

# Avis sur le rapport RESONANCE relatif au risque sismique sur le site de Fessenheim

ISRN/IRSN 2008-93



Systeme de management  
de la qualite IRSN certifie

# SOMMAIRE

<b>1 INTRODUCTION .....</b>	<b>2</b>
<b>2 DOCUMENTS ANALYSES PAR RESONANCE DANS LE CADRE DE SON ETUDE .....</b>	<b>2</b>
<b>3. ANALYSE DU RAPPORT DE RESONANCE .....</b>	<b>3</b>
3.1 METHODE FRANÇAISE DE DETERMINATION DE L’ALEA SISMIQUE (RFS 2001-01) .....	3
3.2 SEISME DE BALE (1356) .....	4
3.3 SELECTION DES SMHV SUR LE CRITERE DE L’INTENSITE .....	5
3.4 ZONAGE SISMOTECTONIQUE .....	6
3.5. ACTUALISATION DES CONNAISSANCES (2008): PRISE EN COMPTE DES FAILLES BORDIERES DU FOSSE RHENAN .....	6
3.6 UTILISATION D’UNE LOI D’ATTENUATION MOYENNE POUR LE SPECTRE DE REPONSE.....	7
<b>4. CONCLUSIONS.....</b>	<b>8</b>
<b>5 REFERENCES .....</b>	<b>10</b>

# **1 INTRODUCTION**

Le 13 décembre 2007, les cantons suisses de Bâle et du Jura ont présenté à la presse les résultats d'une étude qu'ils avaient confiée au bureau d'étude suisse RESONANCE. Cette étude (référence [1]), dont le contenu n'a pas été rendu public au moment de la rédaction du présent rapport, vise à répondre à dix questions posées par les commanditaires portant d'une part sur l'évaluation de l'aléa sismique sur le site de la centrale nucléaire de Fessenheim (Haut-Rhin), d'autre part sur le dimensionnement sismique de cette installation.

L'étude de RESONANCE, qui a fait l'objet de quelques articles dans la presse locale suisse et d'une dépêche AFP datée du 14 décembre 2007, conclut que « *la réévaluation de l'aléa sismique, telle que proposée, jusqu'à présent, par EDF en vue de la 3<sup>ème</sup> visite décennale de la centrale, prévue à partir de 2009, mène à une sous-estimation prononcée de l'aléa et n'est donc pas acceptable. Le même constat est valable, dans une moindre mesure, pour la réévaluation de l'aléa proposée par l'IRSN.* RESONANCE estime cependant, sur la base d'une analyse rapide du dimensionnement sismique de l'installation, qu'il est « *impossible de conclure que la centrale nucléaire de Fessenheim représente un risque sismique inacceptable - bien qu'un certain soupçon soit sans aucun doute permis* ». Les auteurs du rapport jugent enfin impératif de procéder le plus rapidement possible à un contrôle sismique approfondi des bâtiments et des installations.

RESONANCE a transmis à l'IRSN une copie de son rapport. L'IRSN en a fait une analyse détaillée. L'objet du présent document est de présenter les commentaires de l'IRSN sur les points considérés comme significatifs relevés dans le rapport de RESONANCE. Lors des réunions du 20 décembre 2007 du GT tripartite ASN/EDF/IRSN et du 28 janvier 2008 du GT piloté par le MEEDDAT, le sujet a été évoqué, et l'IRSN a indiqué qu'il transmettrait ces commentaires pour information à l'ASN et au MEEDDAT.

## **2 DOCUMENTS ANALYSES PAR RESONANCE DANS LE CADRE DE SON ETUDE**

Pour son étude, RESONANCE s'est appuyé sur trois types de documents :

- 1) des documents mis à sa disposition par le client lors de l'adjudication du mandat ;
- 2) des documents publics (sites web, rapports, articles dans des revues scientifiques...) ;
- 3) des sources d'informations additionnelles provenant soit de rapports non publiés soit de réponses écrites de l'ASN et de l'IRSN à des questions spécifiques formulées par les auteurs de l'étude.

