

## Niveau de sûreté de la centrale nucléaire Fessenheim

Actualisation de l'analyse des résultats du stress test européen de la centrale nucléaire de Fessenheim

Darmstadt,  
Décembre 2015

Ce rapport reproduit l'opinion de ses auteurs qui ne correspond pas forcément à celle du donneur d'ordre. Il s'agit d'une traduction de l'original allemand qui seul fait foi.

### Auteurs

Dr. rer. nat. Christoph Pistner  
Dipl. Phys. Christian Küppers

Öko-Institut e.V.

### Rapport établi à la demande du

Ministère de l'environnement, du climat et de l'énergie du Bade-Wurtemberg

### Geschäftsstelle Freiburg

Postfach 17 71  
79017 Freiburg

### Hausadresse

Merzhauser Straße 173  
79100 Freiburg  
Telefon +49 761 45295-0

### Büro Berlin

Schicklerstraße 5-7  
10179 Berlin  
Telefon +49 30 405085-0

### Büro Darmstadt

Rheinstraße 95  
64295 Darmstadt  
Telefon +49 6151 8191-0

[info@oeko.de](mailto:info@oeko.de)  
[www.oeko.de](http://www.oeko.de)



# Sommaire

<b>Synthèse</b>	<b>5</b>
<b>1. Introduction et objectif</b>	<b>13</b>
<b>2. Principes de dimensionnement et mise en place d'un noyau dur (« hardened safety core »)</b>	<b>16</b>
2.1. Points faibles identifiés selon (Öko-Institut; PhB 2012)	16
2.2. Présentation de l'exploitant	17
2.3. Présentation de l'autorité de sûreté	18
2.4. Prescriptions et modifications	19
2.4.1. Noyau dur et Force d'Action Rapide du Nucléaire (FARN)	19
2.4.2. Etat d'avancement de la mise en œuvre et calendrier	22
2.5. Position	23
2.5.1. Principes du dimensionnement	24
2.5.2. Backfitting	26
<b>3. Séisme</b>	<b>29</b>
3.1. Points faibles identifiés selon (Öko-Institut; PhB 2012)	29
3.2. Présentation de l'exploitant	30
3.3. Présentation de l'autorité de sûreté	31
3.4. Prescriptions et modifications	32
3.5. Position	33
<b>4. Inondation</b>	<b>38</b>
4.1. Points faibles identifiés selon (Öko-Institut; PhB 2012)	38
4.2. Présentation de l'exploitant	39
4.3. Présentation de l'autorité de sûreté	39
4.4. Prescriptions et modifications	40
4.5. Position	41
<b>5. Piscine des assemblages combustibles</b>	<b>43</b>
5.1. Points faibles identifiés selon (Öko-Institut; PhB 2012)	43
5.2. Présentation de l'exploitant	43
5.3. Présentation de l'autorité de sûreté	44
5.4. Prescriptions et modifications	44
5.5. Position	46
<b>6. Moyens d'alimentation électrique</b>	<b>48</b>

6.1.	Points faibles identifiés selon (Öko-Institut; PhB 2012)	48
6.2.	Présentation de l'exploitant	49
6.3.	Présentation de l'autorité de sûreté	49
6.4.	Prescriptions et modifications	50
6.5.	Position	50
<b>7.</b>	<b>Source froide</b>	<b>53</b>
7.1.	Points faibles identifiés selon (Öko-Institut; PhB 2012)	53
7.2.	Présentation de l'exploitant	54
7.3.	Présentation de l'autorité de sûreté	54
7.4.	Prescriptions et modifications	54
7.5.	Position	55
<b>8.</b>	<b>Autres points faibles sous l'aspect de la sûreté</b>	<b>57</b>
8.1.	Points faibles identifiés selon (Öko-Institut; PhB 2012)	57
8.2.	Présentation de l'exploitant	58
8.3.	Présentation de l'autorité de sûreté	58
8.4.	Prescriptions et modifications	59
8.5.	Position	59
	<b>Bibliographie</b>	<b>62</b>

## Synthèse

Conséquence de la catastrophe nucléaire du 11 mars 2011 dans la centrale nucléaire japonaise de Fukushima Daiichi, des procédures de réexamen ont été engagées à différents niveaux nationaux et internationaux. Les réexamens spécifiques aux installations se sont focalisés sur l'analyse de certains aspects de sûreté en tenant compte des enseignements tirés du déroulement de l'accident de Fukushima, y compris en retenant des hypothèses qui vont au-delà des limites de dimensionnement actuelles des installations. Au niveau européen, on a réalisé pour cela ce qu'on a appelé le stress test européen.

Pour le Bade-Wurtemberg, les centrales nucléaires proches de la frontière sont particulièrement importantes. En France, il s'agit des réacteurs à eau sous pression Fessenheim 1 et 2 (mis en service en 1977) qui font partie des tranches les plus anciennes dans le monde. Le Land de Bade-Wurtemberg peut être touché en cas d'accidents graves dans ces centrales nucléaires.

A la demande du Ministère de l'Environnement, du Climat et de l'Energie du Bade-Wurtemberg, l'Öko-Institut a présenté un rapport d'expertise en octobre 2012 (Öko-Institut; PhB 2012) dans lequel ont été tirées des conclusions sur les aspects de sûreté qui n'ont pas été examinés ou l'ont été de manière insuffisante dans le cadre du stress test européen. Des remarques portant sur des déficiences de sûreté ont été explorées spécifiquement pour les différentes installations. Les conclusions ont été présentées se référant aux champs thématiques séisme, inondation, piscine des assemblages combustibles, moyens d'alimentation électrique, eau de refroidissement et autres déficiences de sûreté. Un réexamen complet de l'état de sûreté des installations n'entrait pas dans le périmètre d'étude de cette expertise et n'aurait pas non plus été possible sur la base des documents disponibles dans le cadre du stress test européen.

L'expertise qui est présentée ici a pour objet d'actualiser les évaluations des déficiences de sûreté de la centrale de Fessenheim en prenant en compte les améliorations pertinentes pour la sûreté prévues ou déjà réalisées dans la centrale de Fessenheim depuis la fin du stress test européen.

Pour cela, il est réalisé une évaluation actualisée de l'état de sûreté de la centrale de Fessenheim conformément aux critères d'évaluation déjà définis dans (Öko-Institut; PhB 2012), c'est-à-dire en référence à l'état de sûreté des centrales nucléaires allemandes encore en exploitation.

Selon (Öko-Institut; PhB 2012), pour évaluer l'état de sûreté, il convient d'abord de prendre en compte le dimensionnement de base de la tranche. Dans son réexamen de sûreté, la Commission de sûreté des réacteurs (RSK) a défini pour toutes les centrales nucléaires allemandes un "basis level" qui représente l'exigence minimale s'appliquant au dimensionnement de base.

Au-delà, les tranches allemandes présentent des réserves pour l'évaluation desquelles différents niveaux de robustesse ont été définis dans le cadre des réexamens de sûreté de la RSK. Selon le champ thématique traité, les centrales nucléaires allemandes ont atteint un niveau de robustesse différent. (Öko-Institut; PhB 2012) a retenu en ce sens comme référence le niveau de robustesse qui est atteint par les installations encore en exploitation en Allemagne ou spécialement en Bade-Wurtemberg. Sur cette base, on a examiné si ce niveau était atteint par la centrale de Fessenheim, voire même dépassé.

Enfin, les mesures d'amélioration dans les installations, programmées à la suite des réexamens nationaux et internationaux, ont été examinées et l'accroissement de la robustesse de la tranche qu'elles permettent d'atteindre a été évalué.

L'expertise présentée dans ce rapport se réfère également à ce référentiel d'évaluation.

Cette expertise ne rend pas compte en détail des procédures de réexamen conduites au niveau national et international, du référentiel d'évaluation qui en a été déduit ni des équipements de sûreté importants des installations allemandes et de la centrale de Fessenheim ; pour cela, nous renvoyons à ce qui est dit dans (Öko-Institut; PhB 2012). Ni les prises de position de l'exploitant de la centrale de Fessenheim (EDF) ni celles de l'Autorité de sûreté nucléaire française (ASN) n'ont entretemps révélé d'informations faisant valoir que d'autres aspects importants devraient être pris en compte par rapport à l'état des lieux de la centrale de Fessenheim présenté par (Öko-Institut; PhB 2012).

Les principales conclusions relatives à la centrale de Fessenheim sont résumées dans ce qui suit. Nous présentons les aspects figurant déjà dans (Öko-Institut; PhB 2012), qui continuent d'être valides, et également le cas échéant d'autres constatations faites dans le cadre de cette actualisation.

La centrale de Fessenheim se distingue des réacteurs à eau sous pression encore en exploitation actuellement en Allemagne par son dimensionnement de base. Ces différences de dimensionnement peuvent avoir un impact en termes d'événement par rapport aux différents champs thématiques étudiés, et elles sont donc particulièrement significatives. Par ailleurs, l'autorité de sûreté française (ASN) a imposé des améliorations importantes sous la forme d'un noyau dur (« hardened safety core »). Comme ces équipements sont également importants en termes d'événement, ils seront aussi évalués à un niveau générique. Ensuite, la présentation est faite suivant les champs thématiques mentionnés précédemment.

## **Principes de dimensionnement**

Le système de sécurité de la centrale de Fessenheim suit un principe à deux voies (degré de redondance  $n+1$ ), c'est-à-dire qu'il est dimensionné pour résister à un défaut unique. Pour certaines fonctions nécessaires pour la sûreté, par exemple le système d'alimentation de secours secondaire (GV), le plus faible degré de redondance de l'alimentation électrique de secours est compensé par un système actionné à la vapeur fraîche, indépendant de l'alimentation électrique de secours, de telle sorte que celui-ci

présente un degré de redondance (n+2). Le système d'alimentation de secours n'est cependant pas disponible dans tous les états de la tranche. Pour certaines fonctions de sûreté, un appui de la tranche voisine est également possible. La centrale de Fessenheim est donc ainsi fondamentalement conforme aux exigences internationales s'appliquant au critère de défaut unique du système de sécurité.

Dans les centrales nucléaires allemandes, le dimensionnement du système de sécurité se fonde sur le concept de défaut unique. Dans ce concept, en cas de demande de fonctionnement, il faut supposer une défaillance ayant un impact pénalisant maximum et, en même temps que le défaut unique, une indisponibilité ayant un impact pénalisant maximum, consécutive à des mesures de maintenance (opérations de maintenance préventives ou cas de maintenance non prévus). Il en résulte pour les tranches allemandes par principe un degré de redondance (n+2), ce qui va au-delà des exigences internationales.

Même en tenant compte des règles de maintenance, le degré plus élevé de redondance des tranches allemandes doit toujours être classé comme un avantage de sûreté par rapport à la centrale de Fessenheim. Cela concerne notamment le degré de redondance du refroidissement à l'arrêt et de l'alimentation électrique de secours.

De plus, toutes les voies du système d'alimentation de secours ASG, qui a une importance centrale, et du système de Contrôle Chimique et Volumétrique (RCV) recourent à un seul réservoir de secours (ASG et PTR), elles sont donc aussi maillées dans leurs composants passifs (en partie utilisation commune de conduites). Il n'y a donc pas ainsi d'indépendance complète de ces redondances. Ce maillage doit toujours être classé comme un inconvénient de sûreté de la centrale de Fessenheim.

## **Backfitting**

Les améliorations réalisées et prévues à la centrale de Fessenheim sont de nature à augmenter l'état de sûreté de la tranche.

Dans les réacteurs à eau sous pression allemands autorisés à fonctionner en régime en puissance, comparé aux améliorations implémentées jusqu'à présent dans la centrale de Fessenheim dans le cadre de la phase 1, des améliorations au moins équivalentes ont été mises en œuvre. En particulier, dans les installations allemandes, une alimentation en eau de refroidissement diversifiée, disponible durablement, a déjà été implémentée ; à Fessenheim, son achèvement n'est pas requis avant le 31/12/2018.

A long terme, à partir de 2020, des équipements complémentaires faisant partie du noyau dur (« hardened safety core ») doivent être implémentés dans les tranches françaises. Il n'a pas encore été déterminé jusqu'à présent si ces équipements seront aussi mis en œuvre dans la centrale de Fessenheim, et le cas échéant quand. Actuellement, ces mesures n'ont donc pas de signification pour l'état de sûreté de la centrale de Fessenheim.

Comparé aux tranches allemandes, les différences existantes au niveau du dimensionnement de base et de la robustesse des équipements présents initialement dans la centrale de Fessenheim ne sont donc pas compensées par les améliorations réalisées.

## Séismes

Il n'y a pas d'analyse probabiliste relative au risque sismique pour le site de Fessenheim. Au contraire, pour tous les sites allemands, pour déterminer les impacts sismiques potentiels, des études probabilistes ont également été réalisées et prises en compte pour la définition du séisme de dimensionnement.

Pour les installations françaises, la mise en œuvre d'études probabilistes relatives au risque sismique doit en principe intervenir dans le cadre des réexamens de sûreté périodiques futurs. Aucune information n'indique qu'une mise en œuvre devrait intervenir plus tôt à la centrale de Fessenheim. Dans ce contexte, on ne peut pas prévoir de résultats dans cette direction et d'améliorations qui en seraient le cas échéant déduites avant 2020.

Même si l'on tient compte des dernières déclarations de l'exploitant, nous en venons toujours à évaluer que le séisme majoré de sécurité (SMS) de la centrale de Fessenheim présente une probabilité de dépassement de  $10^{-4}$  par an – la tranche présente donc un état de sûreté moindre par rapport aux centrales nucléaires allemandes.

Jusqu'à présent, nous n'avons pas d'informations nouvelles sur les réserves existant à la centrale de Fessenheim. Une extension des réserves sismiques et l'amélioration requise des équipements de protection incendie ne sont prévues que pour le prochain réexamen de sûreté périodique. De nouvelles informations concernant la robustesse réellement existante de la centrale de Fessenheim et le cas échéant sur les améliorations requises ne seront donc pas disponibles avant 2020.

En supposant que le potentiel de robustesse des tranches allemandes constaté par la RSK correspondant à une unité d'intensité sismique est prouvé ou que les améliorations correspondantes sont réalisées, les réserves mentionnées pour la centrale de Fessenheim doivent toujours être classées nettement inférieures à celles des installations allemandes.

Les équipements du "noyau dur" doivent permettre d'augmenter significativement la robustesse en regard des impacts sismiques. Il faut noter ici que d'après les calendriers de mise en place du "noyau dur", un accroissement substantiel de la robustesse par rapport aux agressions externes servant actuellement de base au dimensionnement ne sera obtenu qu'à partir de 2020 avec l'implémentation des équipements complémentaires du noyau dur (« hardened safety core »).

Les exigences de base s'appliquant au "noyau dur" ne permettraient pas encore de parvenir à un niveau de sécurité équivalent au dimensionnement de base des installations allemandes même pour les équipements du noyau dur (« hardened safety core »). Nonobstant les exigences de base, on doit se baser pour les équipements du noyau dur («



hardened safety core ») de la centrale de Fessenheim au moins sur une accélération du sol horizontale maximale de 0,3 g. Ainsi, au moins par rapport au SMS, on obtiendrait une valeur supérieure d'un facteur 2 concernant les accélérations absorbables ce qui correspondrait au niveau de robustesse visé pour les tranches allemandes.

Spécifiquement pour l'alimentation électrique de secours de la centrale de Fessenheim, on note que le moyen d'alimentation électrique de secours installé jusqu'à présent comme réserve n'est pas qualifié au séisme et ne peut par conséquent déjà plus être crédité comme réserve dans le cas d'un séisme majoré de sécurité SMS. Dans le cadre du noyau dur (« hardened safety core »), on prévoit à partir de 2020 l'installation d'un groupe diesel d'ultime secours. Au contraire, l'alimentation diesel de secours du réseau électrique D2 existant déjà à l'heure actuelle dans les tranches allemandes est dimensionnée au séisme et est disponible comme réserve avec un degré de redondance (n+2) dans le cadre du dimensionnement.

### **Inondation**

Au vu des dernières déclarations de l'exploitant et de l'autorité de sûreté ASN, on peut supposer que le dimensionnement actuel de la centrale de Fessenheim correspond au moins au niveau d'une crue décennale (10 000 ans), c'est-à-dire qu'il présente un dimensionnement de base comparable aux centrales nucléaires allemandes.

Concernant les réserves disponibles, l'exploitant indique que pour les installations françaises, actuellement des réserves d'au moins 0,2 m ont été mises en évidence. La valeur minimale serait donc maintenant supérieure d'un facteur 2 par rapport aux valeurs d'au moins 0,06 m ressortant pour la centrale de Fessenheim dans le cadre du stress test européen, mais elle serait cependant toujours significativement inférieure aux hauteurs de protection mise en évidence pour les tranches allemandes, comprises entre 0,5 et 1 m.

L'exploitant observe par ailleurs que pour les équipements du noyau dur (« hardened safety core »), il faut se baser sur une crue avec un débit augmenté de 30 %. La réserve ainsi atteignable par rapport au niveau de crue serait dans ce cas tout à fait dans la plage des hauteurs de protection mises en évidence pour les tranches allemandes. Des avis de l'autorité de sûreté ASN ainsi que des définitions relatives au noyau dur (« hardened safety core »), il ne ressort pas de dispositions définitives sur ce point. Par ailleurs, l'implémentation des équipements complémentaires du noyau dur (« hardened safety core ») n'est prévue qu'à partir de 2020.

### **Piscines de désactivation et d'entreposage du combustible nucléaire**

Concernant le maintien du refroidissement du combustible présent dans les piscines de désactivation et d'entreposage, les mesures visant à garantir l'intégrité des piscines, notamment en cas d'agressions externes, et la préservation de l'inventaire en eau dans la piscine (éviter les pertes d'eau dues à des brèches de tubes attenants) sont prioritaires.

En ce qui concerne la préservation de l'inventaire en eau dans les piscines, l'autorité de sûreté ASN a confirmé la mise en œuvre des mesures visant à prévenir le risque de

vidange par siphonage. D'autres points qui ressortaient déjà comme étant en suspens dans le cadre du stress test européen doivent par contre toujours être classés en suspens.

Concernant l'instrumentation renforcée de la piscine d'entreposage, la mesure de niveau de la piscine d'entreposage a maintenant été reliée à une alimentation électrique supplémentaire. Des alimentations électriques complémentaires ayant également été mises en place dans les tranches allemandes, il existe aussi une alimentation complémentaire des systèmes de contrôle-commande pour les tranches allemandes.

La mise en place d'équipements de contrôle-commande complémentaires et l'installation de systèmes de conduite fixes pour l'alimentation en eau de la piscine d'entreposage en liaison avec le noyau dur (« hardened safety core ») ne sont prévues qu'après 2019 et la mise en place de l'alimentation en eau diversifiée est prévue fin 2020. Actuellement, ces mesures ne sont donc pas significatives pour l'état de sûreté de la centrale de Fessenheim.

A la centrale de Fessenheim, les piscines de désactivation et d'entreposage sont disposées dans un bâtiment séparé ; dans les réacteurs à eau sous pression allemands encore en régime de puissance, ils se situent par contre à l'intérieur du confinement dans le bâtiment réacteur. Cette configuration garantit une protection supplémentaire contre des agressions mécaniques externes et une meilleure rétention des produits de fission en cas d'endommagement du combustible. La situation sur ce point n'a pas changé. Dans ce contexte, nous classons toujours l'implantation des piscines de désactivation et d'entreposage du combustible à l'intérieur du confinement du bâtiment réacteur comme un avantage de sûreté des tranches allemandes.

### **Moyens d'alimentation électrique**

Concernant le dimensionnement de base de la centrale de Fessenheim, les différences demeurent dans le dimensionnement, la centrale ne correspond donc toujours pas à l'état de sûreté des tranches allemandes.

Sans changement, les réserves existantes dans les installations allemandes sont telles que dans toutes les installations encore en exploitation, il y a un moyen d'alimentation électrique de secours supplémentaire, redondant et diversifié, pour les dispositifs de sécurité. Ce moyen d'alimentation électrique de secours répond au moins au critère de défaut unique (n+1) et est dimensionné contre des agressions externes rares telles que la chute d'avion. En revanche, dans la centrale de Fessenheim il est installé une turbine à combustion TAC supplémentaire. Le site de Fessenheim dispose bien ainsi d'un moyen d'alimentation électrique de secours diversifié par rapport à l'alimentation de secours normale. Celui-ci est cependant conçu à une voie pour les deux tranches et n'est donc pas résistant à un défaut unique. La turbine à combustion TAC supplémentaire n'est pas qualifiée au séisme ni dimensionnée contre des agressions externes rares telles que la chute d'avion.

Les réserves concernant l'alimentation électrique, mises en évidence pour la centrale de Fessenheim, doivent donc toujours être classées comme nettement inférieures à celles des tranches allemandes.

