

# Centrale Nucléaire de Fessenheim : appréciation du risque sismique



## Expertise

**RÉSONANCE Ingénieurs-Conseils SA**

21 rue Jacques Grosselin  
CH - 1227 CAROUGE (Genève)

Tél. +41 22 301 02 53  
Fax +41 22 301 02 70  
E-mail [resonance@resonance.ch](mailto:resonance@resonance.ch)

Carouge, le 5 septembre 2007

277/MK/CL

## Résumé

Le Domaine de Protection de la Santé (Département de la Santé, canton de Bâle-Ville) a mandaté le bureau Résonance Ingénieurs-Conseils SA pour l'élaboration d'une expertise concernant l'aléa sismique dans le fossé rhénan supérieur. Le canton du Jura, par son Département de la Santé, s'est associé à ce mandat. L'objectif principal est de savoir si la sûreté sismique de la centrale nucléaire (CN) française de Fessenheim correspond à l'état actuel de la science et/ou de la technique.

Dix questions ont été posées par le mandant ; celles-ci concernent des aspects sismologiques, se référant à l'aléa sismique, ainsi que des aspects de génie parasismique, concernant la vulnérabilité de la centrale.

L'aléa sismique pris en compte lors du dimensionnement de la CN de Fessenheim semble avoir été sous-évalué à l'époque. 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. La présente expertise détaille point par point les faiblesses de ces réévaluations.

Les questions concernant la résistance sismique des structures clef de la CN de Fessenheim n'ont pas pu être traitées de façon concrète par manque d'informations à disposition. Néanmoins, il est sûr que la centrale a été dimensionnée de façon dite "élastique", ce qui est, en règle générale, très fortement du côté de la sécurité. Les marges de réserve peuvent représenter un facteur 2, voire plus, par rapport au séisme de dimensionnement, c'est-à-dire l'aléa sismique retenu à l'époque. Il reste à déterminer si ces réserves suffisent par rapport à une évaluation plus réaliste de l'aléa sismique.

Il est, à notre avis, impératif de procéder le plus rapidement possible à un contrôle approfondi de la résistance sismique de la CN de Fessenheim, et ceci après avoir procédé à une révision de l'aléa sismique en tenant entièrement compte des connaissances actuelles en la matière.

Carouge, le 5 septembre 2007



Martin KOLLER  
ingénieur en génie parasismique



Corinne LACAVE  
sismologue

## Table des matières

Résumé .....	1
<b>1. Introduction .....</b>	<b>3</b>
1.1 Objectifs .....	3
1.2 Liste de questions .....	3
1.2.1 Questions sismologiques .....	3
1.2.2 Questions de génie parasismique .....	4
1.3 Documents et informations à disposition .....	4
1.3.1 Documents mis à disposition .....	4
1.3.2 Documents publics .....	5
1.3.3 Sources non publiques ou avec accès restreint .....	8
1.4 Qualification des auteurs de l'expertise .....	8
1.5 Terminologie .....	8
1.6 "Philosophie" de base et structure de l'expertise .....	9
1.6.1 Traitement des questions sismologiques .....	9
1.6.2 Traitement des questions de génie parasismique .....	10
<b>2. Aléa régional .....</b>	<b>10</b>
2.1 Méthode française pour la détermination de l'aléa sismique .....	10
2.2 Prise en compte du séisme de Bâle de 1356 .....	11
2.2.1 Etudes françaises .....	12
2.2.2 Etudes allemandes .....	13
2.2.3 Etude suisse .....	13
2.2.4 Etude PEGASOS .....	13
2.2.5 Conclusions .....	15
2.3 Prise en compte d'un séisme local .....	17
2.4 Pertinence de la relation d'atténuation utilisée .....	18
<b>3. Effets de site .....</b>	<b>20</b>
<b>4. Discussion de la RFS2001-01 .....</b>	<b>22</b>
4.1 Problème du séisme "manquant" .....	22
4.2 Problème des caractéristiques incertaines du séisme de référence .....	23
4.3 Problème du zonage sismotectonique .....	23
4.4 Problème de l'intensité maximale au site .....	24
4.5 Problème de la forte variabilité des mouvements du sol .....	24
4.6 Conclusions .....	25
<b>5. Questions de génie parasismique .....</b>	<b>26</b>
5.1 Résistance sismique de la CN .....	26
5.2 L'expérience du séisme Niigataken Chuetsu-oki du 16 juillet 2007 .....	28
5.3 Résistance sismique de la digue du canal latéral du Rhin .....	29
<b>6. Conclusions finales .....</b>	<b>29</b>
<b>7. Glossaire .....</b>	<b>30</b>
<b>Annexe .....</b>	<b>31</b>