De manière générale, les hypothèses et documents EDF et IRSN cités par RESONANCE font référence à l'instruction de la troisième visite décennale du palier 900 MWe. L'instruction technique relative à la définition de l'aléa sismique (en application de la RFS 2001-01) effectuée dans ce cadre de réévaluation s'est déroulée entre 2002 et juillet 2004 (date du dernier avis transmis par l'IRSN à l'ASN). Les éléments scientifiques et techniques supports des avis de l'IRSN sont donc des éléments qui

étaient disponibles en 2002. Il est de ce point de vue important de signaler que les critiques émises par RESONANCE à l'encontre des positions de l'IRSN de 2004 (reposant sur les éléments scientifiques et techniques antérieurs à 2002) s'appuient sur des données ou des méthodologies récentes, non disponibles à l'époque.

### **3. ANALYSE DU RAPPORT DE RESONANCE**

#### **3.1 METHODE FRANÇAISE DE DETERMINATION DE L'ALEA SISMIQUE (RFS 2001-01)**

Avant de répondre aux différentes questions posées par les commanditaires et afin de les replacer dans le contexte de la méthode d'évaluation de l'aléa sismique préconisée dans la Règle Fondamentale de Sûreté (RFS 2001-01), RESONANCE revient sur les fondements de cette dernière. Bien que notant que la RFS 2001-01 « *représente une modernisation indéniable* » par rapport à la précédente RFS (datée de 1981), le rapport indique qu'il « *s'agit d'une méthode déterministe, par opposition aux méthodes probabilistes qui font référence de nos jours* ». D'une façon générale, le document de RESONANCE accorde un crédit définitif aux approches probabilistes. Il précise ainsi : « *il est à souligner que l'Agence Internationale de l'Énergie [Atomique]<sup>1</sup> ne rejette pas formellement les méthodes déterministes comme celle de la RFS 2001-01. Cependant, elle recommande fortement l'utilisation des méthodes probabilistes* ». L'argumentaire de RESONANCE s'appuie en grande partie sur une étude suisse (PEGASOS, 2004, référence [2]) qui visait à une détermination probabiliste de l'aléa sismique sur les quatre sites nucléaires suisses, en occultant totalement les débats scientifiques dont cette étude fait l'objet ainsi que les difficultés pratiques auxquelles conduisent ses résultats lorsqu'ils sont appliqués dans le cadre de la sûreté des installations nucléaires suisses. Ainsi, actuellement l'aléa sismique issu de PEGASOS est arbitrairement réduit de 20% pour les calculs réalisés dans le cadre des études probabilistes de sûreté (réunion AIEA, Vienne Nov. 2007, voir compte rendu référence [3]).

**Sur ce point, l'IRSN estime qu'actuellement, et particulièrement dans le domaine de la sûreté nucléaire, les approches probabilistes et déterministes sont complémentaires.** Les deux approches utilisent les mêmes données de base entachées des mêmes incertitudes. Les approches probabilistes se distinguent surtout par la prise en compte d'avis d'experts divers et d'une méthode de propagation différente des incertitudes. L'affirmation formulée dans le rapport de RESONANCE selon laquelle « *les résultats issus des méthodes probabilistes sont nettement moins sensibles aux incertitudes des connaissances et des jugements d'experts que les résultats obtenus par des méthodes déterministes* » est, du point de vue de l'IRSN, infondée.

L'IRSN constate que RESONANCE se contente de comparer les démarches adoptées en France dans le cadre de l'application de la RFS 2001-01 à celles retenues dans l'étude PEGASOS, en limitant son analyse à la confrontation des valeurs retenues pour la magnitude et la distance au site du séisme de

---

<sup>1</sup> Le rapport RESONANCE indique par erreur « Nucléaire »

Bâle. RESONANCE ne pousse cependant pas l'analyse à son terme, en n'évoquant pas l'impact des différentes hypothèses en termes d'aléa sismique (i.e. de spectre de réponse). **La portée de l'exercice est de ce fait très limitée et la notion de sous-estimation soulignée en conclusion reste très relative.** Ainsi, dans l'approche probabiliste, le séisme de Bâle, bien que réévalué à la hausse en magnitude, verra sa contribution à l'aléa sismique du site de Fessenheim pondérée au prorata de la fréquence d'occurrence de ce type de séisme par rapport à l'ensemble de la sismicité (courbe de Gutenberg Richter).