Dans le cadre du backfitting du noyau dur (« hardened safety core »), un diesel d'ultime secours par réacteur doit également être mis en place. Ce diesel de secours doit être mis en place avant le 31/12/2018. La mise en place d'autres équipements du noyau dur (« hardened safety core »), qui devront être alimentés par ce diesel de secours, est cependant prévue après 2019. Actuellement, cette mesure n'est donc pas significative pour l'état de sûreté de la centrale de Fessenheim.

### **Eau de refroidissement**

En ce qui concerne les différences de dimensionnement de l'alimentation en eau de refroidissement, nous renvoyons ici à ce qui a été dit plus haut sur les principes de dimensionnement.

En cas de perte de longue durée du refroidissement à l'arrêt, on doit supposer qu'il va se produire au bout d'un temps limité une défaillance d'équipements techniques due à la perte du refroidissement de composants. Avec la perte du refroidissement du bâtiment, les actions manuelles pour des opérations de basculement ou des réparations ne seraient pas non plus possibles durablement. Dans ces conditions, un tel événement ne pourrait pas être maîtrisé durablement.

Dans le cadre du stress test européen, aucune indication détaillée n'a été donnée sur la façon de refroidir les systèmes nécessaires à la maîtrise durable de l'événement en cas de perte du refroidissement. L'ASN a mentionné à nouveau cette problématique dans le cadre des exigences s'appliquant aux équipements du noyau dur (« hardened safety core »). Des mesures en ce sens ne seront mises en œuvre que dans le cadre de la poursuite de la mise en œuvre du noyau dur (« hardened safety core »), elles ne sont donc attendues qu'après 2019.

Par contre, dans les tranches allemandes, une source froide ultime diversifiée a été créée pour toutes les tranches. Cela permet l'évacuation de la puissance résiduelle ainsi que le refroidissement nécessaire des composants. Nous y voyons un avantage de sûreté des tranches allemandes par rapport à l'état de sûreté actuel de la centrale de Fessenheim.

Dans le cadre des améliorations du noyau dur (« hardened safety core »), une alimentation en eau diversifiée et disponible durablement doit être mise en place pour alimenter les équipements du noyau dur (« hardened safety core »). La mise en place de l'alimentation en eau diversifiée est prévue fin 2020. L'installation de systèmes de conduites stationnaires pour l'alimentation des générateurs de vapeur, du réservoir PTR et de la piscine d'entreposage n'est cependant prévue qu'après 2019. A l'heure actuelle, cette mesure n'est donc pas pertinente pour l'état de sûreté de la centrale de Fessenheim.

## **Autres déficiences de sûreté**

Même si l'on tient compte des dernières déclarations de l'exploitant et de l'ASN, nous constatons toujours concernant l'assurance de l'évacuation de la chaleur côté secondaire et de l'alimentation côté primaire et l'injection d'eau borée dans des conditions de pression élevées dans le circuit primaire que la centrale de Fessenheim présente une robustesse considérablement inférieure, en regard du concept de défense en profondeur, à celle des réacteurs à eau sous pression allemands.

A long terme, à partir de 2020, des équipements supplémentaires, composants du noyau dur (« hardened safety core »), doivent être implémentés dans les installations françaises. Il n'a pas encore été fixé jusqu'à présent si ces équipements seront aussi mis en œuvre dans la centrale de Fessenheim, et le cas échéant quand ils le seront. Actuellement, ces mesures ne sont donc pas pertinentes pour l'état de sûreté de la centrale de Fessenheim.

Sur la base de l'accroissement de la robustesse exigé dans le cadre de la troisième visite décennale, nous supposons toujours que la robustesse de la centrale de Fessenheim contre des agressions externes induites par l'activité de l'homme est significativement inférieure à celle des tranches allemandes.

En ce qui concerne le risque d'inondation potentiel de l'ensemble du site de la tranche du fait du positionnement des systèmes de sûreté sur le site de Fessenheim à un niveau nettement en-dessous du Grand Canal d'Alsace, l'ASN note que les études demandées ont été présentées par l'exploitant. Elle constate néanmoins aussi que celles-ci ont fait apparaître la nécessité d'études complémentaires. Pour l'instant, il n'y a pas d'information sur l'état de réalisation de ces dernières études.

## 1. Introduction et objectif

Conséquence de la catastrophe nucléaire du 11 mars 2011 dans la centrale japonaise de Fukushima Daiichi, des procédures de réexamen ont été mises en route à différents niveaux nationaux et internationaux. Les réexamens spécifiques aux installations se sont focalisés sur l'analyse de certains aspects de sûreté en tenant compte des enseignements tirés du déroulement de l'accident de Fukushima, y compris en retenant des hypothèses qui vont au-delà des limites de dimensionnement actuelles des installations. Au niveau européen, on a réalisé pour cela ce qu'on a appelé le stress test européen.

Pour le Bade-Wurtemberg, les installations proches de la frontière sont particulièrement importantes. En France, il s'agit des réacteurs à eau sous pression Fessenheim 1 et 2 (mis en service en 1977) qui font partie des installations les plus anciennes dans le monde. Le Land de Bade-Wurtemberg peut être touché en cas d'accidents graves dans ces centrales nucléaires.

A la demande du Ministère de l'Environnement, du Climat et de l'Energie du Bade-Wurtemberg, l'Öko-Institut a présenté un rapport d'expertise en octobre 2012 dans lequel ont été tirées des conclusions sur les aspects de sûreté qui n'ont pas été examinés ou l'ont été de manière insuffisante dans le cadre du stress test européen. Des remarques portant sur des déficiences de sûreté ont été explorées spécifiquement pour les différentes installations. Les conclusions ont été présentées se référant aux champs thématiques séisme, inondation, piscine d'entreposage du combustible, moyen d'alimentation électrique, eau de refroidissement et autres déficiences de sûreté. Un réexamen complet de l'état de sûreté des installations n'entrait pas dans le périmètre d'étude de cette expertise et n'aurait pas non plus été possible sur la base des documents disponibles dans le cadre du stress test européen.

L'exploitant de la centrale de Fessenheim, Électricité de France (EDF, ci-après l'exploitant) et l'autorité de surveillance française, l'Autorité de Sûreté nucléaire (ASN, ci-après l'autorité de surveillance [ou ASN]) ont émis un avis sur l'analyse de l'Öko-Institut notamment dans le cadre de la présentation de l'expertise par l'Öko-Institut à la Commission locale d'information et de surveillance CLIS (EDF 2013) et à la Commission de coopération transfrontalière du district de Breisgau-Hochschwarzwald (ASN 2014a).

De plus, sur la base de la dernière visite décennale de la centrale de Fessenheim (ASN 2011a; ASN 2012c; ASN 2013a) et en réaction aux résultats du stress test européen (ASN 2011; ASN 2012b; ASN 2014; ASN 2014b), différentes prescriptions et améliorations ont été décidées pour la centrale de Fessenheim qui n'avaient pas encore pu être totalement prises en compte dans l'expertise de l'Öko-Institut de 2012 ou dont le stade de mise en œuvre a évolué depuis lors.

L'expertise qui est présentée ici a pour objet d'actualiser les évaluations des déficiences de sûreté de la centrale de Fessenheim en prenant en compte les améliorations

importantes pour la sûreté prévues ou déjà réalisées dans la centrale de Fessenheim depuis la fin du stress test européen.

Pour cela, on analysera dans un premier temps pour les champs thématiques mentionnés précédemment si, par rapport à l'état de sûreté de la centrale de Fessenheim présenté dans (Öko-Institut; PhB 2012), de nouvelles informations ou des informations différentes peuvent être tirées des déclarations et présentations de l'exploitant et de l'autorité de sûreté ASN.

Nous examinerons aussi quelle est l'importance des requêtes et améliorations décidées depuis lors par rapport aux déficiences identifiées dans (Öko-Institut; PhB 2012), quel est leur stade de mise en œuvre et quel est le calendrier retenu pour la centrale de Fessenheim, pour autant que sur ces points des informations aient été rendues publiques. Nous avons analysé ici les informations publiées jusqu'à l'été 2015.

Sur cette base, nous avons réalisé une évaluation actualisée de l'état de sûreté de la centrale de Fessenheim conformément aux critères d'évaluation déjà définis dans (Öko-Institut; PhB 2012), c'est-à-dire en référence à l'état de sûreté des centrales nucléaires allemandes encore en exploitation

Cette expertise ne rend pas compte en détail des procédures de réexamen conduites au niveau national et international, du référentiel d'évaluation qui en a été déduit ni des équipements de sûreté importants des tranches allemandes et de la centrale de Fessenheim ; pour cela, nous renvoyons à ce qui est exposé dans (Öko-Institut; PhB 2012).

Selon (Öko-Institut; PhB 2012), pour évaluer l'état de sûreté, il convient d'abord de prendre en compte le dimensionnement de base de la tranche. Dans son réexamen de sûreté, la Commission de sûreté des réacteurs (RSK) a défini pour toutes les centrales nucléaires allemandes un "basis level" qui représente l'exigence minimale s'appliquant au dimensionnement de base.

Au-delà, les tranches allemandes présentent des réserves pour l'évaluation desquelles différents niveaux de robustesse ont été définis dans le cadre des réexamens de sûreté de la RSK. Selon le champ thématique traité, les centrales nucléaires allemandes ont atteint un niveau de robustesse différent. (Öko-Institut; PhB 2012) a retenu en ce sens comme référence le niveau de robustesse qui est atteint par les installations encore en exploitation en Allemagne ou spécialement en Bade-Wurtemberg. Sur cette base, on a examiné si ce niveau était atteint par la centrale de Fessenheim, voire même dépassé.

Enfin, les mesures d'amélioration dans les installations, programmées à la suite des réexamens nationaux et internationaux, ont été examinées et l'accroissement de la robustesse de l'installation qu'elles permettent d'atteindre a été évalué.

L'expertise présentée dans ce rapport se réfère également à ce référentiel d'évaluation. On trouvera une présentation détaillée de l'état de sûreté des tranches allemandes et des exigences élargies en Allemagne en réaction à Fukushima aux chapitre 3.1 et 3.2 de

(Öko-Institut; PhB 2012). L'actualisation de la présentation de l'état de sûreté des tranches allemandes intervient ici à chaque fois en liaison avec les avis émis dans le cadre de cette expertise.

Au début de chaque champ thématique, nous présentons une nouvelle fois une synthèse des principaux résultats de (Öko-Institut; PhB 2012).

## 2. Principes de dimensionnement et mise en place d'un noyau dur (« hardened safety core »)

De par son principe de dimensionnement, la centrale nucléaire de Fessenheim diffère des réacteurs à eau sous pression actuellement encore en exploitation en Allemagne. Ces différences de dimensionnement, tous événements confondus, peuvent avoir un impact sur les différents sujets analysés et revêtent de ce fait une importance particulière. Les points faibles identifiés à ce sujet dans (Öko-Institut; PhB 2012) sont donc présentés préalablement de façon générique au chap. 2.1. Sont présentés ensuite au chap. 2.2 les éléments résultant de la présentation de l'exploitant (EDF 2013) puis au chap. 2.3 ceux découlant de la présentation de l'autorité de sûreté (ASN 2014a) en rapport avec ces points faibles.

En outre, l'autorité de sûreté a prescrit des mises à niveau importantes sous forme de mise en place d'un noyau dur (« hardened safety core »). Etant donné que les dispositifs prévus à ce titre ont cette même importance transversale, elles sont également présentées de manière générique au chap. 2.4. Les déclarations de l'exploitant et de l'autorité de sûreté sont évaluées au chap. 2.5.

### 2.1. Points faibles identifiés selon (Öko-Institut; PhB 2012)

La maîtrise des différents accidents de dimensionnement repose, dans les centrales allemandes, sur les systèmes de sécurité comprenant le système d'eau alimentaire de secours, les systèmes de sauvegarde et de refoirissement à l'arrêt ainsi que les auxiliaires associés assurant l'alimentation électrique. Ces systèmes assurent l'évacuation de la chaleur résiduelle même dans le cas d'un défaut unique combiné à l'indisponibilité d'une autre voie en raison d'opérations de réparation, c'est-à-dire que conformément au dimensionnement, deux trains sur les quatre trains existants sont suffisants pour la maîtrise des événements (degré de redondance  $n+2$ ).

Dans le cas de la centrale nucléaire de Fessenheim, le refroidissement côté secondaire est assuré par le système d'eau alimentaire de secours ASG et côté primaire la réduction de la pression, la borification et l'appoint de caloporteur reposent sur le système de contrôle chimique et volumétrique RCV, ce qui correspond au principe d'une configuration redondante ( $n+2$ ). Cependant, tous les trains alimentant ces systèmes d'importance centrale sont reliés à une seule bêche par système (ASG ou PTR), et leurs composants passifs sont de ce fait partiellement maillés (en partie utilisation commune de tuyauteries). Ainsi, l'indépendance de ces trains redondants n'est pas entière.

En ce qui concerne le dimensionnement de base des circuits d'eau brute secourue, une différence essentielle entre la centrale nucléaire de Fessenheim et les tranches allemandes tient au fait que le degré de redondance de la chaîne de refroidissement (système d'eau brute SEB et circuit de refroidissement intermédiaire RRI) à Fessenheim respecte uniquement le critère de défaut unique et ne permet pas la réalisation



d'opérations de maintenance en parallèle, ce qui est le cas dans les centrales allemandes grâce à un degré de redondance (n+2).

Le dimensionnement de base des centrales nucléaires allemandes comprend une alimentation électrique de secours permettant de maîtriser une perte et indisponibilité de l'alimentation électrique externe jusqu'à 72 heures. Le degré de redondance (n+2) de l'alimentation électrique de secours garantit une alimentation suffisante des équipements requis même en cas de simultanéité d'un défaut unique et d'une indisponibilité pour cause de maintenance.

Le dimensionnement de base de l'alimentation électrique de secours de la centrale nucléaire de Fessenheim ne correspond pas à l'état de sûreté des centrales nucléaires allemandes. Le degré de redondance de l'alimentation électrique de secours à Fessenheim respecte seulement le critère de défaut unique (n+1) et ne permet de ce fait pas de maintenance simultanée, contrairement aux tranches allemandes grâce au degré de redondance (n+2).

Ce moindre degré de redondance de l'alimentation électrique de secours est compensé pour quelques fonctions importantes pour la sûreté comme par exemple pour le système d'eau alimentaire de secours du circuit secondaire pour lequel il existe un système de vapeur vive indépendant de l'alimentation électrique de secours, créant ainsi un degré de redondance (n+2) pour ce système. Cependant, le système d'alimentation de secours n'est pas disponible dans tous les états du réacteur. D'autres fonctions importantes pour la sécurité ne reposent que sur l'alimentation électrique de secours en redondance (n+1). C'est le cas par exemple de l'alimentation électrique du système de refroidissement intermédiaire RRI qui assure, entre autres, le refroidissement du réacteur à l'arrêt ainsi que le refroidissement à long terme des composants des matériels importants pour la sécurité.

## 2.2. Présentation de l'exploitant

Dans (EDF 2013), l'exploitant présente d'abord les principes de dimensionnement de la centrale nucléaire de Fessenheim. Il note que le système de sécurité est un système à double voie (degré de redondance n+1), ce qui correspondait à la conception de cette filière et qui était mis en œuvre dans plus de 100 autres centrales dans le monde entier. Le dimensionnement des systèmes de refroidissement de secours repose sur le postulat d'une rupture de tuyauterie de refroidissement primaire combiné à un défaut unique dans une voie redondante, donc un dimensionnement (n+1). Selon l'exploitant, les travaux de maintenance sur une redondance pendant le régime de puissance ne sont pas admis sauf en présence de mesures de substitution équivalentes. (EDF 2013) cite à titre d'exemple la turbine à gaz commune aux deux tranches (TAC), qui peut remplacer un diesel de secours, ou encore le fait que le circuit de refroidissement intermédiaire RRI est équipé de deux pompes équivalentes.

En outre, l'exploitant déclare que pour la centrale nucléaire de Fessenheim une fréquence probabiliste d'endommagement du cœur de  $4,9 \times 10^{-9}$  par an a été déterminée dans le cadre de la troisième visite décennale.

Au sujet de la mise en place d'un noyau dur, l'exploitant note (EDF 2013) qu'il a proposé dès 2009 une remise à niveau de l'alimentation en eau de refroidissement et de l'alimentation électrique. Les études menées à la suite de l'accident de Fukushima auraient confirmé cela. Selon l'exploitant, les éléments essentiels du noyau dur à installer seraient les suivants, voir présentation détaillée au chap. 2.4.1:

- Un diesel d'ultime secours DUS par réacteur.
- Une pompe supplémentaire pour l'injection dans le circuit primaire.
- Un nouveau moyen d'alimentation des générateurs de vapeur et de la piscine des assemblages combustibles.
- Des piquages pour les équipements mobiles de la Force d'Action Rapide du Nucléaire (FARN).

L'exploitant en déduit que la centrale nucléaire de Fessenheim présenterait ainsi une robustesse comparable aux tranches nucléaires existant dans d'autres pays.

### **2.3. Présentation de l'autorité de sûreté**

L'autorité de sûreté a répondu par (ASN 2014a) aux arguments avancés dans (Öko-Institut; PhB 2012) . Au sujet du degré de redondance mis en œuvre dans la centrale nucléaire de Fessenheim, elle constate que celle-ci dispose par principe d'un degré de redondance  $2 \times 100\%$  (correspondant à  $n+1$ ). Cependant, l'alimentation en eau de refroidissement et en électricité pourrait également être assurée en secours par la tranche voisine. En outre, les travaux de maintenance sur une des redondances du système de sécurité ne seraient admissibles que moyennant des mesures compensatoires.

L'autorité de sûreté confirme également qu'une fréquence probabiliste d'endommagement du cœur de  $4,9 \times 10^{-9}$  par an a été déterminée dans le cadre de la troisième visite décennale.

S'agissant de la diversification des équipements de refroidissement des assemblages combustibles dans le cœur du réacteur et de l'alimentation électrique de ces équipements, l'autorité de sûreté renvoie aux équipements installés aux différents niveaux de sûreté, tel qu'ils sont également présentés dans (Öko-Institut; PhB 2012) . Elle indique en outre la mise en place d'un noyau dur.

Dans (ASN 2014a) l'autorité de sûreté constate qu'en janvier 2014, la centrale nucléaire de Fessenheim est dotée des équipements suivants :

- Réservoirs supplémentaires d'eau alimentaire des générateurs de vapeur et d'eau de refroidissement pour l'alimentation directe de la piscine des assemblages.

- Motopompes mobiles avec raccord pour l'alimentation des générateurs de vapeur et de la piscine des assemblages à partir des réservoirs précités.
- Mini-diesel (mini-DUS) pour l'alimentation en énergie électrique de certains matériels.

En outre, un système de puits pour l'alimentation des générateurs de vapeur et de la piscine des assemblages est en cours de construction.

## 2.4. Prescriptions et modifications

Du résultat du stress test européen, l'autorité de sûreté a déduit (ASN 2012a) que selon elle, il n'y avait aucune nécessité d'arrêter immédiatement les centrales nucléaires actuellement en fonctionnement. Par contre, elle définit comme condition préalable à toute poursuite d'exploitation des réacteurs nucléaires un renforcement sans délai de la robustesse des installations contre les événements extrêmes au-delà des marges de sécurité actuelles.

Dans le cadre des réexamens périodiques de la sûreté, des études probabilistes de la sûreté (EPS) sont réalisées pour les centrales nucléaires françaises. Ces études se distinguent par leur périmètre (à savoir les agressions considérées dans le cadre de l'EPS) et leur profondeur (analyse jusqu'au moment de l'apparition de la dégradation du cœur ou jusqu'à la détermination des relâchements dans l'environnement, correspondant ainsi à des EPS de niveau 1 ou 2). Conformément à (ASN 2014b) des analyses EPS de niveau 1 et 2 ont été réalisées pour le palier 900 MWe type CP0, prenant en compte des événements d'origine interne. Les événements non couverts par ces analyses pour ce palier dont fait partie également la centrale nucléaire de Fessenheim :

- incendie,
- séisme,
- inondation interne et externe,
- événements concernant la piscine des assemblages.

Conformément à (ASN 2014b), des méthodes probabilistes seront appliquées pour déterminer les risques pour les sites dans le cadre de la troisième visite décennale du parc français du palier 1300 MWe. Leur objectif dans le cadre des prochains réexamens périodiques de la sûreté consiste à généraliser aux autres sites les méthodes appliquées au site de Saint-Alban qui a servi de pilote. Le rapport ne donne pas d'indications sur le planning prévu pour la mise en œuvre d'analyses EPS de ce type pour la filière CP0 dont fait partie Fessenheim.