## 1. Introduction

Dans le contexte de la loi cantonale sur la protection contre les installations nucléaires, le Domaine de Protection de la Santé (Département de la Santé, canton de Bâle-Ville) a mandaté le bureau Résonance Ingénieurs-Conseils SA pour l'élaboration d'une expertise concernant l'aléa sismique dans le fossé rhénan supérieur. Le canton du Jura, par son Département de la Santé, s'est associé à ce mandat.

### 1.1 Objectifs

L'objectif principal est de savoir si la sûreté sismique de la centrale nucléaire (CN) française de Fessenheim correspond à l'état actuel de la science et/ou de la technique.

Le mandant a formulé une dizaine de questions qui peuvent être classées en deux types :

- des questions sismologiques, se référant à l'aléa sismique,
- des questions de génie parasismique, concernant la vulnérabilité de la centrale.

### 1.2 Liste de questions

#### 1.2.1 Questions sismologiques

1. Dans quelle mesure un séisme de la force de celui de Bâle de 1356 (séisme de référence), avec épicentre dans l'entourage immédiat de la CN de Fessenheim, est-il moins probable qu'ailleurs dans le graben du Rhin supérieur ? Existe-t-il des bases scientifiques justifiant de contraindre l'épicentre d'un tel séisme hypothétique, utilisé pour l'appréciation de l'aléa sismique à Fessenheim, à la zone sismique dans laquelle le séisme de référence est historiquement survenu ?
2. Avec quelle précision est-il possible de définir des frontières entre différentes zones sismiques dans la région du Rhin supérieur ? La répartition en zones sismiques, d'actualité à l'époque de la construction de la CN de Fessenheim, correspond-elle encore à l'état actuel des connaissances ?
3. La force du séisme de référence pour la CN de Fessenheim serait-elle déterminée différemment aujourd'hui qu'à l'époque de la construction de la CN ?
4. Dans quelle mesure les caractéristiques du sol pourraient-elles représenter un risque additionnel ?
5. Quelles expertises techniques et mesures sont nécessaires afin d'apprécier selon l'état actuel de la science l'influence des caractéristiques géologiques locales du sol à Fessenheim (accélération des ondes S et P, spectres en fréquences et amplitudes) ? Dans quelle mesure de telles études ont-elles déjà été menées à bien (par des experts neutres, par l'exploitant) ? Quelles conclusions peuvent-elles être tirées sur la base des connaissances actuelles du sous-sol pour l'appréciation du risque sismique de la CN de Fessenheim et quelles questions n'ont-elles pas encore de réponses satisfaisantes ?

6. Lors de l'appréciation du risque sismique de la CN de Fessenheim par les autorités françaises, les points ci-dessus ont-ils été pris en compte selon l'état de la recherche et de la technique ?

### 1.2.2 Questions de génie parasismique

7. Pour quelles forces de séismes et sur la base de quelles normes les installations de la CN de Fessenheim ont-elles été dimensionnées à l'origine (mise en service en 1977) ? Dans quelle mesure le dimensionnement d'origine de la CN correspond-il encore à l'état actuel de la science et de la technique par rapport au danger sismique ? Quelles sont les différences essentielles entre les connaissances actuelles et celles de 1977 ?
8. Quels risques spécifiques découlent de la construction particulière (type de réacteur dépassé, un seul "containment") de la CN de Fessenheim selon l'état actuel des connaissances ?
9. Quels upgrades par rapport à la sécurité sismique ont été réalisés à Fessenheim depuis sa mise en service en 1977 (documents EDF). Quelles exigences additionnelles par rapport à la sécurité sismique ont été remplies ? Dans quelle mesure le niveau de sécurité actuel de la CN correspond-il à l'état actuel de la science et de la technique, respectivement aux standards de sécurité prévalant actuellement par rapport aux risques sismiques ?
10. Y a-t-il des expertises qui ont étudié, selon l'état actuel des connaissances en la matière, si un séisme pourrait provoquer une rupture de la digue du canal latéral du Rhin (celle-ci devant protéger la CN de Fessenheim des inondations) ?