### 3.2 SEISME DE BALE (1356)

La magnitude retenue pour le séisme de Bâle fait l'objet d'une longue discussion dans le document de RESONANCE qui conclut sur ce point en indiquant qu' « *il n'est pas scientifiquement défendable de retenir la valeur la plus optimiste (en l'occurrence Mw=6,2) d'une série de valeurs incertaines, et ceci d'autant plus qu'il s'agit d'une valeur significativement plus basse par rapport aux appréciations des experts des autres pays concernés par le séisme de 1356* ».

L'IRSN, dans son avis daté de 2003 (RT IRSN/DPRE/SERGD 2003-09), a considéré acceptable la magnitude de 6,2 proposée par EDF pour le séisme de Bâle de 1356 (niveau SMHV, soit une magnitude 6,7 au SMS) compte tenu de sa propre estimation de la magnitude et des incertitudes associées. L'étude PEGASOS a considéré pour ce même séisme des valeurs comprises entre 6 et 7. Au cours des instructions mentionnées dans le rapport de RESONANCE (menées entre 2001 et mi-2004), l'IRSN a réalisé sa propre évaluation de la localisation et des caractéristiques du séisme de Bâle (magnitude, distance), à partir des éléments les plus récents (i.e. 2004), parmi lesquels l'étude de Meghraoui de 2001(référence [4]).

Cette étude qui est mentionnée dans le rapport IRSN de 2003, identifie une faille active de 8 km de longueur<sup>2</sup>. Cette donnée est compatible avec la magnitude du séisme de Bâle estimée par l'IRSN à l'époque autour de 6.

L'IRSN note par contre une forte contradiction entre les caractéristiques de la « faille identifiée » associée au séisme de Bâle par l'étude de Meghraoui et la magnitude proposée par Pegasos (6,9). L'IRSN estime que la faille en question - faille de Bâle Mandach - (faille N-S au sud de Bâle) est de l'ordre de la dizaine de km et donc non apte à produire un séisme de magnitude 7. Il faut donc chercher d'autres sources susceptibles de produire un tel séisme. Des sources candidates existent sous

---

<sup>2</sup> A noter que la publication de Meghraoui a fait l'objet d'un examen par le comité de pilotage de la base de données NEOPAL (<http://www.neopal.net>). Cette base recense les caractéristiques des déformations récentes et des paléoséismes en France. Selon le comité de pilotage, les déformations proposée par l'auteur sont soit d'origine tectonique, soit d'origine gravitationnelle (glissements de terrain).

le Jura (failles cachées profondes orientées E-W) mais seules des investigations indirectes (étude de la déformation des paysages récents consécutive aux mouvements de ces failles profondes) permettraient de les identifier (Meyer et al., 1994, référence [5]).

En parallèle à ses activités d'expertise, l'IRSN mène des recherches qui visent à améliorer l'évaluation de l'aléa sismique, en particulier en France. Dans ce cadre, postérieurement à 2004, l'IRSN a développé de nouvelles corrélations qui permettent d'estimer la magnitude des séismes historiques à partir des données d'intensité macrosismique. Les travaux correspondants ont été présentés lors d'une conférence internationale à Genève en 2006 ainsi qu'à Erice en 2006 dans le cadre d'un atelier international sur l'estimation probabiliste de l'aléa sismique (« Probabilistic Seismic Hazard Assessment » ou PSHA en anglais), puis au colloque national de l'Association Française du Génie Parasismique (Baumont & Scotti, 2007, référence [8]). Ces travaux confirment l'évaluation publiée par Bakun & Scotti 2006 (référence [9]) pour la magnitude du séisme de Bâle (entre 6,2 et 6,9). L'ensemble de ces évolutions méthodologiques, ainsi que leurs conséquences sur l'estimation de l'aléa sismique ont été présentées à l'ASN et EDF dans le cadre du groupe de travail tripartite EDF/IRSN/ASN piloté par l'ASN (dont les travaux ont débuté 2005). **Ils conduisent aujourd'hui l'IRSN à revoir à la hausse la magnitude du séisme de Bâle, ce qui va dans le sens des valeurs évoquées dans l'étude RESONANCE.** A noter que lors de la réunion du groupe de travail de mars 2008, les évaluations présentées conduisaient à une magnitude de 6,8 et 6,1 respectivement par l'IRSN et EDF.