### 2.4.1. Noyau dur et Force d'Action Rapide du Nucléaire (FARN)

Par (ASN 2012a) l'autorité de sûreté a exigé les premières modifications et mises à niveau pour la centrale nucléaire de Fessenheim en réaction aux résultats du stress test européen (ASN 2011b) . Ces prescriptions ont été précisées dans (ASN 2012b; ASN

2014). Les mises à niveau essentielles décidées suite à l'accident de Fukushima comprennent :

- Des moyens techniques permettant une évacuation durable de la chaleur résiduelle du réacteur et de la piscine des assemblages (ASN 2012b, [ECS-16]), cf. aussi (ASN 2011a, [FSH1-20, -21]) et (ASN 2013a, [FSH2-17]).
- Un diesel d'ultime secours (DUS) supplémentaire par réacteur, capable de fournir aux équipements du noyau dur l'énergie électrique nécessaire, ou un diesel provisoire („mini“-DUS) capable d'alimenter les systèmes de contrôle-commande ainsi que l'éclairage de la salle de commande en cas de perte de toute autre alimentation électrique (ASN 2012b, [ECS-18]).
- La mise en place d'une force d'action rapide (Force d'Action Rapide du Nucléaire, FARN) (ASN 2012b, [ECS-36]) ainsi que d'un bâtiment abritant le centre de crise local.
- La mise à disposition d'autres matériels mobiles.

Doit être mis en place en outre une possibilité d'injecter du caloporteur boré dans le réacteur en mode d'arrêt du réacteur (avec circuit primaire ouvert) (ASN 2012b, [ECS-16 II]).

Conformément à (ASN 2012a) , la FARN comprendra du personnel et des moyens permettant de relayer le personnel de la centrale suite à un accident. La FARN doit ainsi être en mesure d'engager les premières actions dans les 12 heures après début de l'événement et d'apporter des ressources supplémentaires nécessaires à la centrale sous 24 heures.

Le noyau dur constitue une composante essentielle des mises à niveau requises (ASN 2012b, [ECS-1, -16, -18]). Dans (ASN 2014) l'autorité de sûreté décrit plus précisément ce noyau dur. Le noyau dur viserait ainsi à

- a) prévenir les accidents avec fusion du cœur ou en limiter les impacts,
- b) limiter les rejets radioactifs dans l'environnement et
- c) mettre l'exploitant en capacité d'assurer les actions d'urgence du PUI et de permettre le soutien externe en situation de crise.

Les dispositifs du noyau dur doivent être indépendants et diversifiés par rapport aux équipements existants. Une éventuelle utilisation de matériels préexistants dans le cadre du noyau dur qui dérogerait à ce principe devra être justifiée.

Le dimensionnement du noyau dur devra prendre en compte les agressions externes séisme, inondation (en prenant en compte l'aléa pluie extrême), tempête, foudre, grêle et tornade avec une force dépassant le dimensionnement initial.

Les situations supplémentaires à postuler pour le dimensionnement du noyau dur sont :

- Perte totale de toutes les installations d'alimentation électrique ne faisant pas partie du noyau dur.

- Perte totale de toutes les sources froides ne faisant pas partie du noyau dur.
- Les agressions externes mentionnées ci-dessus et les conditions qui en résultent pour la centrale et l'environnement.

Un cumul des situations ci-dessus doit également être postulé, sachant qu'un seul réacteur ou tous les réacteurs d'un même site pourraient être concernés.

A cette fin, le noyau dur devra permettre

- en cas de circuit primaire sous pression, d'assurer le refroidissement du cœur du réacteur ainsi que l'intégrité du circuit primaire grâce à l'alimentation des générateurs de vapeur,
- d'assurer la fermeture étanche du confinement, d'exclure tout événement avec bipasse du confinement et d'assurer l'intégrité du confinement même sans décompression, en postulant également l'occurrence d'accidents avec fusion totale du cœur et rupture de la cuve du réacteur, et
- d'éviter le découverture des assemblages combustibles dans la piscine des assemblages et en cours de manutention.

A cette fin, sont à mettre à disposition les moyens techniques et organisationnels ainsi que les équipements de mesure et de contrôle permettant

- de surveiller les paramètres pertinents du cœur du réacteur et de la piscine des assemblages,
- de raccorder les moyens nécessaires du noyau dur et
- de déterminer les conditions de mise en œuvre de ces équipements.

Le noyau dur doit ainsi disposer de ses propres équipements de contrôle-commande ainsi que de son alimentation propre en énergie électrique, qui soient indépendants, au tant que faire se peut, des autres équipements de la tranche.

Les composants du noyau dur doivent être classés « importants pour la sécurité » et qualifiés conformément à l'article 2.5.1 II in (ASN 2012) pour les conditions enveloppes correspondant aux événements postulés.

Concernant les impacts des séismes à postuler cf. chap. 3.

Concernant les impacts des inondations à postuler cf. chap. 4.

Concernant toute autre agression externe à postuler, l'exploitant doit faire des propositions pour les intensités à prendre en compte, avant le 30/06/2014. Conformément à (ASN 2014b), l'exploitant a soumis pour ces agressions une proposition des conditions aux limites à postuler. L'autorité de sûreté doit définir mi-2015 les impacts à postuler.

Les composants du noyau dur à mettre en place devront être dimensionnés par rapport à ces agressions à postuler. Pour les matériels déjà existants à utiliser dans le cadre du noyau dur, il restera à prouver qu'ils seront disponibles dans les conditions retenues. Si

cette preuve ne peut pas être apportée, l'exploitant devra vérifier s'il peut les remplacer ou renforcer.

La durée d'action des dispositifs du noyau dur doit être fixée et il reste à déterminer une stratégie pour la poursuite des actions en cas d'agressions de durée plus longue.

#### **2.4.2. Etat d'avancement de la mise en œuvre et calendrier**

L'autorité de sûreté note dans (ASN 2014b) que l'exploitant a réalisé toutes les exigences formulées dans (ASN 2012b) au 31/12/2014 conformément au calendrier. Elle indique cependant que suite à la spécification plus précise des exigences pour le noyau dur dans (ASN 2014), le planning de mise en œuvre des dispositions exigées pour les tranches françaises a été modifiée une nouvelle fois. La mise en œuvre des mesures devra désormais être conduite en trois phases.

Conformément à (ASN 2014b) la phase 1 devra être terminée entre 2012 et 2015, elle comprend la mise en place de dispositifs temporaires ou mobiles destinés notamment à être utilisés en cas de perte totale des alimentations électriques (station blackout) ou de perte de l'alimentation en eau de refroidissement :

- Installation d'un diesel de secours (mini-DUS) – il en ressort qu'ils ont été installés dans tous les réacteurs avant le 30/06/2013.
- Création de piquages pour les équipements mobiles (pompes, groupes électrogènes).
- Mise en place de la FARN.

La phase 2 s'étendra sur la période 2015-2020. Pendant cette phase, des éléments essentiels du noyau dur devront être mis en place, capables de résister également à des événements hors dimensionnement actuel :

- Installation d'un diesel de secours ultime supplémentaire (DUS, avant le 31/12/2018) dans un bâtiment restant à construire.
- Mise à disposition permanente d'une source d'eau diversifiée pour l'alimentation du réacteur, des générateurs de vapeur et de la piscine des assemblages.

Les travaux sur certaines dispositions de la phase 2 ont débuté, mais les dates précises de mise en œuvre n'ont pas encore été fixées définitivement.

La phase 3 suivra la phase 2 à partir de 2019. Pendant cette phase, d'autres éléments du noyau dur devront être implémentés, parmi lesquels :

- Un moyen autonome d'alimentation des générateurs de vapeur depuis la source d'eau diversifiée.
- Un moyen autonome d'injection dans le circuit primaire.
- L'installation de tuyauteries fixes pour l'alimentation des générateurs de vapeur, de la bache PTR et de la piscine des assemblages.
- L'installation de moyens de contrôle-commande pour le noyau dur.

- L'installation d'un système de refroidissement ultime pour l'évacuation de la chaleur résiduelle hors du confinement (évitant ainsi le recours à la décompression filtrée).

Le calendrier réel de mise en œuvre des mesures et des installations de la phase 3 doit être déterminé en 2015.

L'autorité de sûreté note en outre que l'exploitant a soumis, le 30/06/2014, une liste provisoire des matériels nouveaux ou existants choisis pour faire partie du noyau dur des centrales françaises (ASN 2014b). L'exploitant a également soumis les principes pour le dimensionnement, la construction, la mise en service, la qualification et le contrôle de ces installations ainsi qu'une proposition concernant l'aléa sismique à considérer pour toutes les centrales. L'autorité de sûreté prévoit d'instruire ces propositions pendant la première moitié de l'année 2015.

S'agissant de la requête de créer des installations techniques d'évacuation de la chaleur résiduelle du réacteur et de la piscine des assemblages combustibles, l'autorité de sûreté constate dans (ASN 2014b) que l'exploitant a soumis des propositions pour la totalité des mises à niveau prévues, propositions actuellement instruites par l'autorité de sûreté.

Afin de permettre une injection de caloporteur boré dans le réacteur à l'arrêt (circuit primaire ouvert), une pompe supplémentaire connectée au système d'aspersion de l'enceinte (EAS) et au circuit RIS d'injection de sécurité a été installée dans tous les réacteurs du palier 900 MWe. Dans le cadre de la poursuite de mise en œuvre du noyau dur, il est prévu d'installer une nouvelle pompe disposant de son propre contrôle-commande qui doivent rester disponibles même en cas de séisme ou d'accident avec dégradation sévère du cœur (ASN 2014b, S. 25). En outre, l'exploitant devra créer avant fin 2015 des piquages pour les pompes mobiles qui seront remplacées à long terme par des tuyauteries fixes dans le cadre du noyau dur (ASN 2014b, S. 30f).

## 2.5. Position

Le rapport de l'exploitant (EDF 2013) comme celui de l'ASN (ASN 2014a) ne révèlent aucune information faisant apparaître que par rapport à la présentation de l'état des lieux de la centrale de Fessenheim dans (Öko-Institut; PhB 2012), d'autres aspects importants devraient être pris en compte.

A la fois l'exploitant et l'autorité de sûreté renvoient aux résultats des études probabilistes de la sûreté réalisées dans le cadre de la troisième visite décennale de la centrale nucléaire de Fessenheim. Cependant, ces études ne prennent en compte que des événements d'origine interne à la centrale. Or, les agressions externes analysées dans le présent rapport, telles que le séisme (et les départs de feu potentiellement causés à l'intérieur de la centrale), l'inondation externe ou des événements concernant la piscine des assemblages n'ont justement pas été étudiées pour la centrale nucléaire de Fessenheim. Les déclarations au sujet d'une fréquence probabiliste d'endommagement du cœur n'ont ainsi aucune importance pour les événements discutés ici.

Des analyses probabilistes du risque sismique réalisées à titre d'exemple pour une autre centrale française ont déterminé, pour cette tranche, une contribution du séisme de  $10^{-6}$  par an à la fréquence d'endommagement du cœur, cf. chap. 3. Cette contribution dépasse à elle seule d'un facteur 200 la fréquence d'endommagement du cœur de  $4,9 \times 10^{-9}$  par an indiquée dans le cadre de la troisième visite décennale pour la centrale nucléaire de Fessenheim, ce qui démontre notamment l'importance des événements externes dans le cadre de l'EPS.

### 2.5.1. Principes du dimensionnement

Comme dans le cas de la centrale nucléaire de Fessenheim, le dimensionnement des systèmes de refroidissement de secours des réacteurs à eau sous pression allemands repose sur l'hypothèse d'une rupture d'une conduite primaire. De ce point de vue, il n'existe pas de différences notables entre ces centrales.

Au vu des différences concernant le degré de redondance de la centrale nucléaire de Fessenheim, aussi bien l'exploitant que l'autorité de sûreté constatent que le système de sécurité de la centrale nucléaire de Fessenheim est en principe conçu à deux trains (degré de redondance  $n+1$ ), à savoir une qualification au critère de défaut unique.

L'autorité de sûreté fait remarquer qu'une reprise en secours depuis la tranche voisine est possible pour certaines fonctions de sûreté. Cela a été déjà pris en compte dans (Öko-Institut; PhB 2012) pour les cas en question.

En outre, l'exploitant et l'autorité de sûreté indiquent que, contrairement aux centrales allemandes, aucune opération de maintenance sur une voie redondante du système de sécurité n'est admise en régime de puissance, à moins d'avoir mis en place des dispositions de substitution adéquates.

En principe, la centrale nucléaire de Fessenheim répond ainsi aux exigences internationales en matière de résistance à un défaut unique du système de sécurité, comme par exemple (WENRA 2014, E8.2).

Le dimensionnement du système de sécurité des centrales nucléaires allemandes repose sur le concept du défaut unique, cf. (SiAnf 2015, 3.1 (7)). Mais en cas d'aléa, il faut postuler à la fois le défaut unique le plus pénalisant et en même temps l'indisponibilité la plus défavorable pour cause de travaux de maintenance (maintenance préventive ou réparations non prévues). De ce fait, les réacteurs nucléaires allemands disposent d'un degré de redondance ( $n+2$ ), ce qui dépasse les exigences internationales, par exemple (WENRA 2014, E8.2).

Dans les centrales allemandes, la maintenance préventive (programmée) est admise pendant le régime de puissance des réacteurs. Pendant ces périodes, le degré de redondance disponible se réduit ainsi à ( $n+1$ ). Cependant, les travaux de maintenance préventive en régime de puissance ne sont admis que si diverses conditions restrictives sont respectées. Il doit ainsi être garanti que les autres voies redondantes sont disponibles de manière à respecter le critère du défaut unique pendant toute la durée des travaux de



maintenance (SiAnf 2015, annexe 4, 3.1(1)). De surcroît, les travaux de maintenance préventive doivent être réalisés au cours des périodes de non-fonctionnement pendant lesquelles une sollicitation de l'équipement en travaux n'est pas prévue ou peu probable, par exemple hors régime de puissance (SiAnf 2015, annexe 4, 3.3.1 (1)). Si une maintenance préventive doit être réalisée en régime de puissance, l'indisponibilité globale des matériels concernés qui en résulte doit être limitée dans le temps. La durée d'indisponibilité d'une voie redondante (n+2) sans justification détaillée est limitée à 7 jours par voie et par an au maximum, conformément à (SiAnf 2015, annexe 4, 3.3.3 (2)).

Dans les réacteurs allemands, en cas de découverte d'un défaut sur des installations importantes pour la sûreté entraînant une réparation non prévue, les mesures nécessaires doivent être prises immédiatement. La durée de remise en état est également limitée; en cas d'impossibilité de remise en état dans les temps impartis, la tranche devra être ramenée dans l'état de fonctionnement prévu dans les consignes d'exploitation (SiAnf 2015, annexe 4, 3.2), c'est à dire qu'en règle générale la tranche devra être arrêtée.

Il faut noter que le degré de redondance (n+2) atteint dans les centrales allemandes peut être disponible de façon restreinte en raison de travaux de maintenance en régime de puissance (degré de redondance n+1 comme à la centrale nucléaire de Fessenheim) pour une durée limitée, de l'ordre de grandeur de quatre semaines par an. Ce degré de redondance peut cependant être considéré comme acquis sans limitation sur la majorité du temps de fonctionnement en puissance. Pendant la durée des travaux de maintenance, toujours nécessaires sur une voie redondante hors régime de puissance du réacteur (donc réacteur à l'arrêt), les centrales allemandes respectent le critère du défaut unique, tandis que le système de sécurité de la centrale nucléaire de Fessenheim ne le respecte plus pendant ce type de période.

L'exploitant précise en outre qu'en cas de réparation en régime de puissance, la centrale nucléaire de Fessenheim peut bénéficier de moyens de remplacement. En principe, cela vaut également pour les réacteurs nucléaires allemands. Cependant, l'exploitant mentionne dans ce contexte p.ex. la turbine à gaz (TAC) commune aux deux tranches. Les installations de ce type ont déjà été prises en compte dans (Öko-Institut; PhB 2012) pour l'évaluation des réserves dont dispose la tranche. Si elles servent de moyens de remplacement pendant des opérations de maintenance en régime de puissance, elles ne peuvent plus servir de réserve disponible pour les deux tranches en cas d'aléa.

Dans ce contexte, le degré de redondance plus élevé des tranches allemandes constitue tout de même un avantage en matière de sûreté par rapport à la centrale nucléaire de Fessenheim. Cela concerne surtout le degré de redondance de la chaîne de refroidissement à l'arrêt et de l'alimentation électrique de secours de la centrale nucléaire de Fessenheim, cf. présentation au chap. 2.1.

Ni l'exploitant ni l'autorité de sûreté n'ont pris position au sujet du maillage de systèmes d'importance centrale comme par exemple du système d'alimentation de secours ASG et du système de contrôle chimique et volumétrique RCV du fait du recours à une seule

bâche (ASG respect. PTR). Ce maillage continue à pénaliser le niveau de la sûreté de la centrale nucléaire de Fessenheim.

### 2.5.2. Backfitting

Avant même l'accident de Fukushima, tous les réacteurs à eau sous pression allemands prévoyaient dans leurs procédures internes d'urgence le recours à une pompe mobile présente sur site afin de garantir une décompression côté secondaire et l'alimentation des générateurs de vapeur. En outre, des dispositifs organisationnels spécifiques à la tranche avaient déjà été prévus afin de bénéficier du support par les services centraux de l'exploitant, du constructeur de la tranche, du Kerntechnischer Hilfsdienst (organisme de secours émanant des électriciens allemands exploitant des centrales nucléaires) ainsi que d'autres organisations de protection civile régionales et locales (BMU 2012).

En réaction aux événements de Fukushima, diverses mesures et mises à niveau ont également été réalisées dans les centrales allemandes, cf. à ce sujet (Öko-Institut; PhB 2012, Kap. 3.2). Une présentation actualisée des actions décidées et de leur état d'avancement a été publiée dans (BMUB 2014). Ces mesures et mises à niveau comprennent notamment :

- L'assurance d'une autonomie de 10 heures en cas de station blackout grâce à l'allongement de l'autonomie des batteries ou la mise à disposition d'une alimentation de secours moyennant un diesel mobile (BMUB 2014, N-1).
- La mise à disposition d'un diesel de secours mobile permettant, dans les conditions d'un événement hors dimensionnement avec perte de l'alimentation en énergie électrique de la centrale nucléaire, de rétablir l'alimentation en courant alternatif dans les 10 heures de « temps de grâce » dont on dispose. Les capacités de ce groupe électrogène (diesel) doivent être suffisantes pour alimenter les systèmes nécessaires pour replier la tranche et évacuer la chaleur résiduelle du réacteur et de la piscine des assemblages combustibles (BMUB 2014, N-2).
- La mise à disposition d'une source froide ultime indépendante de la source froide primaire et suffisante pour évacuer la chaleur résiduelle et refroidir les composants (BMUB 2014, N-3).
- Un moyen supplémentaire d'alimentation de caloporteur boré directement dans la cuve du réacteur (BMUB 2014, N-5).
- Le renforcement des mesures d'urgence existantes d'évacuation de la chaleur résiduelle du réacteur et de la piscine des assemblages combustibles, notamment
  - Une pompe mobile supplémentaire qualifiée aux agressions hors dimensionnement pour le maintien du refroidissement intermédiaire (BMUB 2014, N-4),
  - Un moyen fixe supplémentaire d'alimentation de la piscine des assemblages combustibles (BMUB 2014, N-8, -22).

(BMUB 2014) confirme que la période d'autarcie de 10 heures est acquise pour tous les réacteurs à eau sous pression allemands disposant de l'autorisation de production d'électricité. En outre, des groupes électrogènes mobiles ainsi que les raccords correspondants ont été mis à disposition, permettant d'alimenter les systèmes nécessaires au repli des installations et de garantir l'évacuation de la chaleur résiduelle du réacteur et de la piscine des assemblages combustibles.

Conformément à (BMUB 2014) une source froide ultime diversifiée a été créée dans toutes les centrales. De plus, dans tous les réacteurs ne disposant pas jusqu'à présent d'une alimentation diversifiée du système de refroidissement intermédiaire, une pompe mobile supplémentaire a été mise en place pour permettre la création d'une chaîne réduite de refroidissement à l'arrêt. Les autorités n'ont pas encore terminé pour toutes les centrales nucléaires la vérification de la réalisation de ces exigences.

Les exploitants ont fait des propositions pour une alimentation supplémentaire de la cuve du réacteur, ces propositions sont également encore en cours d'instruction par les autorités compétentes (BMUB 2014).

Dans le cadre du renforcement des moyens d'urgence existants, des moyens fixes supplémentaires d'alimentation de la piscine des assemblages combustibles ont été installés, les vérifications des autorités de la réalisation de ces exigences ne sont pas encore terminées pour toutes les centrales (BMUB 2014).

