard des accidents considérés dans le dimensionnement peuvent les rendre plus vulnérables au risque d'explosion interne considéré dans les ECS



**Enceinte
900 MWe**

**Enceinte
1 300 MWe
et N4**

Réacteurs / exemple Flamanville

Scénarios d'accident pour les réacteurs :

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'enceinte et/ou un percement du radier,
- un accident de vidange de piscine d'entreposage peut conduire à un feu du combustible et à des rejets très importants faute d'enceinte de confinement

Recommandations sur les scénarios d'accident pour les réacteurs :

- 1.** Analyser de façon déterministe différents scénarios écartés dans les rapports actuels (initiateurs liés à des défaillances matérielles internes ou à une origine humaine, rôle potentiel d'incendies, explosions ou chutes de charge induits par les chaînes d'événements supposées dans les scénarios considérés)
- 2.** Analyser les 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.** 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

Projet EPR Flamanville-3

Problématique EPR / post-Fukushima :

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.

Dans le même temps, l'EPR c'est un « potentiel de danger » augmenté :

- un cœur plus gros (1600 MWe)
- un taux de combustion accru
- jusque 100 % de MOX

Une conception basée sur des principes de sûreté pré-Fukushima

Un projet qui reste aménageable :

—> justifie d'élargie la démarche ECS au projet EPR Flamanville-3

Lacunes de l'ECS Flamanville-3

Démonstration de sûreté en cours :

Des points clés dans la démonstration générale restent à vérifier, dont le contrôle commande ou l'efficacité du « récupérateur de corium »

Recommandation :

Établir un état aussi précis que possible des sujets restants ouverts dans le cadre de l'instruction du rapport de sûreté du réacteur (clarifier les incertitudes)

Non conformités sur le chantier :

Des problèmes importants détectés et plus ou moins corrigés sur de nombreux points clés dont cuve, enceinte, radier, ouvrage piscine...
Un risque non négligeable de défauts non détectés

Recommandation :

Établir un état aussi précis que possible des non conformités identifiées au cours du chantier de construction et de leur traitement passé ou à venir.
Étudier les effets possibles sur les scénarios d'accident, y compris cumulatifs.
Compléter par une analyse de sensibilité des résultats des ECS à des éventuels défauts non décelés

Projet EPR Flamanville-3

Premier retour d'expérience post-Fukushima :

Des questionnements sur l'implantation vulnérable à l'inondation des diesels de secours, sur la protection de la salle de commande ou sur le degré de sûreté de la piscine

Un problème de fonctionnement de la « source froide ultime » dans toutes les situations

Le risque d'accident majeur ne peut pas être totalement exclu sur le réacteur comme sur sa piscine

Recommandation

Élargir le champ des scénarios envisagés pour l'EPR pour prendre en compte l'ensemble des éléments recommandés pour les réacteurs existants (initiateurs, agressions induites, conséquences déterministes des phénomènes redoutés...).

Zirconium

La gaine des crayons de combustible en alliage de zircaloy et la production d'hydrogène :

Le matériau des gaines, zircaloy, > 95 % zirconium, joue un rôle central dans la plupart des scénarios d'accidents graves pour les réacteurs à eau légère, dont les REP:

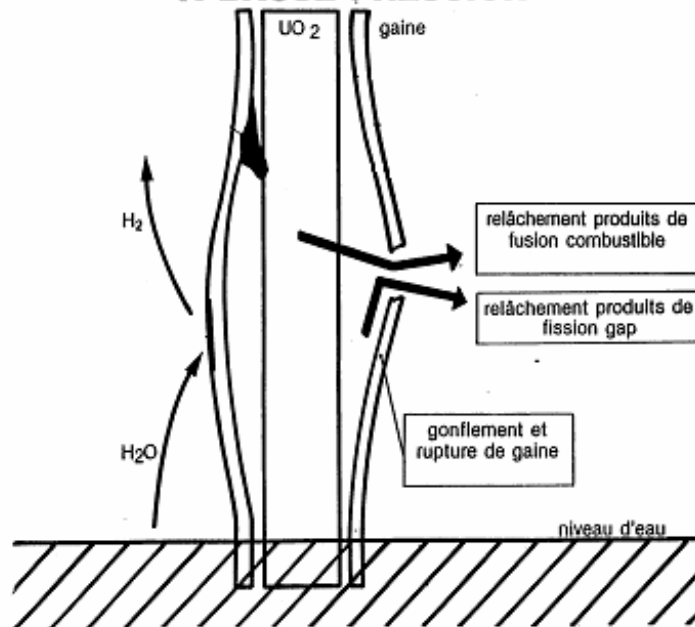
- Perte de refroidissement
- Dénoyage des gaines du combustible
- Dégradation des gaines
- $\text{Zr (Zirconium)} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{ZrO}_2 + 2\text{H}_2 + \text{chaleur (6.5 MJ)}$
- emballement de la réaction (réaction autocatalytique)
- Fusion du cœur, formation du corium, rupture de la cuve
- Recommandation : recherche et développement visant à trouver un substitut au zirconium qui pourrait diminuer la production de l'hydrogène et la possibilité des explosions qui pourraient sévèrement endommager ou détruire l'enceinte de confinement, et réduire le risque de fusion de cœur