### 3.3 SELECTION DES SMHV SUR LE CRITERE DE L'INTENSITE

RESONANCE souligne une ambiguïté de rédaction de la RFS 2001-01 concernant la prise en compte du ou des SMHV. La RFS 2001-01 prévoit en effet *la définition « pour le site envisagé, [de] un ou plusieurs Séismes Maximaux Historiquement Vraisemblables qui sont le ou les séismes susceptibles de produire sur le site les effets les plus importants en termes d'intensité macrosismique »*. La même règle indique qu'elle « *se fonde sur la définition des SMHV considérés comme les séismes les plus pénalisants susceptibles de se produire sur une période de durée comparable à la période historique, soit environ 1000 ans* ».

Dans son interprétation de la règle, RESONANCE estime que ce sont les séismes qui génèrent les mouvements sismiques associés aux spectres de réponse les plus élevés qui devraient être sélectionnés. L'IRSN est en accord sur ce point avec RESONANCE. Ce sujet a constitué au cours des dernières années l'un des points majeurs de divergence entre EDF et l'IRSN dans le cadre des travaux menés en vue de la troisième visite décennale de Fessenheim. En effet, EDF ne retient pas de séisme proche dans son évaluation de l'aléa sismique sur le site de Fessenheim : ce type de séisme n'est en effet pas retenu à l'issue de l'étape de sélection effectuée sur la base du critère de l'intensité macrosismique. L'IRSN considère au contraire, que compte tenu de l'incertitude associée à la détermination de l'intensité, les séismes proches participent à la définition de l'aléa sismique. En juin 2003, l'ASN a estimé que la position d'EDF était conforme à la Règle Fondamentale de Sûreté (RFS 2001-01) et donc recevable comme base des études relatives à la 3<sup>ème</sup> visite décennale. L'ASN a

cependant demandé en 2003 à EDF d'estimer l'impact des séismes proches sur les équipements. Enfin, en 2005, l'ASN a repris la discussion, dans le cadre des échanges techniques en vue des visites décennales suivantes (VD3 1300 et VD4 900).

### 3.4 ZONAGE SISMOTECTONIQUE

Le document de RESONANCE critique le zonage retenu par l'IRSN, en considérant qu'il conduit à surestimer la distance au site de Fessenheim après translation du « séisme de Bâle » en limite de zone (30 km selon l'IRSN). Le zonage IRSN considère en effet que le « séisme de Bâle » s'est produit dans une zone « particulière » qui correspond à la conjonction des déformations alpines (Jura) et des déformations liées à l'ouverture du fossé rhénan. Il est à souligner que le zonage IRSN est quasi identique au zonage établi par le BRGM pour les ICPE (même type de démarche de détermination de l'aléa sismique).

RESONANCE apprécie la surestimation de la distance au site en s'appuyant notamment sur ce qui a été considéré dans le cadre de l'étude PEGASOS, étude probabiliste dédiée aux centrales nucléaires suisses tout en reconnaissant que, dans le cadre de cette étude, « *les limites des zones sismotectoniques n'ont [...] pas forcément été définies avec la même précision qui aurait été de mise pour une étude spécifique pour le site de Fessenheim* ». Dans ces conditions, pour l'IRSN, il n'existe pas d'argument permettant, en l'absence d'éléments nouveaux, de modifier de manière significative la distance au site retenue pour le séisme de Bâle considérée par l'IRSN en 2002.

### 3.5. ACTUALISATION DES CONNAISSANCES (2008): PRISE EN COMPTE DES FAILLES BORDIERES DU FOSSE RHENAN

L'IRSN note que les failles situées sur les bordures et à l'intérieur du fossé rhénan sont susceptibles de produire des séismes importants, comparables à ceux retenus dans l'étude PEGASOS. Des études récentes (2003-2007) menées dans le cadre du projet de recherche européen ENTEC (référence [6]) ont abordé cette question. L'étude en cours de publication (Nivière et al., 2007, référence [7]) envisage qu'un certain nombre de failles actives soient relativement proches du site de Fessenheim. Les magnitudes estimées sur cette base par les auteurs sont alors de l'ordre de 6,5 avec des périodes de retour plurimillénaires.