En outre, les exploitants sont tenus d'effectuer une analyse systématique portant sur la sécurisation des fonctions de sûreté vitales en cas d'agressions internes ou externes hors dimensionnement (BMUB 2014, N-13). Les rapports correspondants ont été remis par les exploitants et sont en cours d'instruction.

La mise en place dans la centrale nucléaire de Fessenheim, dans le cadre de la phase 1, du mini-DUS, des raccords mobiles pour les groupes électrogènes de secours et des pompes mobiles pour l'alimentation des générateurs de vapeur et de la piscine des assemblages ainsi que la mise en place de la FARN correspondent - pour les réacteurs à eau sous pression disposant de l'autorisation de production d'électricité en Allemagne - aux moyens d'alimentation électrique à l'aide d'un groupe électrogène mobile, à l'alimentation des GV côté secondaire et de la piscine des assemblages, moyens qui existaient déjà avant Fukushima ou qui ont été implémentés depuis.

Alors que jusqu'à présent des réserves d'eau supplémentaires ont été mis à disposition dans la centrale nucléaire de Fessenheim et qu'une alimentation en eau de refroidissement disponible de façon permanente via un système de puits est en cours de construction, les réacteurs à eau sous pression disposant de l'autorisation de production d'électricité en Allemagne ont implémenté une alimentation diversifiée en eau de refroidissement disponible de façon permanente. Celle-ci garantit l'évacuation de la chaleur résiduelle du réacteur et de la piscine des assemblages ainsi que le refroidissement des composants requis.

A long terme, à savoir dans le cadre de la phase 3 (à partir de 2020 env.), d'autres installations seront mises en place dans les centrales françaises pour former le noyau dur. Jusqu'à maintenant, on ne sait pas si et quand elles seront réalisées à la centrale nucléaire de Fessenheim. Par conséquent, ces mesures sont donc actuellement sans objet pour l'évaluation de l'état de sûreté de la centrale nucléaire de Fessenheim.

Les mises à niveau réalisées jusqu'à présent à la centrale nucléaire de Fessenheim font appel à des systèmes, structures et composants déjà préexistants de la tranche (bâtiments, pompes, tuyauteries, distribution d'électricité, contrôle-commande etc.). Ces systèmes, structures et composants existants répondent aux règles de dimensionnement qui étaient en vigueur jusqu'à présent pour cette. Ce n'est que dans le cadre de la phase 3 de la mise en œuvre des matériels du noyau dur à partir de 2020 qu'il sera possible d'augmenter de façon substantielle la robustesse de la centrale au-delà des agressions prises en compte pour le dimensionnement initial.

Une évaluation des exigences à remplir par le noyau dur en matière de dimensionnement vis-à-vis des aléas séisme et inondation sera présentée dans les chapitres 3.5 et 4.5 de la présente expertise. En ce qui concerne les aléas vent, foudre, grêle et tornades, l'autorité de sûreté n'a pas encore défini les exigences en matière de dimensionnement du noyau dur, il n'est donc pas encore possible de les évaluer. Pour les réacteurs nucléaires allemands, la commission de sûreté nucléaire (Reaktor-Sicherheitskommission) a exigé au sujet des aléas météorologiques extrêmes (RSK 2013), qu'il faut administrer la preuve que le dimensionnement permet la maîtrise des phénomènes météorologiques d'une occurrence de  $10^{-4}/a$ . Eu égard aux recommandations des ENSREG Stress Test Peer Reviews, les exploitants devraient mener également une évaluation technique dans le cadre d'un contrôle de la robustesse afin de déterminer si certaines agressions causées par des conditions climatiques extrêmes pourraient impacter des fonctions de sûreté vitales de manière inacceptable.

Les modifications réalisées et prévues à la centrale nucléaire de Fessenheim sont de nature à augmenter le niveau de sûreté de la tranche. Des backfittings au moins équivalents ont été réalisés dans les réacteurs allemands à eau sous pression qui disposent d'une autorisation de production d'électricité. Il s'agit notamment de la mise en œuvre d'une alimentation en eau de refroidissement diversifiée et disponible de façon permanente ; dans le cas de la centrale nucléaire de Fessenheim une telle alimentation n'est obligatoire qu'au 31/12/2018.

Ainsi, les mises à niveau réalisées ne sont donc pas de nature à compenser les différences en termes de dimensionnement initial et de robustesse de la centrale nucléaire de Fessenheim par rapport aux centrales nucléaires allemandes.

### 3. Séisme

Dans le cadre de notre étude nous procédons ci-après tout d'abord à la reproduction des résultats majeurs de (Öko-Institut; PhB 2012). Elle est suivie d'une synthèse à partir des éléments de la présentation de l'exploitant (EDF 2013) ainsi que de l'autorité de sûreté (ASN 2014a). Il est également exposé, notamment sur la base de (ASN 2014b), quelles sont les prescriptions ou mises à niveau qui ont été décidées depuis et qui sont pertinentes par rapport aux points faibles identifiés ici.

#### 3.1. Points faibles identifiés selon (Öko-Institut; PhB 2012)

Les réacteurs nucléaires allemands présentent un dimensionnement asismique de base vis-à-vis d'un séisme d'une probabilité de dépassement de  $10^{-5}$  par an.

Le génie asismique de la centrale nucléaire de Fessenheim procède de critères déterministes. On ne dispose pas d'analyses sismiques probabilistes pour le site de Fessenheim. En revanche, pour toutes les centrales nucléaires allemandes, la détermination des effets des séismes possibles au niveau d'un site doit inclure également des analyses probabilistes lesquelles sont à prendre en compte pour la définition du séisme de dimensionnement. Déjà dans le cadre des peer reviews en Europe, l'autorité de sûreté avait recommandé que les futurs réexamens du génie asismique des réacteurs existants intègre également des analyses probabilistes.

Sur la base des documents disponibles nous considérons que le dimensionnement asismique de la centrale nucléaire de Fessenheim correspond à peu près à un séisme d'une probabilité de dépassement de  $10^{-4}$  par an – l'état de sûreté est donc inférieur en comparaison avec les centrales nucléaires allemandes.

De ce fait, le dimensionnement de base de la centrale nucléaire de Fessenheim ne correspond pas à l'état de sûreté des centrales nucléaires allemandes.

Pour les réacteurs nucléaires allemands, la commission de sûreté des réacteurs (RSK) a établi que le potentiel des marges correspond à peu près à une unité de l'intensité du séisme, mais sans toutefois pouvoir en administrer la preuve de façon définitive compte tenu des documents présentés. L'augmentation d'un degré de l'intensité du séisme correspondrait à une multiplication par deux des accélérations évacuables.

Les marges globales indiquées par l'exploitant de la centrale nucléaire de Fessenheim correspondent à un facteur d'au moins 1,5 pour les accélérations maîtrisables. C'est en particulier pour le réservoir du système d'eau alimentaire de secours et pour le réservoir de noyage que l'on indique des marges plus faibles qui, le cas échéant, pourraient se situer même en dessous du facteur de 1,5. L'autorité de sûreté approuve le principe de l'approche de l'exploitant dans l'analyse des marges de sécurité, mais elle constate que les marges indiquées ne sont pas suffisamment corroborées. Par ailleurs, l'exploitant utilise des marges qui avaient été introduites dans le cadre du dimensionnement afin de

couvrir les incertitudes existantes. De plus, l'exploitant identifie lui-même une série de points en suspens qui sont susceptibles de mettre en question les marges indiquées.

Etant donné qu'en cas de défaillance de la bache PTR, certaines fonctions centrales ne sont plus disponibles pour la maîtrise d'un séisme, on ne peut pas considérer globalement qu'il existe un facteur de sécurité 1,5 dans le cas de la centrale nucléaire de Fessenheim. D'autres réservoirs implantés sur le site, qui pourraient être utilisés pour compléter côté secondaire les réserves de refroidissement du circuit d'eau alimentaire de secours, n'ont pas la qualification asismique de sorte que déjà dans les conditions du séisme majoré de sécurité retenu pour le dimensionnement on ne peut pas considérer que ces réserves sont disponibles.

Sous réserve que le potentiel de robustesse à hauteur d'un degré d'intensité du séisme constaté par la RSK dans le cas des centrales nucléaires allemands puisse être démontré, les marges annoncées pour la centrale nucléaire de Fessenheim sont nettement plus faibles que dans le cas des tranches allemandes.

La turbine à combustion TAC qui est commune aux deux tranches et qui sert de complément diversifié à l'alimentation électrique de secours du dimensionnement initial, a comme degré de redondance 1 et n'est pas qualifiée au séisme. On ne peut donc pas considérer qu'en cas de séisme de dimensionnement elle pourra encore servir de réserve. En revanche, dans les centrales nucléaires allemandes, le système des diesels de secours du réseau électrique D2 est dimensionné pour résister au séisme et constitue une réserve avec un degré de redondance de (n+2) dans le cadre du dimensionnement.

### **3.2. Présentation de l'exploitant**

S'agissant du dimensionnement de base de la centrale nucléaire de Fessenheim, l'exploitant établit dans (EDF 2013) tout d'abord que le Séisme Majorité de Sécurité (SMS) correspond au séisme de 1000 ans (séisme maximum historiquement vraisemblable, SMHV) majoré de 1 sur l'échelle de Medvedev-Sponheuer-Kárník (échelle MSK). Le génie civil et les constructions des systèmes, structures et composants ont intégrés des conservatismes qui ont assuré une marge par rapport aux impacts d'un séisme majoré de sécurité. Dans le cadre des analyses post-Fukushima on aurait trouvé des marges avec un facteur compris entre 1,5 et 4 des accélérations absorbables.

L'exploitant rapporte qu'une analyse probabiliste du risque sismique pour le site de St. Alban aurait montré que la contribution du séisme à la dégradation du cœur serait très faible, à savoir  $10^{-6}$  par an. Il note cependant que cette valeur ne serait pas transposable directement à la centrale nucléaire de Fessenheim et qu'il aurait prévu une analyse spécifique pour Fessenheim pour confirmer ces valeurs.

En ce qui concerne la comparaison avec le génie asismique des centrales allemandes, l'exploitant précise que dans le cas de la centrale nucléaire de Fessenheim le SMS a été défini avec une accélération horizontale maximale du sol (PGA) de 0,13 g. Le dimensionnement de la tranche serait par conséquent basé sur 0,13 g, voire sur 0,2 g

pour certains systèmes, structures et composants (notamment le bâtiment réacteur) alors que pour la centrale nucléaire de Philippsburg le séisme historique maximal retenu aurait une PGA de 0,08 g et la tranche aurait été dimensionnée pour une PGA de 0,2 g. Le dimensionnement de base des installations serait donc similaire.

S'agissant du séisme de dimensionnement des centrales allemandes selon la règle KTA 2201.1 avec une probabilité de dépassement de  $10^{-5}$  par an, l'exploitant (EDF 2013) fait remarquer qu'il s'agit de la définition de l'intensité du séisme de dimensionnement alors qu'au plan international est usuel d'utiliser l'accélération comme grandeur de référence. Si l'on prenait en considération la probabilité d'occurrence du séisme retenu pour la centrale nucléaire de Fessenheim, il y aurait selon une lettre d'EDF à l'autorité de sûreté ASN du 01/03/2013 :

- Pour le SMHV une périodicité d'env. 25.000 ans (correspondant à une probabilité de dépassement de  $4 \times 10^{-4}$  par an)
- Pour le SMS une périodicité d'env. 200.000 ans (correspondant à une probabilité de dépassement de  $5 \times 10^{-6}$  par an)

Par conséquent, le niveau dimensionnement des réacteurs allemands et français serait similaire.

En Allemagne, il ne serait pas prévu de réaliser des actions supplémentaires pour augmenter le niveau de sûreté tandis qu'en France, il serait prévu la mise en place d'un noyau dur („hardened safety core“). Dans le cas de la centrale nucléaire de Fessenheim, ce noyau dur serait dimensionné pour une PGA d'au moins 0,3 g.

L'exploitant en déduit que le dimensionnement correspond à celui des centrales allemandes et qu'il bénéficierait d'une amélioration supplémentaire par la mise en place du noyau dur („hardened safety core“).

### 3.3. Présentation de l'autorité de sûreté

Dans (ASN 2014a), l'autorité de sûreté souligne également que l'intensité du SMS est majorée d'un degré par rapport au séisme historique maximal et que le dimensionnement de quelques matériels du site de Fessenheim est basé sur le spectre de dimensionnement (SDD) d'EDF. Elle note que l'exigence d'une probabilité de dépassement de  $10^{-4}$  par an, comme le demande par exemple l'AIEA, se rapporterait aux valeurs d'accélération retenues et non pas à l'intensité au niveau du site. Elle renvoie aux explications qu'EDF a fournies concernant la probabilité de dépassement de l'intensité sismique au site de Fessenheim, cf. chapitre 3.2, mais elle précise également que ces indications n'ont pas encore été vérifiées par l'autorité de sûreté.

Par ailleurs, l'autorité de sûreté confirme les déclarations d'EDF concernant le dimensionnement de la centrale nucléaire de Fessenheim vis-à-vis d'un SMS avec une PGA de 0,13 g et le dimensionnement de quelques systèmes, structures et composants (notamment du bâtiment réacteur) par rapport à une PGA de 0,2 g. Elle précise que les

matériels du noyau dur („hardened safety core“) doivent être dimensionnés pour une PGA d'au moins 0,3 g.

### 3.4. Prescriptions et modifications

L'autorité de sûreté a décidé de réexaminer les méthodes actuelles utilisées pour la détermination des effets d'un séisme sur les installations nucléaires (ASN 2012a).

Conformément à (ASN 2014b), les centrales nucléaires françaises doivent présenter dans le cadre de leur prochain réexamen de la sûreté présenter également une évaluation de leur robustesse vis-à-vis des séismes au-dessus du SMS. A cette fin, l'exploitant a présenté des schémas directeurs pour la détermination de la robustesse asismique dans le cadre du réexamen périodique de la sûreté qui sont en cours d'instruction par l'autorité de sûreté. Par ailleurs, l'exploitant est tenu de présenter un plan d'action pour la détermination plus précise des marges qui existent vis-à-vis des séismes et de faire des propositions pour l'augmentation de ces marges. Selon (ASN 2014b), l'exploitant a commencé à faire des propositions et les aspects encore à traiter seront présentés avant la mi-2015. La réalisation dans les tranches devra intervenir dans le cadre de la mise en place du noyau dur („hardened safety core“).

L'autorité de sûreté a constaté dans (ASN 2012a) que les stress tests européens ont mis en évidence la capacité des tranches françaises à éviter l'occurrence d'effets de falaise («cliff edge») même en cas de dépassement limité des actuelles limites de dimensionnement. Elle note cependant qu'il faut améliorer la protection des équipements de sécurité contre les incendies d'origine sismique dans la mesure où d'importants matériels de protection contre l'incendie ne sont pas protégés vis-à-vis des effets d'un SMS. L'exploitant doit vérifier la tenue au SMS des dispositifs de protection contre l'incendie qui sont importants pour la sûreté et procéder, le cas échéant, à des mises à niveau pour que la disponibilité de ces matériels de protection contre l'incendie soit assurée même dans le cas du SMS (ASN 2012b, [ECS-12]). Selon (ASN 2014b), l'exploitant a présenté les études y afférentes. Les actions correspondantes seront réalisées lors du prochain réexamen périodique de la sûreté des réacteurs concernés.

Conformément à (ASN 2014b), les dispositifs installés dans les réacteurs actuels pour limiter les accidents graves ne sont pas dimensionnés vis-à-vis des agressions externes. Alors que les recombineurs à autocatalyse passifs (PAR) installés pour la réduction de concentration en hydrogène issu d'un accident de dimensionnement sont dimensionnés pour résister au séisme, cela n'est pas le cas des recombineurs PAR destinés à réduire la concentration d'hydrogène après un accident hors dimensionnement pas plus que pour les systèmes de filtration destinés à la décompression de l'enceinte. L'autorité de sûreté examine actuellement les propositions faites par l'exploitant en rapport avec le noyau dur („hardened safety core“) pour les PAR. Elle note aussi (ASN 2014b, S. 47) que l'exploitant travaille actuellement à la mise à niveau des filtres à sable dans les réacteurs actuels (mesure ultime 5) qui est exigée par (ASN 2012b, [ECS-29]).



De plus, il est demandé à l'exploitant d'analyser les avantages et les désavantages d'un arrêt d'urgence automatique du réacteur dans le cas d'un séisme correspondant à la moitié de l'intensité du SDD (ASN 2012b, [ECS-13]). Conformément à (ASN 2014b), un tel arrêt d'urgence sera mis en place dans le cadre des actions de la phase 1 (cf. chap. 2.4.2).

S'agissant des effets induits par un séisme, (ASN 2014, [ECS-ND7]) impose pour le noyau dur („hardened safety core“) la prise en compte d'un spectre d'accélération enveloppe qui

- dépasse le SMS de 50% et
- dépasse le spectre défini de façon probabiliste et spécifique à la centrale nucléaire avec une périodicité de 20.000 ans (correspondant à une probabilité de dépassement de  $5 \times 10^{-5}$  par an) et
- prend en compte les conditions spécifiques du sous-sol du site.

### 3.5. Position

Le rapport de l'exploitant (EDF 2013) comme celui de l'autorité de sûreté ASN (ASN 2014a) ne révèlent aucune information faisant apparaître que par rapport à la présentation de l'état des lieux de la centrale de Fessenheim dans (Öko-Institut; PhB 2012), d'autres aspects importants devraient être pris en compte.

S'agissant des différences de conception (degré de redondance) des matériels qui sont nécessaires à la maîtrise des effets d'un séisme, il est renvoyé ici au chap. 2.

Aussi bien l'exploitant que l'autorité de sûreté déclarent qu'il n'existe pas d'analyse probabiliste du risque sismique du site de Fessenheim. En revanche, tous les sites allemands ont fait l'objet d'analyses probabilistes des agressions sismiques possibles, avec prise en compte pour la définition du séisme de dimensionnement.

En France, il est devenu obligatoire d'effectuer des analyses probabilistes du risque sismique dans le cadre des futurs réexamens périodiques de la sûreté. Quant à la centrale nucléaire de Fessenheim, on ne sait pas s'il est prévu d'avancer ces analyses. Dans ce contexte, les résultats pourraient être escomptés au plus tôt à partir de 2020 environ, avec les mises à niveau qui résulteraient éventuellement.

Déjà dans (Öko-Institut; PhB 2012, Kap. 5.1.3.1) il fut procédé à une estimation de l'ordre de grandeur de la probabilité de dépassement du séisme majoré de sécurité SMS de la centrale nucléaire de Fessenheim. Pour l'évaluation probabiliste du risque sismique du site de Fessenheim, l'exploitant lui-même a renvoyé à l'analyse probabiliste du risque sismique effectuée pour le site de St. Alban, même si les résultats ne sont pas directement transposables au site de Fessenheim. Il cite de cette analyse une probabilité de  $10^{-6}$  par an pour une dégradation du cœur suite à un séisme. Mais comme déjà exposé dans (Öko-Institut; PhB 2012), selon (ENSREG 2012) la probabilité de dépassement du séisme de dimensionnement retenu pour le site de St. Alban dans le cadre même de cette analyse probabiliste du risque sismique est de  $10^{-4}$  par an. Etant donné que la détermination du

risque sismique pour la centrale nucléaire de St. Alban a été effectuée sur la base de la même approche déterministe que pour le site de Fessenheim, on peut tabler dans le cas de la centrale nucléaire de Fessenheim sur une probabilité de dépassement du même ordre de grandeur. D'ailleurs, si l'on prend la comparaison effectuée déjà dans (Öko-Institut; PhB 2012) entre les valeurs d'accélération définies pour la centrale de St. Alban et celle de la centrale nucléaire de Fessenheim, on obtient des facteurs de sûreté similaires pour les deux centrales nucléaires.

L'exploitant compare les valeurs d'accélération retenues pour la centrale nucléaire de Fessenheim également avec celles de la centrale nucléaire de Philippsburg. Nous n'avons pas vérifié les valeurs d'accélération avancées à ce propos par l'exploitant. L'exploitant note cependant que pour le site de Philippsburg la PGA du séisme historique maximal (0,08 g) est comparable à celle du séisme historique SMHV (0,09 g) de la centrale nucléaire de Fessenheim, la probabilité de dépassement étant de l'ordre de  $10^{-3}$  par an. Qui plus est, la centrale nucléaire de Fessenheim étant dimensionnée pour partie vis-à-vis de ce que l'on appelle le spectre d'EDF avec une PGA de 0,2 g et la centrale de Philippsburg pour une PGA de 0,2 g, il n'y aurait pas de différences pertinentes entre les deux centrales.