Zirconium et tenue des gaines

Schéma de dégradation des gaines de combustible et du cœur

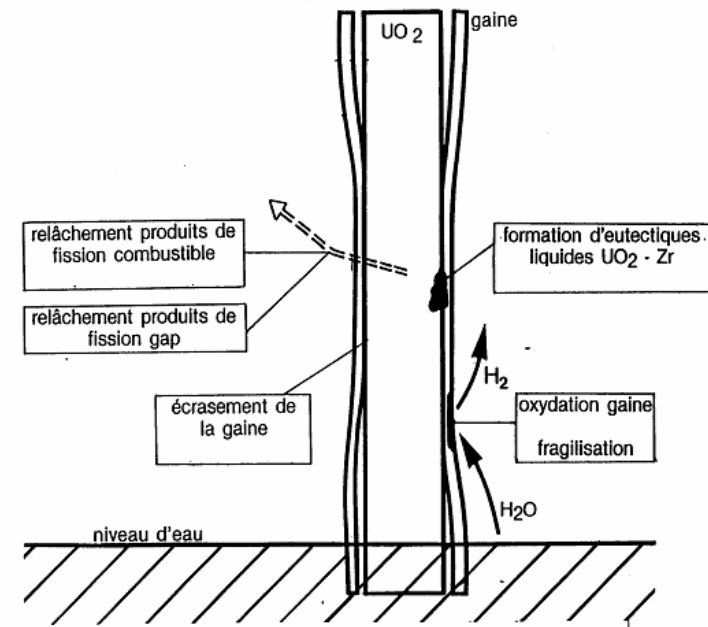
Basse pression

MECANISMES DE DEGRADATION DU COEUR A BASSE PRESSION



Haute pression

MECANISMES DE DEGRADATION DU COEUR A HAUTE PRESSION



Entreposage de combustible

Tableau 7. Combustible utilisé ou engagé (note 1) sur les sites des centrales nucléaires et à La Hague, exprimé en tonnes, au 31 décembre 2010

	Dans les centrales (piscines ou réacteurs)	En attente à La Hague	Total
Total	9 010	9 530	18 450
Uranium naturel enrichi	8 100	8 380	16 480
MOX	690	900	1 590
Uranium de retraitement enrichi	220	250	470

Source : Cours des comptes 2012, p. 124

Note 1 : le combustible dit « engagé » correspond au combustible contenu dans les cœurs des réacteurs.

Accident de piscine

Tableau 3. Les conséquences d'un accident de piscine, le cœur du réacteur est endommagé par un incendie (Cas 2) combustible UOX

Type d'accident	Distance	Dose à la population, personne-Sv	Dommmages des terres et biens, 1997 \$
Incendie/rejet important	0-80 km	102 000	\$20 milliards
Incendie/rejet important	0-800 km	996 000	\$100 milliards
Incendie/rejet faible	0-80 km	53 000	\$7 milliards
Incendie/rejet faible	0-800 km	308 000	\$30 milliards

Source: Fondé sur Travis et al. 1997. tableau 4-1 et ajusté conformément aux notes 1 et 2.

Tableau 4. Conséquences d'un accident de piscine, le cœur est entreposé dans la piscine et les gaines sont endommagées, absence d'incendie, combustible UOX (Cas 4)

Type d'accident	Distance	Dose à la population, personne-Sv	Dommmage des terres et des biens, 1997 \$
Absence d'incendie/rejet important	0-80 km	30 000	\$2 milliards
Absence d'incendie/rejet important	0-800 km	159 000	\$7 milliards
Absence d'incendie/ faible rejet	0-80 km	5 000	\$0,1 milliards
Absence d'incendie/ faible rejet	0-800 km	22 000	\$0,4 milliards

Source: Fondé sur Travis et al. 1997, tableau 4-1.

Combustible MOX

Combustible MOX dans les réacteurs
et combustible usé MOX dans les piscines

- 22 réacteurs de 900 MWe autorisés,
21 l'utilisent jusqu'à 30 % du cœur
- Les conséquences en cas de fusion du cœur pourraient être
beaucoup plus graves
que si le cœur est chargé entièrement en UOX
- Entreposage plus compliqué dû à sa charge thermique plus
élevée que celle du combustible UOX, conséquences plus
graves en cas d'incendie

Recommandations : envisager la diminution du risque par un
arrêt de l'utilisation du MOX et par l'entreposage à sec du
MOX usé une fois suffisamment refroidi

Usine de retraitement de La Hague

L'ECS de la Hague présente des lacunes importantes.

Il y a un manque d'analyse de :

- Risque d'explosions "red oil" dans les conditions de perte totale d'alimentation électrique et/ou perte de refroidissement
- Une perte prolongée de refroidissement peut déclencher une explosion dans les cuves où sont stockés les déchets liquides hautement radioactifs. La contamination du site et hors site peut être très sévère et compliquer la gestion de l'accident. Areva n'analyse pas les accidents d'explosion de ces cuves.
- Les problèmes plus difficiles de refroidissement du MOX utilisé. La quantité de MOX entreposé à la Hague est supérieure à la quantité totale engagée ou entreposée par EDF
- La destruction d'équipements sur site due aux explosions dans les équipements secondaires ou la contamination du site par les rejets radioactifs des sources secondaires, et les complications qui peuvent suivre

Explosions de « red oil »

Conditions de formation et explosion de red oil dans les usines de retraitement

Solvants organique et son diluant + acide nitrique

Ventilation insuffisante

Présence de métaux lourds (uranium, plutonium)

Température $>120^{\circ}\text{C}$ \rightarrow red oil (formation); $>130^{\circ}\text{C}$ (réactions autocatalytiques \rightarrow explosion)

Plusieurs explosions se sont produites dans le monde, dont les plus importantes dans les usines de Savannah River aux États-Unis (1953 et 1975) et de Tomsk en Sibérie (1993)

Recommandation : l'ECS LA Hague devrait inclure une analyse des explosions red oil dans les conditions de perte totale d'alimentation électrique et/ou de refroidissement

Explosion de « red oil »

Explosion de “Red Oil” a Tomsk-7 en 1993