Ces éléments nouveaux relatifs à la paléosismicité, en cours de publication, concernant l'activité sismique potentielle de failles situées dans la région de Fessenheim seront examinés lors d'une prochaine réévaluation de l'aléa sismique pour la centrale EDF.

### 3.6 UTILISATION D'UNE LOI D'ATTENUATION MOYENNE POUR LE SPECTRE DE REPONSE

RESONANCE s'interroge sur la « pertinence de la relation d'atténuation utilisée » dans le cadre de la RFS 2001-01 et conclut sur le fait que « la relation d'atténuation, seule relation reconnue par la RFS2001-01, est acceptable malgré le fait qu'il serait préférable, pour une étude concrète, de se baser sur plusieurs relations. ». L'IRSN rappelle à ce titre que la relation utilisée dans le cadre de la RFS a été développée spécifiquement au cours de la révision de cette RFS et publiée (Berge-Thierry et al., 2003, référence [10]), en considérant les mouvements sismiques et représentatifs du contexte de déformation européen disponibles à l'époque. L'IRSN constate aussi que, depuis la publication de cette relation, plusieurs études ont montré sa pertinence pour prédire les mouvements sismiques observés lors de séismes récents (Scherbaum et al., 2004, référence [11] ; Drouet et al., 2007, référence [12]).

L'une des critiques formulée dans le rapport RESONANCE à l'encontre de la RFS 2001-01 concerne le choix du spectre de réponse au niveau médian, sans tenir compte des incertitudes associées. Les questions relatives à la variabilité intrinsèque du mouvement sismique et à l'incertitude sur le modèle d'atténuation ont été largement présentées par l'IRSN lors des débats concernant la révision de la RFS (la figure 2 du document RESONANCE est extraite, sans la citer, d'une publication de l'IRSN de Berge-Thierry et al. de 2004, référence [13]). Le choix d'utiliser le spectre au niveau médian a été fait par les membres des Groupes Permanents et entériné par la DGSNR. Pour l'IRSN, ce choix ne peut être discuté qu'en tenant compte de l'ensemble de la démarche déterministe de traitement des incertitudes et des marges explicites de la RFS (translation au plus près du site des séismes de référence, passage du SMHV au SMS, spectre forfaitaire minimal) : une telle analyse critique n'est pas présentée dans l'étude de RESONANCE.

### 3.7 SPECTRE MINIMAL FORFAITAIRE DE LA RFS 2001-01

L'IRSN remarque que RESONANCE n'évoque pas la prise en compte d'un spectre minimal forfaitaire tel que recommandé par la RFS 2001-01 à l'issue de l'étude de l'aléa sismique. Cette recommandation constitue une innovation de la RFS 2001-01 conforme aux recommandations actuelles de l'AIEA. Ce spectre de réponse correspond à l'enveloppe simplifiée de deux spectres (associés à un évènement lointain de magnitude 6,5 à environ 40 km, et d'un séisme proche de magnitude 4,5 à 10 km). L'amplitude de ce spectre de réponse (au PGA à 0,1 g) dépend des conditions de sol (rocher ou sédiment). Pour Fessenheim, le spectre minimal forfaitaire majore les spectres de réponse SMS pour les fréquences inférieures à 0,4Hz.

### 3.8. DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES

RESONANCE conclut qu'« il est probable que des marges de réserve existent par rapport au séisme de dimensionnement (aléa sismique) - sous-évalué [...]. En revanche, il reste à déterminer si ces réserves suffisent par rapport à une évaluation plus réaliste de l'aléa sismique pour le site de Fessenheim. » Le



rapport mentionne qu'« *il s'avère dans la plupart des cas, mais pas forcément dans tous les cas, que le dimensionnement élastique est très fortement du côté de la sécurité. La marge de réserve, tout compte fait, peut représenter un facteur 2, voire plus, par rapport au séisme de dimensionnement.* ». Cette notion de « facteur 2 ou plus » apparaît à plusieurs reprises. RESONANCE s'appuie également sur ce qu'elle considère être le retour d'expérience du comportement de la centrale nucléaire japonaise de Kashiwazaki-Kariwa au cours de l'évènement sismique de juillet 2007 pour justifier de l'existence de marges de dimensionnement importantes.