Mais le séisme majoré de sécurité SMS défini pour la centrale nucléaire de Fessenheim présente une PGA de seulement 0,13 g et différents systèmes, structures et composants (SSK) comme p.ex. les bâtiments des diesels de secours ou les ouvrages de prise d'eau n'ont pas été dimensionnés en fonction du spectre d'EDF. La comparaison avec le dimensionnement de base de la centrale de Philippsburg, pour laquelle l'exploitant indique une PGA de 0,2 g (on peut l'associer avec une probabilité de dépassement de  $10^{-5}$  par), doit être effectuée avec le dimensionnement de base de la centrale nucléaire de Fessenheim vis-à-vis du SMS avec une PGA de 0,13 g dans la mesure où l'on suppose que le séisme historique maximal est de même intensité. Pour les parties de la centrale conformes au spectre d'EDF il existe des marges supplémentaires qui sont cependant évaluées séparément dans le cadre d'une évaluation des réserves dont bénéficie la centrale.

Enfin, s'agissant de la probabilité de dépassement de l'intensité du SMHV et du SMS de la centrale nucléaire de Fessenheim, l'exploitant renvoie à ses indications qu'il aurait adressées à l'autorité de sûreté. Nous ne disposons pas de cette lettre. Les indications de l'exploitant ne permettent pas non plus de savoir sur quelle base cette probabilité de dépassement a été déterminée, car, jusqu'à maintenant, aucune analyse probabiliste du risque sismique n'a été effectuée pour le site de Fessenheim. Dans ce contexte de déduction des exigences déterministes du SMHV et du SMS, il n'est pas possible de comprendre entièrement les ordres de grandeur fournis par l'exploitant. D'ailleurs, ils ne sont pas non plus confirmés tels quels par l'autorité de sûreté.

Par ailleurs, l'exploitant fait remarquer que selon (KTA 2201.1 2011) il faut attester la probabilité de dépassement de  $10^{-5}$  par an pour l'intensité alors que les exigences au plan international se réfèrent à l'accélération maximale du sol (PGA). Selon (KTA 2201.1 2011,

3.1(3)), la détermination probabiliste des caractéristiques du séisme de dimensionnement doit être effectuée pour une probabilité de dépassement de  $10^{-5}$  par an. Pour le séisme de dimensionnement, il faut indiquer l'intensité et, en fonction des conditions sismotectoniques, également les données déterminantes concernant la magnitude, la distance et la profondeur du foyer pour connaître les caractéristiques sismologiques. Les caractéristiques sismologiques comprennent notamment les spectres de réponse du sol avec les accélérations correspondantes des corps rigides (accélérations maximales du sol, PGA) et la durée du mouvement fort. Les intensités et les accélérations maximales du sol ne sont d'ailleurs pas à considérer comme des grandeurs indépendantes. Pour cette raison, du point de vue méthodologique, il n'est pas possible de déduire une différence significative entre la probabilité de dépassement des intensités définies pour le séisme de dimensionnement et celle des accélérations du sol y afférentes que les explications de l'exploitant ci-dessus semblent sous-tendre. Aussi, dans le contexte de la comparaison ci-dessus concernant les valeurs d'accélération des centrales de Fessenheim et de Philippsburg, les indications de l'exploitant concernant la probabilité de dépassement des intensités du SMS ne sont pas vérifiables.

Sur cette toile de fond, nous maintenons notre évaluation à env.  $10^{-4}$  par an pour la probabilité de dépassement du séisme majoré de sécurité SMS de la centrale nucléaire de Fessenheim, ce qui lui confère donc un niveau de sûreté inférieur à celui des centrales nucléaires allemandes.

L'exploitant fait valoir les approches conservatives pour le dimensionnement des systèmes, structures et composants, qui se traduisent par des marges de sécurité d'un facteur de 1,5 à 4. Dans (Öko-Institut; PhB 2012), il fut constaté déjà que l'autorité de sûreté approuvait dans son principe l'approche de l'exploitant pour dégager des marges de sécurité, mais elle notait en même temps que les réserves indiquées jusqu'alors n'étaient pas suffisamment corroborées. Ainsi, EDF se sert notamment de réserves qui avaient été mises en œuvre dans le cadre du dimensionnement pour couvrir de façon conservative les incertitudes. Aussi, l'autorité a demandé à l'exploitant de compléter son analyse des réserves de sécurité. D'ailleurs, pour la bêche du système d'eau alimentaire de secours et pour le réservoir de noyage, les réserves indiquées sont faibles, elles pourraient, le cas échéant, être même inférieures au facteur de 1,5. De plus, l'autorité de sûreté a pointé la nécessité de l'amélioration de la protection des matériels importants pour la sûreté vis-à-vis des incendies induits par un séisme.

Jusqu'à maintenant on ne dispose pas de nouveaux éléments concernant les réserves de la centrale nucléaire de Fessenheim. La détermination des réserves qui existent vis-à-vis des séismes est exigée pour les tranches françaises seulement dans le cadre du prochain réexamen périodique de la sûreté. La mise à niveau des dispositifs de protection contre l'incendie est également prévue seulement pour la prochaine visite décennale. Les nouveaux éléments concernant la robustesse réelle des systèmes, structures et composants de la centrale nucléaire de Fessenheim sont donc attendus seulement vers 2020, il en est de même en ce qui concerne les mises à niveau éventuellement nécessaires.

En revanche, il a été demandé aux exploitants des centrales nucléaires allemandes de vérifier leurs réserves de sécurité (BMUB 2014, N-13):

*„Pour s’assurer des fonctions de sécurité vitales en cas d’événements hors dimensionnement d’origine interne ou externe il faut effectuer une analyse systématique.*

*A cette fin, il faut évaluer les réserves de dimensionnement des dispositifs de sécurité et de sauvegarde pour savoir si et quand la fonction de sécurité requise risque de ne plus être disponible dans les conditions sévères d’un événement hors dimensionnement d’origine interne ou externe. A cet effet, il faut se référer aux critères RSK pour les examens de sûreté au moins pour le niveau de robustesse 1 [...].*

*Sur cette base, il faut montrer s’il est possible de renforcer la robustesse moyennant des actions appropriées pour augmenter le niveau de sûreté des équipements de sécurité ou de sauvegarde ou s’il est possible d’y arriver à l’aide de dispositifs de secours existants ou supplémentaires. “*

L’administration de la preuve d’une robustesse de niveau 1 correspondrait à l’augmentation d’une unité de l’intensité du séisme. Les propriétés du site restant égales par ailleurs, cela équivaut à peu près à un facteur 2 pour les accélérations absorbables. Conformément à (BMUB 2014), tous les réacteurs allemands à eau sous pression disposant d’une autorisation d’exploitation ont fait l’objet d’études correspondantes, mais les délibérations y afférentes ne sont pas encore terminées.

Compte tenu de ce contexte et en prenant en compte les indications du chap. 2.5, nous estimons que la déclaration de l’exploitant selon laquelle on n’envisagerait aucune mesure supplémentaire pour augmenter la sûreté des centrales en Allemagne, est inexacte.

A la condition d’apporter la preuve du potentiel de robustesse que la RSK a identifié pour les centrales nucléaires allemandes à hauteur d’un degré d’intensité sismique ou d’effectuer les mises à niveau correspondantes, les réserves indiquées pour la centrale nucléaire de Fessenheim continuent à être sensiblement inférieures à celles des tranches nucléaires allemandes.

A l’origine, les dispositifs destinés à la limitation des accidents graves (« mitigation ») n’étaient pas censés être dimensionnés par rapport aux agressions externes, ni en France ni en Allemagne. Conformément à (BMUB 2014, N-21), dans les tranches allemandes

*„les matériels pour la décompression-filtration [...] doivent être sécurisés de manière à ce que même en cas d’occurrence de catastrophes naturelles de dimensionnement et de station blackout, et après ces événements, la décompression puisse être effectuée à plusieurs reprises. De plus, l’efficacité des dispositifs de réduction de la concentration d’hydrogène dans l’enceinte de confinement doivent être protégés de manière correspondante. “*

Ces études ne sont pas encore terminées. Par rapport à la situation de la centrale nucléaire de Fessenheim il n'y a donc pas de différences significatives.

Aussi bien l'exploitant que l'autorité de sûreté annoncent que la mise en place du noyau dur („hardened safety core“) permettra d'augmenter sensiblement la robustesse de la centrale par rapport aux effets sismiques.

Il faut noter à cet égard tout d'abord que selon les plannings du noyau dur („hardened safety core“) ce n'est qu'avec la poursuite de la mise en œuvre de ce noyau dur à partir d'environ 2020 que la robustesse sera sensiblement plus élevée vis-à-vis des agressions externes retenues pour le dimensionnement, cf. chap. 2.5.2.

Il résulte des exigences fondamentales à respecter par le noyau dur („hardened safety core“) selon (ASN 2014, [ECS-ND7]) que, par rapport aux accélérations maximales du sol (PGA) du SMS, il sera possible d'arriver à un facteur de 1,5 ou à une probabilité de dépassement de moins de  $5 \times 10^{-5}$  par an. Pour le site de Fessenheim cela signifierait pour une PGA du SMS de 0,13 g une PGA d'env. 0,2 g qui correspondrait au dimensionnement actuel de quelques parties de la centrale conformément au spectre d'EDF. La probabilité de dépassement requise pour le noyau dur („hardened safety core“) se situerait seulement d'un facteur de 2 (environ) en-dessous de l'actuelle probabilité de dépassement du SMS que nous avons estimée à  $10^{-4}$  par an. Il n'en reste pas moins que Fessenheim se situerait ainsi encore d'un facteur 5 au-dessus de la probabilité de dépassement de moins de  $10^{-5}$  par an qui a été prescrite pour le dimensionnement de base des centrales nucléaires allemandes. Même dans le cas de la mise en place du noyau dur („hardened safety core“) le niveau de sûreté ne serait pas équivalent à celui du dimensionnement de base des centrales nucléaires allemandes.

Indépendamment des exigences fondamentales, aussi bien l'autorité de sûreté que l'exploitant constatent que pour la mise en œuvre du noyau dur („hardened safety core“) il faut retenir une PGA d'au moins 0,3 g. Ainsi, du moins dans le cas du SMS, les accélérations absorbables seraient plus grandes d'un facteur de 2, ce qui correspondrait à peu près à la robustesse visée pour les réacteurs nucléaires allemands.

Dans le cas de l'alimentation électrique de secours de la centrale nucléaire de Fessenheim, force est de constater que l'alimentation électrique de secours supplémentaire et diversifiée sous forme d'une turbine à combustion TAC commune aux deux tranches (redondance simple) n'a pas de qualification sismique et ne peut donc pas être considérée comme réserve en cas d'occurrence d'un séisme majoré de sécurité SMS. Dans le cadre du noyau dur („hardened safety core“) à partir d'environ 2020, il est prévu d'installer un diesel de secours ultime par tranche qui sera qualifié aux impacts plus élevés conformément aux conditions du noyau dur („hardened safety core“). En revanche, dans les centrales nucléaires allemandes l'alimentation électrique de secours actuelle du réseau D2 a d'ores et déjà la qualification sismique et est disponible comme réserve avec un degré de redondance de (n+2) dans le cadre du dimensionnement.

## 4. Inondation

Dans le cadre de notre étude nous procédons ci-après tout d'abord à la reproduction des résultats majeurs de (Öko-Institut; PhB 2012). Elle est suivie d'une synthèse à partir des éléments de la présentation de l'exploitant (EDF 2013) ainsi que de l'autorité de sûreté (ASN 2014a). Il est également exposé, notamment sur la base de (ASN 2014b), quelles sont les prescriptions ou mises à niveau qui ont été décidées depuis et qui sont pertinentes par rapport aux points faibles identifiés ici.

### 4.1. Points faibles identifiés selon (Öko-Institut; PhB 2012)

Le dimensionnement de base des centrales nucléaires allemandes prend en compte la crue de 10.000 ans.

La crue maximale définie de façon déterministe pour la centrale nucléaire de Fessenheim est basée sur la crue millénaire majorée de 15 % sur les débits pris en compte. Ne disposant pas d'évaluations probabilistes pour le site de Fessenheim, on ne sait pas si cette crue de dimensionnement correspond au niveau de la crue de 10.000 ans.

Pour toutes les centrales allemandes pour lesquelles les règles de l'art actuelles exigent un dimensionnement vis-à-vis de la crue de 10.000 ans, la RSK a constaté l'existence de marges significatives. Les réserves mises en évidence pour les tranches allemandes entre la crue de référence et une pénétration possible dans des bâtiments importants pour la sûreté se situent de manière typique entre 0,5 et 1 m, dans certains cas des hauteurs de protection encore nettement plus élevées sont mises en évidence.

Les réserves mises en évidence par l'exploitant pour la centrale de Fessenheim pour les différents aléas inondation qui doivent être analysés dans le cadre du dimensionnement se situent entre 0,06 et 0,41 m. La signification de ces réserves ne peut pas être évaluée sur une base probabiliste car il n'existe pas d'informations sur les probabilités de dépassement qui s'y rapportent. Par rapport aux hauteurs de protection mises en évidence pour les installations allemandes, les réserves mises en évidence pour la centrale de Fessenheim doivent cependant être classées comme plutôt réduites.

En cas de défaillance des conduites du circuit d'eau de refroidissement, une inondation menace des équipements importants pour la sûreté. L'exploitant indique que cet événement peut être maîtrisé par la fermeture de vannes d'isolement. Dans les documents en notre possession, il n'y a pas d'information sur la résistance à un défaut unique des vannes d'isolement et leur dimensionnement notamment contre des agressions sismiques. Dans le cas d'une défaillance de conduites d'eau de refroidissement dans la salle des machines, l'exploitant indique 90 m<sup>3</sup> de réserves. Cela représente moins de 2 % du volume d'eau de 5110 m<sup>3</sup> qui serait libéré dans cet événement en 70 s jusqu'à l'isolement des conduites ; cela se produirait en cas de retard de 2 s de l'isolement des conduites d'eau de refroidissement. Cette réserve de 90 m<sup>3</sup> avant la défaillance possible des

équipements importants pour la sûreté ne doit donc pas être considérée comme significative. L'exploitant n'a pas spécifié quels équipements importants pour la sûreté pourraient être endommagés en cas de relâchement d'eau plus important dans la salle des machines.

L'exploitant a analysé un scénario avec une augmentation de la valeur de débit de 30 % dont la périodicité est évaluée par l'exploitant, sur la base des évaluations d'experts, entre un en 100 000 ans et un en 1 000 000 ans. Dans ce cas, le site de la centrale est inondé et une perte d'équipements centraux, importants pour sûreté (perte complète de l'alimentation en eau de refroidissement, de l'alimentation en énergie externe et de l'ensemble de l'alimentation électrique) est possible. Le niveau d'eau autour de la centrale, établi pour ce scénario, s'élève 207,70 m et est nettement supérieur au niveau d'eau de 206,26 m déterminé pour la crue de dimensionnement et également nettement supérieur au niveau du mur de protection de la centrale allant jusqu'à 206,75. Au vu de ces conclusions, il faut aussi compter avec une inondation du site de la centrale même pour des valeurs de débit nettement plus faibles. Au vu de ces conclusions également, les réserves indiquées par l'exploitant doivent être classées comme réduites.

#### 4.2. Présentation de l'exploitant

Dans (EDF 2013), l'exploitant indique que la crue maximale de la centrale de Fessenheim a été déterminée sur la base de la crue millénale par une majoration déterministe de 15 % sur la valeur de débit calculée et qu'on obtient ainsi une crue avec une probabilité de dépassement de l'ordre de  $10^{-4}$  par an. De plus, l'exploitant se réfère à un rapport émis par l'Institut pour l'eau et le développement des eaux (IWG) de l'Université de Karlsruhe qui indique que pour la crue décennale à hauteur de Gamsheim (aval Kinzig sur le Rhin et aval centrale de Fessenheim), il a été déterminé une valeur de débit de  $6697 \text{ m}^3/\text{s}$  alors que la crue maximale de la centrale de Fessenheim est fixée avec une valeur de débit de  $9090 \text{ m}^3/\text{s}$ . Il y aurait ainsi une marge de l'ordre de 30 % par rapport au dimensionnement.

Par rapport aux réserves indiquées, l'exploitant compare dans (EDF 2013) les réserves mises en évidence pour les installations allemandes, typiquement 0,5 à 1 m, avec les réserves mises en évidence globalement pour les installations françaises, actuellement minimum 0,2 m. Il note également que le « noyau dur » prévu est calé sur un accroissement de 30 % du débit, qui donne typiquement une réserve de 1 m par rapport au niveau de crue postulé jusqu'à maintenant (1,44 m pour le site de Fessenheim).

L'exploitant en conclut globalement que la conception actuelle de la centrale de Fessenheim conduit à une protection de la tranche contre l'inondation de l'ordre de  $10^{-4}$  et que la mise en œuvre du « noyau dur » conduira à une protection contre les aléas au-delà de  $10^{-5}$ .

#### 4.3. Présentation de l'autorité de sûreté

Concernant le dimensionnement de la centrale, (ASN 2014a) indique que pour la protection des centrales françaises contre une inondation externe, un large spectre d'aléas

doit être analysé, voir aussi sur ce point la présentation dans (Öko-Institut; PhB 2012, Kap. 5.2). Concernant la crue maximale à prendre en compte, il faut déterminer la crue millénale avec une majoration déterministe de débit de 15 %. L'ASN compare la valeur de débit ainsi déterminée de 9090 m<sup>3</sup>/s avec la valeur de débit de 6697 m<sup>3</sup>/s déterminée par l'IWG et la dernière crue connue la plus importante de 1876 avec un débit de 5700 m<sup>3</sup>/s.

L'ASN constate également qu'il y a déjà eu une augmentation de la protection contre des inondations externes suite à l'inondation de Blayais en 1999. D'autres modifications incluraient par ex. le rehaussement de digues et une protection améliorée contre l'inondation externe (par ex. par des plaques de barrage temporaires). Il est également prévu un dimensionnement du « noyau dur » au-delà du référentiel inondation existant.

#### 4.4. Prescriptions et modifications

Au vu des conclusions du troisième réexamen de sûreté périodique, pour la centrale de Fessenheim, dans (ASN 2011a, [EDF-FSH-6]; ASN 2013a, [EDF-FSH-43]), l'ASN prescrit

- que la tranche résiste aux inondations externes basées sur
  - une crue millénale du Rhin avec une majoration de sécurité de 15 % sur le débit correspondant, ou
  - l'effacement de digues lors d'une crue millénale,
- que l'exploitant actualise son évaluation de risques par rapport au risque de crue du Grand Canal d'Alsace, due à une dégradation d'ouvrage en interface avec le GCA suite à un séisme majeur.

Dans (ASN 2012b, [ECS-5]), l'ASN a prescrit que l'exploitant mette en œuvre les modifications nécessaires concernant les mesures et équipements de protection contre l'inondation externe. Selon (ASN 2014b), ces modifications ont été mises en œuvre dans les délais.

Pour la tranche 2 de la centrale de Fessenheim, l'autorité de sûreté ASN prescrit toujours dans (ASN 2013a, [FSH2-19]) que pour les bâtiments jouxtant le bâtiment réacteur, la pénétration d'eau sur le site de la tranche en cas de défaillance de structures non dimensionnées contre le SMS soit exclue.

Dans (ASN 2014b), l'ASN prescrit que pour la centrale de Fessenheim, l'inondation de bâtiments importants pour la sûreté en cas de défaillance de conduites du circuit de refroidissement CRF soit prise en compte. Celle-ci doit être évitée par l'isolement de ces conduites par des vannes. L'exploitant a présenté sur ce point des études pour améliorer la robustesse de ces vannes d'isolement. L'ASN élaborera au premier semestre 2015 une position sur les modifications devenant de ce fait nécessaires.

L'ASN a également décidé de revoir les méthodes actuelles d'évaluation des conséquences d'inondations externes sur les centrales nucléaires. Pour les recommandations qui devront être prises en compte à l'avenir en regard d'une inondation externe, l'autorité de sûreté ASN a publié un guide (ASN 2013) – qui n'a cependant pas un



caractère obligatoire. Dans (ASN 2014b), l'ASN indique que ce guide s'appuie sur des méthodes déterministes prenant en compte onze origines d'inondation différentes, en tenant compte d'un objectif probabiliste de dépassement de  $10^{-4}$  par an.

Selon (ASN 2012b, [ECS-6]), l'exploitant doit améliorer la protection de la tranche contre les inondations externes d'ici le 31/12/2016 de sorte qu'une perte totale de l'alimentation électrique ou de l'alimentation en eau de refroidissement ne soit pas à craindre même en cas d'événements au-delà du dimensionnement actuel. Des pluies de forte intensité et des événements avec une défaillance de structures sur le site de la tranche, induite par un séisme, doivent notamment être pris en compte. D'après (ASN 2014b), les possibilités d'amélioration identifiées à cet effet sur le site de Fessenheim doivent être mises en œuvre avant le 31/12/2016.

#### 4.5. Position

Le rapport de l'exploitant (EDF 2013) comme celui de l'autorité de sûreté ASN (ASN 2014a) ne révèlent aucune information faisant apparaître que par rapport à la présentation de l'état des lieux de la centrale de Fessenheim dans (Öko-Institut; PhB 2012), d'autres aspects importants devraient être pris en compte.

En ce qui concerne les différences dans le concept de dimensionnement (degré de redondance) des équipements qui sont nécessaires pour maîtriser les conséquences d'une inondation externe, nous renvoyons ici au chapitre 2.

L'exploitant et l'ASN se réfèrent à une expertise de l'IWG dans laquelle ont été calculées des évaluations probabilistes pour les débits de crue à postuler pour le site de Fessenheim. Nous ne sommes pas en possession de cette expertise de sorte qu'une comparaison des méthodes appliquées dans cette expertise avec les procédures exigées par la réglementation allemande, cf. (KTA 2207 1993), n'est pas possible. Compte tenu des réserves élevées indiquées entre la valeur de débit produite dans l'expertise de l'IWG pour une crue décennale et la valeur de débit sur laquelle se fonde le dimensionnement de la tranche, on peut cependant supposer que le dimensionnement actuel de la tranche correspond au moins au niveau d'une crue décennale. Ceci est également étayé par ce qui est dit par l'autorité de sûreté ASN concernant l'objectif probabiliste de dépassement de  $10^{-4}$  par an retenu dans le cadre de l'établissement du nouveau guide (ASN 2013). Avec les prescriptions résultant des conclusions du troisième réexamen périodique de sûreté, la crue millénaire du Rhin avec une majoration de sécurité de 15 % sur le débit correspondant est également fixée comme la crue s'appliquant à la centrale de Fessenheim en conformité avec les prescriptions du guide.

En ce qui concerne les réserves disponibles, l'exploitant précise que dans les différents phénomènes d'inondation qui doivent être analysés dans le cadre du dimensionnement pour les centrales françaises, les réserves attestées seraient actuellement au moins de 0,2 m. La valeur minimum est certes ainsi supérieure d'un facteur 2 par rapport aux valeurs indiquées pour la centrale de Fessenheim dans le cadre du stress test européen

minimum 0,06, mais elle est néanmoins toujours significativement inférieure aux hauteurs de protection mises en évidence pour les centrales allemandes, entre 0,5 et 1 m.

En cas de défaillance de conduites du circuit de refroidissement, il y a également un risque d'inondation d'équipements importants pour la sûreté. Les réserves mises en évidence dans le cadre du stress test européen sont également faibles (Öko-Institut; PhB 2012). Selon ce qui est dit par l'ASN, l'exploitant procède déjà à des études avec pour objectif d'augmenter la robustesse des vannes d'isolement nécessaires dans ce scénario. Nous ne savons pas quelles mesures en ont été déduites, il n'y a pas encore eu de mise en œuvre dans la centrale de Fessenheim jusqu'à présent.

D'après ce qui est dit par l'ASN, d'autres modifications doivent être mises en œuvre avant le 31/12/2016, notamment par rapport aux phénomènes de pluies à forte intensité et aux événements avec une défaillance de structures, induite par un séisme, sur le site de la tranche. Nous ne connaissons pas l'avancement actuel des mesures nécessaires à cet effet.

L'exploitant observe par ailleurs que pour les équipements du « noyau dur », il faut se fonder sur une crue avec une valeur de débit majoré de 30 %. La réserve ainsi atteignable par rapport au niveau de crue serait dans ce cas nettement de l'ordre des hauteurs de protection mises en évidence pour les centrales allemandes. Les rapports de l'ASN et les dispositions relatives au « noyau dur » dans (ASN 2014) ne donnent pas de dispositions définitives sur ce point. D'après le calendrier prévu pour la réalisation du « noyau dur », il faut compter que les équipements supplémentaires du « noyau dur » seront implémentés seulement à partir de 2020, cf. chap. 2.5.2.

## 5. Piscine des assemblages combustibles

Dans le cadre de notre étude nous procédons ci-après tout d'abord à la reproduction des résultats majeurs de (Öko-Institut; PhB 2012). Elle est suivie d'une synthèse à partir des éléments de la présentation de l'exploitant (EDF 2013) ainsi que de l'autorité de sûreté (ASN 2014a). Il est également exposé, notamment sur la base de (ASN 2014b), quelles sont les prescriptions ou mises à niveau qui ont été décidées depuis et qui sont pertinentes par rapport aux points faibles identifiés ici.

### 5.1. Points faibles identifiés selon (Öko-Institut; PhB 2012)

Concernant le maintien du refroidissement du combustible présent dans les piscines d'entreposage, les mesures visant à garantir l'intégrité des piscines, notamment en cas d'agressions externes, et la préservation de l'inventaire en eau dans la piscine (éviter les pertes d'eau dues à des brèches de tubes attenants) sont prioritaires. Ce n'est que lorsque les déficiences identifiées par l'autorité de sûreté ASN concernant l'intégrité de la piscine d'entreposage du combustible (tubes attenants, tubes de transfert) seront levées qu'il sera possible de supposer une robustesse suffisante de la piscine des assemblages combustibles.

Les documents produits dans le cadre du stress test européen ne disent pas si, pour les piscines d'entreposage, il y a des preuves de l'intégrité des piscines dans des conditions d'ébullition. Une perte du refroidissement des piscines d'entreposage, induisant des conditions d'ébullition durables dans les piscines, n'étant pas postulée jusqu'à présent dans le cadre du dimensionnement, il convient de supposer que de telles preuves n'ont pas dû être apportées jusqu'à maintenant. Pour garantir la robustesse des piscines d'entreposage y compris en cas de perte durable du refroidissement des piscines, il faudrait néanmoins demander que de telles preuves soient apportées.

A la centrale de Fessenheim, les piscines d'entreposage sont disposées dans un bâtiment séparé ; dans les réacteurs à eau sous pression allemands encore en exploitation en puissance, ils se situent par contre à l'intérieur du confinement dans le bâtiment réacteur. Cette configuration garantit une protection supplémentaire contre des agressions mécaniques externes et une meilleure rétention des produits de fission en cas d'endommagement du combustible. Dans ce contexte, nous classons toujours l'implantation des piscines d'entreposage du combustible à l'intérieur du confinement comme un avantage de sûreté des centrales allemandes.

### 5.2. Présentation de l'exploitant

L'exploitant note dans (EDF 2013) qu'une vidange massive de la piscine est exclue par conception et qu'un système d'appoint garantit le maintien du combustible sous eau en toutes circonstances. Pendant la manutention des assemblages, l'absence de découverture est aussi assurée par la limitation des fuites possibles (volume, débit découlement).

De plus, la tenue structurelle et la possibilité de redémarrage du circuit de refroidissement sur une piscine dans les conditions d'ébullition (température de 100°C) auraient été vérifiées en 2005.

Comme mesure complémentaire pour renforcer la robustesse, dans le cadre du « noyau dur » il est prévu l'ajout d'un appoint ultime piscine. Une instrumentation complémentaire serait également mise en place pour la surveillance de niveau et de température de la piscine.

L'exploitant conclut que le type de conception des piscines d'entreposage du combustible en France est très répandu dans le monde et que le « noyau dur » améliore encore la robustesse.

### 5.3. Présentation de l'autorité de sûreté

L'ASN confirme que la tenue structurelle et la possibilité de mise en service du circuit de refroidissement sur une piscine à ébullition (température de 100°C) ont été vérifiées en 2005 (ASN 2014a).

Dans le cadre du « noyau dur » il est prévu l'ajout d'un appoint ultime « piscine » alimenté par le pompage en nappe phréatique. Une instrumentation complémentaire est également prescrite pour la surveillance du niveau et de la température de la piscine.

### 5.4. Prescriptions et modifications

Pour les deux tranches de Fessenheim, l'ASN prescrit dans (ASN 2011a, [FSH1-27]; ASN 2012c; ASN 2013a, [FSH2-20]),

- que les circuits de refroidissement des piscines soient suffisamment dimensionnés pour évacuer durablement la puissance résiduelle du combustible en désactivation dans la piscine, que le fonctionnement soit maintenu même sur une piscine à ébullition et que le redémarrage soit possible.

Au vu des conclusions du troisième réexamen de sûreté périodique, l'ASN prescrit dans (ASN 2011a, [FSH1-19]) pour la 1<sup>ère</sup> tranche de la centrale de Fessenheim notamment

- qu'avant le 31/12/2012 soient implémentées des dispositions permettant d'éviter une vidange complète et rapide par siphonage ainsi que l'automatisation de l'isolement des lignes d'aspiration du circuit de refroidissement.

Selon (ASN 2012b, [ECS-22]) également, l'exploitant doit réaliser les dispositions permettant d'éviter une vidange par siphonage de la piscine due à des brèches sur des tuyauteries raccordées avant fin mars 2014 et réaliser l'automatisation de l'isolement des lignes d'aspiration du circuit de refroidissement avant décembre 2016. Selon (ASN 2014b), les mesures visant à éviter une vidange par siphonage ont été mises en œuvre dans les délais, l'échéance de mise en œuvre de l'automatisation de l'isolement des lignes d'aspiration du circuit de refroidissement pour les paliers 900 MWe est fixée au 31/12/2016.

Au vu des conclusions du troisième réexamen de sûreté périodique, l'autorité de sûreté ASN prescrit dans (ASN 2011a, [FSH1-19]) pour la 1<sup>ère</sup> tranche de la centrale de Fessenheim

- qu'avant le 31/12/2014, en cas de vidange partielle de la piscine induisant une perte des circuits de refroidissement, un système de sécurité pour l'appoint de la piscine soit mis en place, qui soit en mesure
  - de restaurer l'inventaire en eau dans la piscine en cas de crise d'ébullition et
  - de relever le niveau en piscine afin de permettre le redémarrage des circuits de refroidissement piscine.

(ASN 2012b, [ECS-20]) prescrit la mise en place d'une instrumentation de mesure de température et de niveau de la piscine d'entreposage et de l'environnement radiologique dans le bâtiment combustible. De plus, l'exploitant doit fournir à l'organisation nationale de crise des tableaux avec les temps de latence-réaction avant l'atteinte de l'ébullition en cas de perte totale du refroidissement. Pour la mesure de niveau d'eau de la piscine de désactivation, il doit être garanti au plus tard le 31/12/2013 que celle-ci sera disponible même en cas de perte totale des alimentations électriques. L'ASN confirme dans (ASN 2014b) que l'exploitant a remis avant le 30/06/2012 des propositions visant à améliorer l'instrumentation de la piscine d'entreposage et les informations nécessaires pour l'organisation nationale de crise. L'ASN confirme également que la mesure de niveau d'eau de la piscine a été raccordée à une alimentation électrique complémentaire.

L'exploitant doit présenter avant le 31/12/2012 une étude des conséquences possibles d'un accident de chute d'emballage de transport de combustible usé et avant le 31/12/2013 une étude des dispositions complémentaires envisageables pour prévenir ou limiter les conséquences de cette chute (ASN 2012b, [ECS-21]). Selon (ASN 2014b), les résultats de ces études ont été remis par l'exploitant dans les délais, l'autorité de sûreté ASN veut prendre position sur ces études au premier semestre 2015.

Selon (ASN 2012b, [ECS-23, -25]), l'exploitant doit remettre une étude des dispositions envisageables en cas de perte totale des alimentations électriques et de vidange accidentelle pour mettre en position sûre un assemblage de combustible en cours de manutention dans le bâtiment combustible et pour prévenir le dénoyage des assemblages en cours de manutention, résultant d'une brèche du tube de transfert. Selon (ASN 2014b), l'exploitant a remis ces études, lesquelles seront vérifiées par l'autorité de sûreté ASN au premier semestre 2015. De premières mesures organisationnelles pour garantir la position de consigne des vannes d'isolement pour prévenir des vidanges en cas de brèche sur le tube de transfert ont été mises en place dès la mi-2013.

Enfin, l'exploitant doit remettre à l'autorité de sûreté ASN une étude de l'évolution temporelle du niveau d'eau et des températures dans la piscine de désactivation du combustible, de l'ambiance radiologique dans le hall du bâtiment combustible et des concentrations d'hydrogène par radiolyse potentiellement atteintes en situation de perte de la ventilation du hall du bâtiment combustible (ASN 2012b, [ECS-24]). Selon (ASN 2014b),

l'exploitant a remis ces études et, comme mesure, renvoie à la restauration de l'inventaire en eau dans les piscines par un appoint en eau faisant partie du « noyau dur ».

Selon (ASN 2014, [ECS-ND14]), l'exploitant doit remettre avant le 31/12/2015 une étude de la tenue structurelle de la piscine d'entreposage et des matériels et éléments de génie civil utilisés pour la manutention des assemblages combustibles dans les conditions du « noyau dur » et proposer éventuellement les modifications nécessaires.

## 5.5. Position

Concernant le maintien de l'inventaire en eau dans la piscine, l'autorité de sûreté ASN a confirmé la mise en œuvre des mesures permettant d'éviter une vidange par siphonage. L'automatisation de l'isolement des lignes d'aspiration du circuit de refroidissement doit être installée avant le 31/12/2016. L'étude des conséquences possibles d'un accident de chute d'emballage de transport de combustible, l'étude des dispositions envisageables en cas de perte totale des alimentations électriques et de vidange accidentelle pour mettre en position sûre un assemblage de combustible en cours de manutention et l'étude des dispositions envisageables pour prévenir le dénoyage des assemblages et une vidange de la piscine due à une brèche du tube de transfert, ont été présentées par l'exploitant. Les mesures n'ont cependant pas encore été définitivement mises en œuvre. Les points qui ressortaient déjà comme étant en suspens dans le cadre du stress test européen doivent donc toujours être classés en suspens.

Selon les prescriptions au vu des conclusions du troisième réexamen de sûreté périodique, le circuit de refroidissement sur une piscine à ébullition doit rester en fonctionnement et pouvoir être redémarré ; l'autorité de sûreté ASN confirme que des vérifications ont été présentées sur ce point par l'exploitant dès 2005. Selon (BMUB 2014, N-22), des études ont également été réalisées par les exploitants des centrales allemandes quant à savoir si dans le cadre du concept du plan d'urgence, il peut intervenir un refroidissement par évaporation de la piscine d'entreposage (vérifications pour les piscines d'entreposage du combustible, piscine du réacteur, piscine de dépôt, compensateur inondation à température d'ébullition). Le contrôle par les autorités de la mise en œuvre de ces prescriptions n'est pas encore terminé pour toutes les tranches.

Concernant les modifications déjà effectuées à la centrale de Fessenheim, nous renvoyons au chap. 2.5.2.

Concernant l'instrumentation complémentaire de la piscine d'entreposage, l'autorité de sûreté ASN a confirmé que la mesure de niveau d'eau existante de la piscine de désactivation a maintenant été raccordée à une alimentation électrique supplémentaire. Des alimentations électriques complémentaires ayant également été mises en place dans les centrales allemandes, cf. chap. 2.5.2, il existe aussi une alimentation complémentaire des systèmes de contrôle-commande pour les centrales allemandes. La mise en place d'équipements de contrôle-commande complémentaires en liaison avec le « noyau dur » n'est prévue que dans le cadre de la phase 3 (cf. chap. 2.4.2) et n'interviendra donc qu'après 2019.

Dans le cadre des modifications du « noyau dur », un appoint en eau diversifié et disponible durablement doit être mis en place pour les équipements du « noyau dur » et un circuit stationnaire pour l'appoint de la piscine d'entreposage doit être créé. Dans le cadre de la phase 2, le délai pour la mise en place de l'appoint diversifié va jusqu'à fin 2020. L'installation d'un circuit fixe pour l'appoint piscine n'est prévue que dans le cadre de la phase 3 (cf. chap. 2.4.2) et n'interviendra donc qu'à partir de 2019. A l'heure actuelle, ces mesures ne sont donc pas significatives pour l'état de sûreté de la centrale de Fessenheim.

Les études sur la tenue structurelle de la piscine d'entreposage et des matériels et éléments de génie civil utilisés pour la manutention des assemblages combustibles dans les conditions du « noyau dur » ne sont pas encore disponibles. Il n'est donc pas encore possible d'évaluer si la mise en place d'un appoint piscine supplémentaire relèvera réellement la robustesse du refroidissement piscine au niveau des agressions qui doivent être postulées pour le « noyau dur ».

A la centrale de Fessenheim, les piscines d'entreposage sont disposées dans un bâtiment séparé ; dans les réacteurs à eau sous pression allemands encore en exploitation, ils se situent par contre à l'intérieur du confinement dans le bâtiment réacteur. Cette configuration garantit une protection supplémentaire contre des agressions mécaniques externes et une meilleure rétention des produits de fission en cas d'endommagement du combustible. La situation sur ce point n'a pas changé. Dans ce contexte, nous classons toujours l'implantation des piscines d'entreposage du combustible à l'intérieur du confinement comme un avantage de sûreté des centrales allemandes.

## 6. Moyens d'alimentation électrique

Dans le cadre de notre étude nous procédons ci-après tout d'abord à la reproduction des résultats majeurs de (Öko-Institut; PhB 2012). Elle est suivie d'une synthèse à partir des éléments de la présentation de l'exploitant (EDF 2013) ainsi que de l'autorité de sûreté (ASN 2014a). Il est également exposé, notamment sur la base de (ASN 2014b), quelles sont les prescriptions ou mises à niveau qui ont été décidées depuis et qui sont pertinentes par rapport aux points faibles identifiés ici.

### 6.1. Points faibles identifiés selon (Öko-Institut; PhB 2012)

Concernant les différences des concepts de dimensionnement (degré de redondance), nous renvoyons au chap. 2.

Les centrales allemandes disposent au moins de capacités de batterie pour surmonter une perte totale de l'alimentation électrique de deux heures. Pour la centrale de Fessenheim, l'exploitant indique que l'autonomie vérifiée des batteries est d'une heure. Ces capacités sont inférieures aux capacités d'au moins deux heures vérifiées pour les centrales allemandes.

Le dimensionnement de base de la centrale de Fessenheim ne correspond donc pas à l'état de sûreté des centrales nucléaires allemandes.

Pour les réserves existantes dans les centrales allemandes, la RSK a constaté que dans toutes les centrales encore en exploitation, il y a un moyen d'alimentation électrique de secours supplémentaire, redondant et diversifié, pour les équipements de sécurité. Ce moyen d'alimentation électrique de secours est résistant au moins à un défaut unique (n+1) et est dimensionné contre des agressions externes rares telles que la chute d'avion.

Dans la centrale de Fessenheim il est installé une turbine à combustion TAC supplémentaire. Le site de Fessenheim dispose bien ainsi d'un moyen d'alimentation électrique de secours diversifié par rapport à l'alimentation de secours normale. Celui-ci est cependant conçu à un train de sauvegarde pour les deux tranches et n'est donc pas résistant à un défaut unique. La turbine à combustion TAC supplémentaire n'est pas qualifiée au séisme ni dimensionnée contre des agressions externes rares telles que la chute d'avion.

D'après les indications de l'exploitant dans le cadre du stress test européen, les réserves en carburant diesel sont centralisées dans un dépôt diesel situé sur le site. Nous ne disposons cependant pas d'informations détaillées sur le stockage de ces réserves qui doivent assurer l'autonomie de la centrale en cas de perte de l'alimentation électrique de longue durée. L'exploitant ne précise pas si chaque groupe diesel possède ses propres réserves, ne mentionne pas la procédure de réapprovisionnement des stocks, s'il s'agit d'une réalimentation du site ou de chaque voie. Il indique que des contrats nationaux garantissent le réapprovisionnement des réserves de carburant diesel et que d'autres contrats spécifiques à chaque site garantissent les livraisons d'huile de lubrification



nécessaire au fonctionnement de ces groupes électrogènes. Nous ne disposons pourtant pas de données détaillées sur l'accessibilité de ces stocks en cas de destruction de l'infrastructure externe et interne, en particulier dans des conditions d'agressions externes.

Les réserves concernant l'alimentation électrique, mises en évidence pour la centrale de Fessenheim, doivent donc toujours être classées comme nettement inférieures à celles des centrales allemandes.