L'IRSN note que le diagnostic physique de l'état post-sismique des structures de la centrale, basé sur un examen visuel, peut donner crédit à cette appréciation. L'IRSN note toutefois que le retour d'expérience relatif à cet évènement n'est pas formalisé et que des discussions sont en cours entre experts internationaux au sein d'un groupe de travail de l'AIEA récemment mis en place et auquel participe l'IRSN. Celui-ci aborde notamment les problématiques de reconnaissance des failles actives et d'estimation de l'aléa sismique dans le cadre de la sûreté des installations nucléaires. A l'issue de ses travaux, le groupe établira des recommandations concernant les méthodes et pratiques disponibles, préventives et correctives, pour caractériser la sûreté des installations électronucléaires existantes à l'égard du séisme. Compte tenu des études et discussions en cours, les enseignements que retient RESONANCE dans son rapport quant aux effets de ce séisme japonais apparaissent du point de vue de l'IRSN trop précoces.

Par ailleurs, l'IRSN note que RESONANCE souligne, à juste titre, qu'une évaluation sérieuse de la capacité résistante des structures aux mouvements sismiques réévalués nécessiterait de comparer le ferrailage en place (résultant des calculs de dimensionnement) au ferrailage requis (résultant d'un calcul de vérification prenant en compte l'aléa sismique réévalué). Ce diagnostic, qui impliquerait de mobiliser des moyens d'études conséquents, ne peut être envisagé que dans le cadre d'un réexamen de sûreté.

## **4. CONCLUSIONS**

Pour l'IRSN, au-delà de ses conclusions, l'étude de RESONANCE, conforte d'une part, la démarche réglementaire qui impose de procéder régulièrement, dans le cadre des visites décennales (VD), à la réévaluation des aléas au regard des progrès scientifiques et techniques, et d'autre part, les positions de l'institut sur certains points techniques concernant la réévaluation de l'aléa sismique pour le site nucléaire de Fessenheim (en particulier celle qui recommande la prise en compte d'un séisme local).

RESONANCE émet des réserves sur la RFS 2001-01, en particulier sur son caractère déterministe, et affiche une nette préférence pour les approches probabilistes, en omettant de mentionner les débats scientifiques et les difficultés associées à ce type d'approche. Ces débats touchent particulièrement le domaine nucléaire, et l'étude PEGASOS, mentionnée par RESONANCE, n'y échappe pas depuis la

diffusion de ses résultats en 2004. Une étude complémentaire à ce projet doit ainsi démarrer prochainement pour traiter les points difficiles relevés au cours de l'étude.

RESONANCE considère que les évaluations de l'aléa sismique effectuées par EDF (et, dans une certaine mesure, par l'IRSN) pour le site de Fessenheim dans le cadre des VD3 900MWe sont sous-estimées. En premier lieu, l'IRSN estime que son évaluation de l'aléa sismique pour le site de Fessenheim discutée dans le cadre des VD3 est conforme aux connaissances et données disponibles à l'époque (2002). Les travaux de recherches de l'IRSN conduisent néanmoins aujourd'hui à réévaluer la magnitude du séisme de Bâle à une valeur comprise entre 6,2 et 6,9. L'IRSN souligne par ailleurs que RESONANCE conclut à la « sous estimation » (par EDF et l'IRSN) de l'aléa sismique à Fessenheim à partir de l'analyse de certaines hypothèses prises en compte dans les évaluations correspondantes. Par contre, le rapport RESONANCE ne propose pas sa propre évaluation dont les résultats permettraient d'apprécier cette éventuelle sous-estimation.