S'agissant des scénarios de perte de l'alimentation électrique externe et de l'alimentation électrique de secours, l'exploitant fait référence à une disponibilité démontrée de la turbopompe ASG et du turbo-alternateur de secours LLS, même en cas d'indisponibilité des circuits de refroidissement à l'arrêt RRI et SEB, nécessaire au refroidissement des composants et pour la température ambiante. L'exploitant ne donne cependant aucune précision complémentaire sur les conséquences d'une perte prolongée des circuits de refroidissement sur la température dans les bâtiments, sur la disponibilité d'autres centrales importantes ou sur l'accessibilité des locaux par le personnel, lequel devra peut-être exécuter des opérations manuelles. Si les circuits de refroidissement à l'arrêt RRI et SEB sont indisponibles de façon prolongée, on peut s'attendre à la défaillance rapide d'autres dispositifs techniques dont les composants ne seront plus refroidis. En cas de perte du refroidissement des bâtiments, il ne serait durablement pas possible de procéder à des opérations manuelles, comme l'établissement de branchements ou la réalisation de réparations. La maîtrise prolongée d'un événement de ce type n'est pas possible dans ces conditions.

## 6.2. Présentation de l'exploitant

Dans son rapport (EDF 2013), l'exploitant n'aborde pas spécifiquement ces points mais renvoie aux modifications « noyau dur », voir chapitre 2.1.

Le diesel d'ultime secours (DUS) doit disposer d'une puissance de 3 MW et être en mesure d'alimenter en énergie électrique tous les équipements du « noyau dur ». Il sera mis en place dans un bâtiment dédié, construit avant la fin 2012, et dimensionné contre les agressions externes qui reposeront sur des hypothèses de charge supérieures aux hypothèses retenues dans le référentiel actuel, voir à ce sujet le chapitre 2.4.1.

## 6.3. Présentation de l'autorité de sûreté

Dans son rapport (ASN 2014a), l'autorité de sûreté ASN n'aborde pas spécifiquement ces points mais renvoie aux modifications « noyau dur », voir chapitre 2.1.

Dans (ASN 2014a), l'autorité de sûreté ASN constate en janvier 2014

- qu'un mini-diesel (mini-DUS)

est disponible à la centrale de Fessenheim.

## 6.4. Prescriptions et modifications

Selon (ASN 2012b, [ECS-18 I]), l'exploitant doit développer des mesures et les mettre en œuvre avant le 31/12/2014 pour prolonger significativement l'autonomie des batteries. L'autorité de surveillance confirme dans (ASN 2014b) que l'autonomie des batteries a été portée d'une heure à deux heures.

Dès que possible, au plus tard pour le 31/12/2018, l'exploitant doit mettre en place un diesel d'ultime secours pour chaque réacteur qui permettra d'alimenter les équipements du « noyau dur » même en cas de perte totale des autres alimentations électriques. Dans l'attente de ces moyens, des dispositifs d'alimentation électrique de secours provisoires devront être prévus qui permettront la réalimentation du contrôle-commande minimum nécessaire et l'éclairage de la salle de commande (ASN 2012b, [ECS-18 III]). L'ASN confirme dans (ASN 2014b) qu'un mini-DUS a été installé dans chacun des réacteurs français (cf. chap. 2.4.1).

Au vu des conclusions du troisième réexamen périodique de sûreté, l'ASN prescrit pour la centrale de Fessenheim dans (ASN 2013a, [EDF-FSH-42])

- qu'avant le 31/12/2015, des mesures soient mises œuvre permettant d'assurer que dans les locaux du turbo-alternateur de secours (LLS) soient maintenus des températures pour lesquelles le fonctionnement du turbo-alternateur soit démontré pendant les laps de temps nécessaires.

L'ASN a demandé à l'exploitant d'améliorer la disponibilité des fluides auxiliaires, notamment le carburant diesel et l'huile de graissage, et les possibilités d'alimentation du site en moyens d'exploitation / carburants pour garantir une autonomie d'au moins 15 jours. Les mesures prises par l'exploitant seront contrôlées dans le cadre de l'activité de surveillance normale par l'autorité de tutelle, concernant la réalimentation des centrales depuis l'extérieur, il est renvoyé aux possibilités de la FARN (ASN 2014b).

## 6.5. Position

Le rapport de l'exploitant (EDF 2013) comme celui de l'ASN (ASN 2014a) ne révèlent aucune information faisant apparaître que par rapport à la présentation de l'état des lieux de la centrale de Fessenheim dans (Öko-Institut; PhB 2012), d'autres aspects importants devraient être pris en compte.

En ce qui concerne les différences dans le concept de dimensionnement (degré de redondance), nous renvoyons ici au chapitre 2.

L'ASN a confirmé que l'autonomie des batteries de la centrale de Fessenheim a maintenant été portée d'une heure à deux heures.

Les différences demeurent dans le dimensionnement, cf. chap. 2.5.1, le dimensionnement de base de la centrale de Fessenheim ne correspond donc toujours pas à l'état de sûreté des centrales allemandes.

Sans changement, les réserves existantes dans les centrales allemandes encore en exploitation sont telles qu'il y a un moyen d'alimentation électrique de secours supplémentaire, redondant et diversifié, pour les dispositifs de sécurité. Ce moyen d'alimentation électrique de secours est résistant au moins à un défaut unique (n+1) et est dimensionné contre des agressions externes rares telles que la chute d'avion. Par contre, dans la centrale de Fessenheim il est installé une turbine à combustion TAC supplémentaire. Le site de Fessenheim dispose bien ainsi d'un moyen d'alimentation électrique de secours diversifié par rapport à l'alimentation de secours normale. Celui-ci est cependant conçu à « un train » pour les deux tranches et ne répond donc pas au critère de défaut unique. La turbine à combustion TAC supplémentaire n'est pas qualifiée au séisme ni dimensionnée contre des agressions externes rares telles que la chute d'avion.

En ce qui concerne la disponibilité des matières premières et consommables sur le site de la tranche, l'autonomie en cas de perte de l'alimentation électrique externe est de 7 jours pour les centrales allemandes (BMUB 2014). Au vu de cette situation, la mise en œuvre d'une autonomie d'au moins 15 jours, prescrite par l'autorité de sûreté ASN, doit générer un avantage substantiel pour la centrale de Fessenheim par rapport aux centrales allemandes. Toutefois, les documents disponibles ne montrent pas clairement dans quelle mesure l'extension de l'autonomie ne doit pas être déjà créditée à la prise en compte des possibilités de réalimentation depuis l'extérieur, mises en place dans le cadre de la FARN, ou si l'autonomie de 15 jours peut être atteinte uniquement avec les matières premières et consommables présentes sur le site de la centrale.

Les réserves d'alimentation électrique, mises en évidence pour la centrale de Fessenheim, doivent donc toujours être classées comme nettement inférieures à celles des centrales allemandes.

En cas de perte de l'alimentation électrique externe et de l'alimentation électrique de secours d'une tranche, l'exploitant a fait référence dans le cadre du stress test européen à une disponibilité démontrée de la turbopompe ASG et du turbo-alternateur de secours LLS, même en cas d'indisponibilité des circuits de refroidissement à l'arrêt RRI et SEB, nécessaires au refroidissement des composants et pour la température ambiante. Au vu des conclusions du troisième réexamen de sûreté périodique, l'autorité de sûreté ASN a cependant prescrit des mesures pour assurer le fonctionnement prolongé du turbo-alternateur LLS. Celles-ci doivent être mises en œuvre avant le 31/12/2015 mais aucune information sur le stade de mise en œuvre n'est disponible.

Concernant les modifications déjà réalisées à la centrale de Fessenheim, nous renvoyons ici au chap. 2.5.2.

Dans le cadre des modifications « noyau dur », un diesel d'ultime secours (DUS) supplémentaire par réacteur doit également être mis en place pour alimenter les équipements du « noyau dur ». Ce diesel de secours doit être mis en place avant le 31/12/2018. La mise en place d'autres équipements du « noyau dur », qui devront être alimentés par ce diesel de secours, n'est cependant prévue que dans le cadre de la phase

3 (cf. chap. 2.4.2) et n'interviendra donc qu'après 2019. Actuellement, cette mesure n'est donc pas significative pour l'état de sûreté de la centrale de Fessenheim.

Les modifications réalisées et prévues à la centrale de Fessenheim sont à même d'accroître l'état de sûreté de la centrale. Indépendamment de cela, les différences existant par rapport aux centrales allemandes dans le dimensionnement de base et la robustesse des équipements existants pour l'alimentation électrique demeurent.

## 7. Source froide

Dans le cadre de notre étude nous procédons ci-après tout d'abord à la reproduction des résultats majeurs de (Öko-Institut; PhB 2012). Elle est suivie d'une synthèse à partir des éléments de la présentation de l'exploitant (EDF 2013) ainsi que de l'autorité de sûreté (ASN 2014a). Il est également exposé, notamment sur la base de (ASN 2014b), quelles sont les prescriptions ou mises à niveau qui ont été décidées depuis et qui sont pertinentes par rapport aux points faibles identifiés ici.

### 7.1. Points faibles identifiés selon (Öko-Institut; PhB 2012)

Concernant les différences des concepts de dimensionnement (degré de redondance), nous renvoyons au chap. 2.

Pour les réserves existant dans les centrales nucléaires allemandes, la RSK a constaté que dans tous les réacteurs encore en exploitation, une perte du refroidissement secondaire pouvait être maîtrisée par des mesures du plan d'urgence. De plus, en particulier pour les réacteurs GKN II et KKP 2 encore en exploitation en Bade-Wurtemberg, il a été constaté qu'il existait des trains de refroidissement secondaires redondants (n+1), diversifiés, complémentaires (autre source froide, composants actifs).

Pour l'évacuation de la puissance résiduelle (circuit d'eau brute et intermédiaire) qui est nécessaire pour le refroidissement du bâtiment et des composants et le refroidissement du réacteur à l'arrêt, la centrale de Fessenheim ne dispose pas de source froide diversifiée.

Concernant la possibilité de perte de la source froide de la centrale de Fessenheim, l'exploitant constate qu'on ne peut pas exclure une défaillance temporaire du nettoyage des filtres du circuit de refroidissement par suite d'une inondation des canalisations de rejet du système de nettoyage. Pourtant, l'exploitant est d'avis que la fonction de refroidissement du circuit d'eau brute n'en est pas altérée vu que l'arrêt des pompes de refroidissement réduit considérablement la quantité d'eau nécessaire et qu'au vu de la grande surface des filtres, des agressions ayant un impact sur l'écoulement et le colmatage de la source froide n'est pas à craindre. Nous ne disposons d'aucune information vérifiée sur le délai de grâce avant le colmatage du système de filtre comparé au laps de temps postulé pour une défaillance du système de nettoyage. Ceci remet aussi en question la disponibilité à long terme du circuit d'eau brute.

A la centrale de Fessenheim, une perte de la source froide d'une tranche peut être maîtrisée pendant un temps limité à l'aide de l'alimentation de secours des générateurs de vapeur ASG et d'une injection dans le circuit primaire par le RCV. L'exploitant évalue le temps de grâce à l'aide des sources froides de réserve existantes à plusieurs jours, mais il observe qu'en cas de perte du refroidissement des bâtiments et composants, le fonctionnement de l'alimentation de secours ASG n'est attesté que pendant un laps de temps de 24 heures. Les documents en notre possession ne nous permettent pas de savoir si une perte de l'alimentation en eau de refroidissement (réalimentation, stocks de

caloporteur, refroidissement composants etc.) peut être maîtrisée durablement par des mesures d'urgence.

Si les circuits de refroidissement à l'arrêt RRI et SEB sont indisponibles de façon prolongée, il faut escompter une défaillance rapide d'autres dispositifs techniques dont les composants ne seront plus refroidis. En cas de perte du refroidissement des bâtiments, il ne serait durablement pas possible de procéder à des opérations manuelles, comme des branchements ou des réparations. La maîtrise prolongée d'un événement de ce type n'est pas possible dans ces conditions.

L'exploitant ne dit pas précisément comment les systèmes nécessaires à la maîtrise durable de l'événement seraient refroidis en cas de perte de la source froide. L'ASN a déjà prescrit ici une analyse de sensibilité des composants.

## **7.2. Présentation de l'exploitant**

Dans son rapport (EDF 2013), l'exploitant n'aborde pas spécifiquement ces points mais renvoie aux modifications « noyau dur », voir chapitre 2.1.

## **7.3. Présentation de l'autorité de sûreté**

Dans son rapport (ASN 2014a), l'ASN n'aborde pas spécifiquement ces points, mais renvoie de manière générale aux modifications « noyau dur », voir chapitre 2.1.

## **7.4. Prescriptions et modifications**

Selon (ASN 2012b, [ECS 15]), l'exploitant doit remettre une revue globale de la conception de la source froide vis-à-vis des agressions ayant un impact sur le débit et la qualité de l'eau et du risque de colmatage de la source froide. Dans (ASN 2014b), l'ASN constate que l'exploitant a remis ces études et proposé des solutions pour améliorer la robustesse de la source froide primaire. Toutefois, l'autorité de sûreté ASN a considéré que des mesures complémentaires devaient être apportées notamment pour faire face au risque d'une arrivée massive de colmatants au point d'amenée de l'eau. Elle renvoie sur ce point à la source froide alternative qui doit être construite dans le cadre de la mise en place d'un « noyau dur ».

Dans le cadre de la prescription (ASN 2012b, [ECS-17]), l'exploitant doit examiner avant le 31/12/2013 les exigences assignées aux matériels nécessaires à la maîtrise des situations de perte totale de la source froide, notamment en matière de tenue en température. Concernant le refroidissement des composants des matériels pour l'évacuation de chaleur résiduelle, l'autorité de sûreté ASN note qu'elle suivra ce dossier dans le cadre des matériels du « noyau dur ».

## 7.5. Position

Le rapport de l'exploitant (EDF 2013) comme celui de l'autorité de sûreté ASN (ASN 2014a) ne révèlent aucune information faisant apparaître que par rapport à la présentation de l'état des lieux de la centrale de Fessenheim dans (Öko-Institut; PhB 2012), d'autres aspects importants devraient être pris en compte.

En ce qui concerne les différences dans le concept de dimensionnement (degré de redondance) de la source froide, nous renvoyons ici au chapitre 2. Les différences dans le concept de dimensionnement demeurent, cf. chap. 2.5.1.

Dans son rapport sur le stress test européen (ASN 2011b), l'autorité de sûreté ASN a déjà attiré l'attention sur le fait qu'à la suite des événements à Cruas et Fessenheim en 2009, il avait été prescrit une revue de la conception de la source froide vis-à-vis des agressions ayant un impact sur le débit de l'eau et du risque de colmatage, laquelle d'après ce qui est indiqué dans (ASN 2014b) n'est pas encore totalement terminée. Dans le cadre du Plan National d'Action (BMUB 2014, N-12), les exploitants des centrales nucléaires allemandes doivent prendre des

*«.. mesures pour vérifier et le cas échéant améliorer la fiabilité de la source froide primaire sous l'aspect d'un blocage de l'amenée d'eau, pour renforcer la fiabilité de la source froide primaire vis-à-vis d'agressions externes rares et pour maîtriser la perte de la source froide primaire... »*

Selon (BMUB 2014), des études en ce sens ont été réalisées pour tous les réacteurs à eau sous pression allemands ayant une autorisation d'exploitation, mais les contrôles des autorités portant sur la mise en œuvre de ces exigences ne sont pas terminés pour toutes les centrales. En la matière, il n'y a pas de différence significative entre Fessenheim et les réacteurs allemands.

Comme cela a déjà été dit dans (Öko-Institut; PhB 2012), si les circuits de refroidissement à l'arrêt RRI et SEB sont indisponibles de façon prolongée, on peut s'attendre à la défaillance rapide d'autres dispositifs techniques dont les composants ne seront plus refroidis. En cas de perte du refroidissement des bâtiments, il ne serait durablement pas possible de procéder à des opérations manuelles, comme des branchements ou des réparations. La maîtrise prolongée d'un événement de ce type n'est pas possible dans ces conditions.

L'exploitant ne dit pas précisément comment les systèmes nécessaires à la maîtrise durable de l'événement seraient refroidis en cas de perte de la source froide. L'autorité de sûreté ASN a déjà prescrit ici une analyse de sensibilité des composants. L'autorité de sûreté ASN a renouvelé ce questionnement dans le cadre des exigences assignées aux matériels du « noyau dur ». La mise en œuvre de ces mesures n'est donc attendue que dans la cadre de la poursuite de la mise en place du « noyau dur » et n'interviendra donc qu'après 2019.

Au contraire, selon (BMUB 2014), une source froide ultime diversifiée a été créée pour tous les réacteurs allemands. Même dans les réacteurs pour lesquels une alimentation diversifiée du circuit de refroidissement intermédiaire n'était pas possible jusqu'à présent, une pompe mobile complémentaire a été installée pour la constitution d'une chaîne de refroidissement à l'arrêt raccourcie, cf. chap. 2.5.2. En plus de l'évacuation de la puissance résiduelle, le refroidissement nécessaire des composants est également possible. Nous classons cela comme un avantage de sûreté des réacteurs allemands par rapport à l'état de sûreté actuel de la centrale de Fessenheim.

Concernant les autres modifications déjà intervenues à la centrale de Fessenheim, nous renvoyons ici chap. 2.5.2.

Dans le cadre des modifications intervenant avec la mise en place du « noyau dur », il doit être créé une source froide alternative, disponible durablement, pour alimenter les matériels du « noyau dur ». La source froide alternative doit être mise en place dans le cadre de la phase 2 d'ici la fin 2020. L'installation de circuits fixes pour l'alimentation de secours des générateurs de vapeur, de la bache PTR et de la piscine de désactivation du combustible n'est cependant prévue que dans le cadre de la phase 3 (cf. chap. 2.4.2) et n'interviendra donc qu'à partir de 2019. A l'heure actuelle, cette mesure n'est donc pas significative pour l'état de sûreté de la centrale de Fessenheim.



## 8. Autres points faibles sous l'aspect de la sûreté

Dans le cadre de notre étude nous procédons ci-après tout d'abord à la reproduction des résultats majeurs de (Öko-Institut; PhB 2012). Elle est suivie d'une synthèse à partir des éléments de la présentation de l'exploitant (EDF 2013) ainsi que de l'autorité de sûreté (ASN 2014a). Il est également exposé, notamment sur la base de (ASN 2014b), quelles sont les requêtes ou mises à niveau qui ont été décidées depuis et qui sont pertinentes par rapport aux points faibles identifiés ici.

### 8.1. Points faibles identifiés selon (Öko-Institut; PhB 2012)

Les réacteurs à eau sous pression allemands encore en exploitation disposent d'un système d'alimentation des générateurs de vapeur, d'un système de démarrage et d'arrêt « 2 trains » et d'un système d'alimentation de secours « quatre trains ». Les redondances du système d'eau alimentaire de secours ont accès à des réservoirs d'alimentation de secours affecté à chaque train. Les différents systèmes d'alimentation de secours sont totalement séparés géographiquement les uns des autres et protégés contre les agressions externes dans un bâtiment dédié, bunkerisé. Dans le cadre du plan d'urgence interne, il est toujours prévu une procédure d'alimentation des générateurs de vapeur et de réduction de la surpression côté secondaire en utilisant une pompe mobile qui se trouve sur la tranche.

Par contre, pour assurer l'évacuation de la chaleur du circuit secondaire, la centrale nucléaire de Fessenheim dispose d'une alimentation normale des générateurs de vapeur ANG et d'une alimentation de secours des générateurs de vapeur ASG. L'alimentation de secours est composée de trois redondances, dont une est indépendante de l'alimentation électrique de secours. Toutes les pompes d'eau alimentaire de secours d'une tranche de la centrale de Fessenheim aspirent à partir d'un réservoir unique, le réservoir d'alimentation de secours ASG, et sont de ce fait maillées entre elles. Nous ne disposons d'aucune information sur la séparation géographique des pompes alimentaires de secours.

Pour la réduction de la surpression côté primaire par la fonction aspersion du pressuriseur et par injection d'eau borée du circuit primaire, les réacteurs à eau sous pression allemands encore en exploitation disposent d'un système de contrôle chimique et volumétrique et d'un système d'injection d'eau borée d'appoint « quatre trains », dimensionné comme système de sécurité. Pour l'appoint de caloporteur en cas de brèche dans des conditions de pression élevée dans le circuit primaire et pour l'injection d'eau borée du circuit primaire, les pompes d'injection de sécurité du système de refroidissement de secours et de refroidissement à l'arrêt sont de surcroît disponibles. Dans les réacteurs à eau sous pression allemands, une perte de l'injection aux joints des pompes primaires ne conduit pas à une perte d'intégrité du circuit primaire.

Pour la réduction de surpression primaire par la fonction aspersion du pressuriseur, pour l'injection aux joints des pompes primaires, pour l'injection d'eau borée du circuit primaire

et éventuellement l'appoint de caloporteur en cas de brèche dans des conditions de pression élevée dans le circuit primaire, la centrale de Fessenheim dispose uniquement du système de contrôle chimique et volumétrique RCV. Ce système comprend trois pompes d'injection de sécurité haute pression ISHP par tranche. Toutes les pompes ISHP d'une tranche de la centrale de Fessenheim ont accès à un seul réservoir d'eau, la bêche PTR, et sont donc maillées. Pour les deux tranches conjointes, il existe une pompe de test et de sécurité RIS.