Une grande partie des éléments évoqués dans le rapport de RESONANCE (prise en compte du séisme proche, réévaluation des magnitudes, définition des limites des zones sismotectoniques, incertitudes sur les relations statistiques) sont actuellement analysés en détail dans le cadre d'un groupe de travail (dont les travaux ont débuté fin 2005) piloté par l'ASN auquel participent EDF et l'IRSN. Un des objectifs de ce groupe de travail est, en vue des VD4 900MWe et des VD3 1300MWe, de réexaminer les évaluations de l'aléa sismique à la lumière des évolutions récentes concernant les données de base et les méthodes. En particulier, les participants s'attachent à prendre en compte l'ensemble des incertitudes inhérentes à l'évaluation de l'aléa sismique.

En tout état de cause, un diagnostic sismique visant à évaluer le niveau de sûreté des structures et des équipements à l'égard d'un mouvement de sol réévalué implique de mobiliser des moyens d'études conséquents, ce qui ne peut être envisagé que dans le cadre d'un réexamen de sûreté de l'installation.

## **5 REFERENCES**

- [1] Etude RESONANCE « Centrale Nucléaire de Fessenheim : appréciation du risque sismique », Expertise RÉSONANCE Ingénieurs-Conseils SA, 277/MK/CL, septembre 2007.
- [2] Etude PEGASOS, 2004 (documents accessibles auprès de swissnuclear sur demande).
- [3] Compte rendu DEI/SARG-2007-0480, du 23 novembre 2007, relatif à la réunion organisée par l'AIEA sur le REX des approches probabilistes pour l'évaluation de l'aléa sismique.
- [4] Meghraoui, M., Delouis, B., Ferry, M., Giardini, D., Huggenberger, P., Spottke, I., 2001. Active normal faulting in the Upper Rhine Graben and paleoseismic identification of the 1356 Basel earthquake. *Science* 293, 2070- 2073.
- [5] Meyer, B., Lacassin, R., Brulhet, J., Mouroux, B., 1994. The Basel 1356 earthquake: which fault produced it? *Terra Nova* 6, 54- 63.
- [6] Programme ENTEC - Cloetingh et al. (2006) Environmental Tectonics (ENTEC) Working Group, 2006. *Earth-Science reviews* 74, 127-196.
- [7] Niviere B., Brüstle A., Bertrand G., Carretier S., Behrmann J., Winter T. and Gourry J.C., in Press. "Active tectonics of the southeastern Upper Rhine Graben, Freiburg area (Germany)". Accepted for publication in *Quaternary Science Reviews*, 2007.
- [8] Baumont & Scotti, 2007, « Calibration en Ms et Mw d'une relation d'atténuation en intensité pour l'estimation des caractéristiques des séismes historiques en France Métropolitaine», 7ème Colloque National de l'AFPS, juillet 2007.
- [9] Bakun W.H., & Scotti O., 2006. « Regional intensity attenuation models for France and the estimation of magnitude and location of historical earthquakes” , *Geophysical Journal International*, Volume 164, Issue 3, Pages 596-610.
- [10] Berge-Thierry, F. Cotton, O. Scotti, DA. Pommera and Y. Fukushima, 2003. "New empirical response spectral attenuation laws for moderate European earthquakes”, *Journal of Earthquake Engineering*, Vol 7, No 2, PP. 193-222.
- [11] Scherbaum F., Cotton F., Smit P., 2004. "On the Use of Response Spectral-Reference Data for the Selection and Ranking of Ground-Motion Models for Seismic-Hazard Analysis in Regions of Moderate Seismicity: The Case of Rock Motion”, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 94, No. 6, pp. 2164-2185.
- [12] Drouet, S., Scherbaum, F., Cotton, F. and Souriau, A., 2006. "Selection and ranking of ground-motion models for seismic hazard analysis in the Pyrenees”. *J. Seismol.*, doi 10.1007/s10950-006-9039-6.
- [13] Berge-Thierry C., E. Cushing, O. Scotti et F. Bonilla, 2004. "Determination of the Seismic Input in France for the Nuclear Power Plants Safety: Regulatory Context, Hypothesis and Uncertainties Treatment”, NEA/CSNI/R 22, Tsukuba, Japan.