En ce qui concerne l'assurance de l'évacuation de la chaleur secondaire et l'injection d'eau et l'injection d'eau borée du circuit primaire dans des conditions de pression élevée dans le circuit primaire, nous observons que la centrale de Fessenheim présente une robustesse considérablement inférieure, en regard du concept de niveaux de sûreté échelonnés, à celle des réacteurs à eau sous pression allemands.

Dans le cadre du réexamen de sûreté de la RSK, des agressions dues à l'activité de l'homme, notamment une chute d'avion sur la tranche, ont été analysées pour les centrales nucléaires allemandes. Dans le cadre du stress test européen de la centrale de Fessenheim, ce type de scénario n'a pas été pris en considération. En particulier, nous évaluons ici le fait que les fonctions de sûreté importantes au niveau central, à savoir l'évacuation de la chaleur secondaire et l'appoint de caloporteur primaire, dépendent d'un seul réservoir de stockage par tranche, comme une déficience particulièrement significative pour la sûreté.

Du fait du positionnement des systèmes de sûreté sur le site de Fessenheim à un niveau nettement en-dessous de celui du Grand Canal d'Alsace, il existe un risque d'inondation potentiel de l'ensemble du site de la centrale. Les vérifications de la tenue des digues du site vis-à-vis d'un séisme, y compris l'analyse des conséquences éventuelles d'une défaillance de digue, exigées par l'ASN attirent expressément l'attention sur ces déficiences potentielles.

## **8.2. Présentation de l'exploitant**

Dans son rapport (EDF 2013), l'exploitant n'aborde pas spécifiquement ces points mais renvoie cependant aux modifications du « noyau dur », voir chapitre 2.1.

## **8.3. Présentation de l'autorité de sûreté**

Dans (ASN 2014a), l'ASN note que dans le cadre du troisième réexamen de sûreté périodique, il a été décidé un renforcement du réservoir ASG du système d'eau alimentaire de secours et une protection de la bêche PTR des systèmes d'injection côté primaire.

Elle rappelle également que concernant le risque de chute d'avion, il existe des études mais celles-ci ne sont pas accessibles publiquement.

Concernant la tenue de la digue du Grand Canal d'Alsace face à un séisme, l'ASN observe dans (ASN 2014a) qu'une étude d'EDF, prescrite dans (ASN 2012b, [ECS-11]), a

fait apparaître une tenue sismique de la digue d'une PGA de 0,3 g. La protection de la centrale de Fessenheim est dimensionnée pour une valeur de débit de 20 m<sup>3</sup>/s de l'autre côté de la digue alors que l'estimation des débits réellement attendus s'élève à seulement 7 m<sup>3</sup>/s.

#### 8.4. Prescriptions et modifications

L'autorité de sûreté ASN constate que les joints des pompes primaires des réacteurs du palier 900 MWe ont été modifiés en ce sens que même en cas de perte prolongée de l'injection continue d'eau sous pression dans des conditions de température et de pression élevées dans le circuit primaire, il ne se produit pas de dégradation des joints (ASN 2014b).

Au vu des conclusions du troisième réexamen de sûreté périodique, pour la centrale de Fessenheim, dans (ASN 2011a, [FSH1-8]; ASN 2013a, [FSH2-6]), l'ASN prescrit

- que les bâtiments importants pour la sûreté puissent résister à une onde de choc avec une surpression de 50 mbar, d'une durée de 0,3 s et d'une vitesse de 350 m/s.

Dans (ASN 2012b, [ECS-11]), l'ASN demande à l'exploitant de remettre une étude sur le niveau de robustesse de la digue du Grand Canal d'Alsace, sur les conséquences éventuelles d'une défaillance de cet ouvrage et sur les solutions techniques envisagées pour protéger les équipements du « noyau dur ». Dans (ASN 2014b), l'ASN confirme que l'exploitant a transmis ses études à la fin de l'année 2013. Elle constate qu'il en ressort la nécessité de compléments d'analyse. Ces conclusions devraient être disponibles fin mars 2015.

#### 8.5. Position

Le rapport de l'exploitant (EDF 2013) comme celui de l'ASN (ASN 2014a) ne révèlent aucune information faisant apparaître que par rapport à la présentation de l'état des lieux de la centrale de Fessenheim dans (Öko-Institut; PhB 2012), d'autres aspects importants devraient être pris en compte.

En ce qui concerne les modifications déjà réalisées à la centrale de Fessenheim, nous renvoyons ici au chapitre 2.5.2. Pour assurer l'évacuation de la chaleur du circuit secondaire, il ressort de ces mesures qu'il y a maintenant à la centrale de Fessenheim une possibilité d'alimentation des générateurs de vapeur avec des pompes mobiles. Avec les modifications effectuées sur les joints des pompes primaires, il n'y a plus non plus de risque de perte du refroidissement à brève échéance en cas de perte de l'injection aux joints. Il n'y a pas d'autres modifications qui seraient pertinentes par rapport aux différences techniques identifiées au chapitre 8.1.

En ce qui concerne l'assurance de l'évacuation de la chaleur secondaire et l'injection primaire et la boratation dans des conditions de pression élevée dans le circuit primaire, nous constatons ainsi toujours que la centrale de Fessenheim présente une robustesse

considérablement inférieure, en regard du concept de niveaux de sûreté échelonnés, à celle des réacteurs à eau sous pression allemands.

A long terme, de nouveaux équipements faisant partie du « noyau dur » devront être implémentés dans le cadre de la phase 3 (à partir de 2020). Il n'a pas encore été arrêté jusqu'à présent si ces équipements seront aussi mis en œuvre dans la centrale de Fessenheim, et le cas échéant quand ils le seront. Actuellement, ces mesures ne sont donc pas significatives pour l'état de sûreté de la centrale de Fessenheim.

Dans le cadre de son contrôle spécifique des centrales (RSK 2011), concernant la robustesse contre des agressions externes dues à l'activité de l'homme, notamment la chute d'avion, la Commission de Sûreté des Réacteurs RSK a confirmé que toutes les centrales allemandes ayant l'autorisation de production d'électricité respectent le niveau de protection 2 (sauvegarde des fonctions vitales en cas de chargement en fonction du temps selon les directives RSK, en cas de chargement en fonction du temps engendré par un avion de ligne moyen et en cas de relâchement et inflammation de kérosène en cas de chute d'un avion de ligne moyen). Par rapport aux agressions avec une onde de choc due à une explosion (sauvegarde des fonctions vitales, y compris en tenant compte des dégâts consécutifs et des indisponibilités de personnel éventuelles induites par l'agression, en cas d'agressions selon les prescriptions de la directive BMU concernant les ondes de choc par explosion), la RSK a confirmé que toutes les centrales respectaient le niveau de protection 1.

Les « Prescriptions de sûreté s'appliquant aux centrales nucléaires » (SiAnf 2015) se réfèrent aussi dans l'annexe 3, chapitre 4.2.2.2 à la « Directive sur la protection des centrales nucléaires contre des ondes de choc provoquées par des réactions chimiques » (BMI 1976). La directive prévoit que s'il n'y a pas d'études plus précises, spécifiques au site, pour répertorier les éventuelles ondes de choc dues à une explosion, l'onde de choc doit être postulée conformément à la directive. Elle peut venir dans une direction quelconque avec un front de pression plat. Après une première surpression par pression de réflexion dynamique de  $45 \text{ kN/m}^2$  (450 mbar), il est supposé une surpression quasi-statique provoquée par l'onde explosive de  $30 \text{ kN/m}^2$  (300 mbar), d'une durée de 1 s.

Pour la centrale de Fessenheim, l'ASN a confirmé que des études sur la robustesse contre des agressions externes dues à l'activité de l'homme ont été réalisées. Elle renvoie notamment à l'augmentation de la robustesse de la centrale de Fessenheim prescrite dans le cadre du troisième réexamen de sûreté périodique. La tenue des bâtiments importants pour la sûreté, demandée au vu de ces conclusions, doit cependant être classée comme réduite en comparaison avec les prescriptions s'appliquant aux centrales allemandes. Les documents en notre possession ne nous permettent pas de dire dans quelle mesure la centrale de Fessenheim respecte ces prescriptions. Par contre, il a été confirmé que les centrales allemandes respectent les dites prescriptions. Au vu de ces résultats, nous supposons toujours une robustesse de la centrale de Fessenheim contre des agressions externes dues à l'activité de l'homme significativement inférieure à celle des centrales allemandes.

En ce qui concerne le risque potentiel d'inondation sur l'ensemble du site du fait du positionnement des systèmes de sécurité sur le site de Fessenheim à un niveau nettement en-dessous de celui du Grand Canal d'Alsace, l'ASN constate certes que l'exploitant a transmis les études demandées. Elle constate néanmoins que celles-ci nécessitent des compléments d'analyse. Nous n'avons pas d'informations sur l'avancement de ces études complémentaires.

L'autorité de sûreté ASN indique également que dans le dimensionnement des dispositifs de protection de la centrale de Fessenheim, une robustesse élevée est atteinte avec une valeur de débit de  $20 \text{ m}^3/\text{s}$  alors que l'estimation des débits réellement attendus liées à une inétanchéité de digues, induite par un séisme, s'élève à  $7 \text{ m}^3/\text{s}$ . Il faut cependant tenir compte ici du fait qu'en fonction de la valeur de débit sur le Rhin, avec la division des eaux du Rhin à Kembs, entre 1200 et  $1460 \text{ m}^3/\text{s}$  sont dirigés vers le Grand Canal d'Alsace. Les incertitudes liées à la valeur de débit calculée de  $7 \text{ m}^3/\text{s}$ , soit environ 0,6 % du débit du Grand Canal d'Alsace, n'ont pas été mises en évidence dans le cadre du stress test européen. Il n'est donc pas possible d'évaluer dans quelle mesure une augmentation de cette valeur de débit d'un facteur de l'ordre de 3 pourrait être considérée comme suffisamment conservative.

## Bibliographie

- ASN (2011): Décision no 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. Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) (05.05.2011). Online verfügbar unter <http://www.asn.fr/Reglementer/Bulletin-officiel-de-l-ASN/Decisions-de-l-ASN/Decision-n-2011-DC-0213-de-l-ASN-du-5-mai-2011>, zuletzt geprüft am 01.09.2015.
- ASN (2011a): Décision de l'Autorité de sûreté nucléaire n° 2011-DC-0231 du 4 juillet 2011 fixant à Électricité de France – Société Anonyme (EDF-SA) les prescriptions complémentaires applicables au site électronucléaire de Fessenheim (Haut Rhin) au vu des conclusions du troisième réexamen de sûreté du réacteur n°1 de l'INB n°75. Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) (04.07.2011). Online verfügbar unter <http://www.asn.fr/Reglementer/Bulletin-officiel-de-l-ASN/Decisions-de-l-ASN/Decision-n-2011-DC-0231-de-l-ASN-du-4-juillet-2011>, zuletzt geprüft am 01.09.2015.
- ASN (2011b): Complementary Safety Assessment of the French Nuclear Power Plants. Report by the French Nuclear Safety Authority. Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) (December 2011). Online verfügbar unter <http://www.ensreg.eu/sites/default/files/120106%20Rapport%20ASN%20ECS%20-%20ENG%20validated.pdf>, zuletzt geprüft am 01.09.2015.
- ASN (2012): Arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base. Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) (28.08.2015, DEVP1202101A). Online verfügbar unter <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000025338573>, zuletzt geprüft am 01.09.2015.
- ASN (2012a): Avis no2012-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. Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) (03.01.2012). Online verfügbar unter <http://www.asn.fr/Reglementer/Bulletin-officiel-de-l-ASN/Avis-de-l-ASN/Avis-n-2012-AV-0139-de-l-ASN-du-3-janvier-2012>, zuletzt geprüft am 07.09.2015.
- ASN (2012b): Décision n°2012-DC-0284 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 26 juin 2012 fixant à Électricité de France – Société Anonyme (EDF-SA) des prescriptions complémentaires applicables au site électronucléaire de Fessenheim (Haut-Rhin) au vu des conclusions des évaluations complémentaires de sûreté (ECS) de l'INB n°75. Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) (26.06.2012). Online verfügbar unter <http://www.asn.fr/Reglementer/Bulletin-officiel-de-l-ASN/Decisions-de-l-ASN/Decision-n-2012-DC-0284-de-l-ASN-du-26-juin-2012>, zuletzt geprüft am 28.08.2015.
- ASN (2012c): Décision n° 2012-DC-0328 du 11 décembre 2012 de l'Autorité de sûreté nucléaire modifiant la décision n°2011-DC-0231 du 4 juillet 2011 de l'Autorité de sûreté nucléaire fixant à Électricité de France – Société Anonyme (EDF-SA) les prescriptions complémentaires applicables au site électronucléaire de Fessenheim (Haut Rhin) au vu des conclusions du troisième réexamen de sûreté du réacteur n°1 de l'INB n°75. Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) (11.12.2012). Online verfügbar unter <http://www.asn.fr/Reglementer/Bulletin-officiel-de-l-ASN/Decisions-de-l-ASN/Decision-n-2012-DC-0328-de-l-ASN-du-11-decembre-2012>, zuletzt geprüft am 01.09.2015.
- ASN (2013): Protection des installations nucléaires de base contre les inondations externes. Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) (Guides de L'ASN, Guide No 13). Online verfügbar unter <http://professionnels.asn.fr/Installations-nucleaires/Centrales-nucleaires/Guides-de-l-ASN-dans-le-domaine-des-installations-nucleaires/Guide-de-l-ASN-n-13-relatif-a-la-protection-des-installations-nucleaires-de-base-contre-les-inondations-externes>, zuletzt geprüft am 07.09.2015.

ASN (2013a): Décision n° 2013-DC-0342 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 23 avril 2013 fixant à Électricité de France – Société Anonyme (EDF-SA) les prescriptions complémentaires applicables au site électronucléaire de Fessenheim (Haut Rhin) au vu des conclusions du troisième réexamen de sûreté du réacteur n°2 de l'INB n°75. Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) (23.04.2013). Online verfügbar unter <http://www.asn.fr/Reglementer/Bulletin-officiel-de-l-ASN/Decisions-de-l-ASN/Decision-n-2013-DC-0342-de-l-ASN-du-23-avril-2013>, zuletzt geprüft am 01.09.2015.

ASN (2014): Décision n°2014-DC-0404 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 21 janvier 2014 fixant à Électricité de France – Société Anonyme (EDF-SA) des prescriptions complémentaires applicables au site électronucléaire de Fessenheim (Haut-Rhin) au vu de l'examen du dossier présenté par l'exploitant conformément à la prescription (ECS-1) de la décision n°2012-DC-0284 du 26 juin 2012 de l'Autorité de sûreté nucléaire. Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) (21.01.2014). Online verfügbar unter <http://www.asn.fr/Reglementer/Bulletin-officiel-de-l-ASN/Decisions-de-l-ASN/Decision-n-2014-DC-0404-de-l-ASN-du-21-janvier-2014>, zuletzt geprüft am 28.08.2015.

ASN (2014a): Rapport de l'Öko Institut sur la centrale de Fessenheim. Éléments d'éclairage. Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN). Vortrag beim Ausschuss für grenzüberschreitende Zusammenarbeit des Landkreises Breisgau-Hochschwarzwald, Freiburg, 30.09.2014.

ASN (2014b): Updated National Action Plan of the French Nuclear Safety Authority. Follow-up to the French Nuclear Power Plant Stress Test. Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) (December 2014). Online verfügbar unter [http://www.ensreg.eu/sites/default/files/France%20-%2020141217\\_Updated\\_NAcP\\_France\\_EN.pdf](http://www.ensreg.eu/sites/default/files/France%20-%2020141217_Updated_NAcP_France_EN.pdf), zuletzt geprüft am 01.09.2015.

BMI (1976): Bekanntmachung der Richtlinie für den Schutz von Kernkraftwerken gegen Druckwellen aus chemischen Reaktionen durch Auslegung der Kernkraftwerke hinsichtlich ihrer Festigkeit und induzierter Schwingungen sowie durch Sicherheitsabstände. Bundesministerium des Inneren (BMI) (BAnz, 179). Online verfügbar unter [http://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/rsh/3-bmub/3\\_6.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](http://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/rsh/3-bmub/3_6.pdf?__blob=publicationFile&v=1), zuletzt geprüft am 01.09.2015.

BMU (2012): EU Stresstest - National Report of Germany. Implementation of the EU Stress Tests in Germany. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). Online verfügbar unter [http://www.ensreg.eu/sites/default/files/EU\\_Stress\\_test\\_national\\_report\\_Germany.pdf](http://www.ensreg.eu/sites/default/files/EU_Stress_test_national_report_Germany.pdf), zuletzt geprüft am 15.09.2015.

BMUB (2014): Updated German Action Plan for the implementation of measures after the Fukushima reactor accident. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB). Online verfügbar unter <http://www.ensreg.eu/sites/default/files/Germany%20-%20National%20Action%20Plan.pdf>, zuletzt geprüft am 15.09.2015.

EDF (2013): Rapport Öko-Institut Stress Test: Centrales de Fessenheim et de Bézou. Électricité de France (EDF). CLIS Fessenheim.

ENSREG (2012): Stress Test Peer Review Board: Peer Review Country Report – France. Ensreg Nuclear Safety Regulators Group (ENSREG). Online verfügbar unter <http://www.ensreg.eu/sites/default/files/Country%20Report%20FR%20Final.pdf>, zuletzt geprüft am 01.09.2015.

KTA 2201.1 (2011): Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen. Fassung 2011-11. Kerntechnischer Ausschuss (KTA). Online verfügbar unter [http://www.kta-gs.de/d/regeln/2200/2201\\_1\\_r\\_2011\\_11.pdf](http://www.kta-gs.de/d/regeln/2200/2201_1_r_2011_11.pdf), zuletzt geprüft am 01.09.2015.

KTA 2207 (1993): Schutz von Kernkraftwerken gegen Hochwasser. Fassung 11/04. Kerntechnischer Ausschuss (KTA). Online verfügbar unter [http://www.kta-gs.de/d/regeln/2200/2207\\_r\\_2004\\_11.pdf](http://www.kta-gs.de/d/regeln/2200/2207_r_2004_11.pdf), zuletzt geprüft am 01.09.2015.

Öko-Institut; PhB (2012): Christoph Pistner, Mathias Brettner, Christian Küppers, Stephan Kurth und Simone Mohr: Analyse der Ergebnisse des EU-Stresstest der Kernkraftwerke Fessenheim und Beznau. Teil 1: Fessenheim. Öko-Institut e.V. (Öko-Institut); Physikerbüro Bremen (PhB). Darmstadt. Online verfügbar unter [http://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/3\\_Umwelt/Kernenergie/Aktuelle\\_Informationen/Aktuelle\\_Meldungen/EU\\_Stresstest\\_Teil\\_1\\_Fessenheim.pdf](http://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/3_Umwelt/Kernenergie/Aktuelle_Informationen/Aktuelle_Meldungen/EU_Stresstest_Teil_1_Fessenheim.pdf), zuletzt geprüft am 12.10.2015.

RSK (2011): Anlagenspezifische Sicherheitsüberprüfung (RSK-SÜ) deutscher Kernkraftwerke unter Berücksichtigung der Ereignisse in Fukushima-I (Japan). Stellungnahme. Reaktor-Sicherheitskommission (RSK). Online verfügbar unter <http://www.rskonline.de/sites/default/files/reports/rsksnsue20110516hp.pdf>, zuletzt geprüft am 01.09.2015.

RSK (2013): Einschätzung der Abdeckung extremer Wetterbedingungen durch die bestehende Auslegung. Stellungnahme. Reaktor-Sicherheitskommission (RSK). Online verfügbar unter <http://www.rskonline.de/sites/default/files/reports/epanlagersk462hp.pdf>, zuletzt geprüft am 12.10.2015.

SiAnf (2015): Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (BAZ, AT 30.03.2015 B2). Online verfügbar unter [http://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/rsh/3-bmub/3\\_0\\_1.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=7](http://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/rsh/3-bmub/3_0_1.pdf?__blob=publicationFile&v=7), zuletzt geprüft am 01.09.2015.

WENRA (2014): WENRA Safety Reference Levels for Existing Reactors. Western European Nuclear Regulators' Association (WENRA). Online verfügbar unter [http://www.wenra.org/media/filer\\_public/2014/09/19/wenra\\_safety\\_reference\\_level\\_for\\_existing\\_reactors\\_september\\_2014.pdf](http://www.wenra.org/media/filer_public/2014/09/19/wenra_safety_reference_level_for_existing_reactors_september_2014.pdf), zuletzt geprüft am 12.10.2015.