### 1.3 Documents et informations à disposition

Les principaux documents consultés peuvent être classés en trois catégories :

- documents mis à disposition par le client lors de l'adjudication du mandat pour l'élaboration de l'expertise,
- documents publics (sites web, rapports, articles dans des revues scientifiques, etc.),
- sources d'information additionnelles (rapports non-publiés, réponses écrites à des questions spécifiques formulées par les auteurs de la présente expertise).

Tous les documents listés ci-dessous ont été consultés, mais ne sont pas tous cités explicitement dans le texte de la présente expertise.

#### 1.3.1 Documents mis à disposition

1. BERSSIN, extrait d'un rapport de nom inconnu, chapitre 2.6 concernant la centrale de Fessenheim, 2002 (?)
2. EDF, notes internes, "Réévaluation des séismes par l'IRSN selon la nouvelle Règle Fondamentale de Sûreté (R.F.S.)", 2003 (?)
3. IRSN, dossier d'information intitulé "Sûreté et protection des installations nucléaires : trente ans de recherches à l'IRSN sur les séismes", mars 2003
4. Berge-Thierry C., dossier : la protection contre les risques externes, "Le risque sismique dans la conception des installations nucléaires de base", sept. 2001

5. Cabinet du Préfet, note intitulée "Prise en compte du risque sismique", date inconnue
6. Huggenberger P., géologue cantonal de Bâle-Ville, réponse à des questions du chimiste cantonal concernant les séismes dans le fossé Rhénan supérieur, 7 oct. 2004
7. Meghraoui M. et al., "Active Normal Faulting in the Upper Rhine Graben and Paleoseismic Identification of the 1356 Basel Earthquake", *Science*, vol. 293, 2070-2073, 14 sept. 2001
8. [www.bgr.de](http://www.bgr.de), carte de zones sismotectoniques, 2006
9. EDF (?), fiche technique, "Impact du séisme de Saint-Dié du 22/02/2003 sur le CNPE de Fessenheim", 2003 (?)
10. BRGM, carte macrosismique du séisme du 13 mai 1965
11. Erdbebendienst Baden-Württemberg, carte montrant le séisme de Fessenheim (M = 2.1) du 28 nov. 2006
12. Brom J.-M., Association Trinationale de Protection Nucléaire, "Centrale nucléaire de Fessenheim : la logique de l'arrêt" et "La centrale nucléaire de Fessenheim et le risque sismique", 2004 et 2005
13. INTERREG II, rapport final : "Reconnaissance transfrontalière de l'aquifère profond dans la bande rhénane entre Fessenheim et Breisach", 1999/2001
14. Granet M., note intitulée "Microzonage sismique de la région du sud du Rhin Supérieur" concernant le projet INTERREG III, date inconnue
15. Fäh D. et al., Service Sismologique Suisse et Institut Géologique et Paléontologique de l'université de Bâle "Spektrale Mikrozonierung und Gefährdungsanalyse für Basel-Stadt", rapport du 20.11.2003
16. Häring M.O. et R.J. Hopkirk, "Deep Heat Mining", rapport final, 2003
17. Marty Kälin B., Commissions de l'environnement, de l'aménagement du territoire et de l'énergie CEATE, lettre adressée au Conseil Fédéral M. Leuenberger du 3 oct. 2006, avec réponse du 3 nov. 2006
18. Herrmann A., notes du Laboratoire cantonal Bâle-Ville, 2005
19. Lepage C., expertise juridique concernant la situation de la centrale nucléaire de Fessenheim

### 1.3.2 Documents publics

Seuls les documents consultés les plus importants dans le contexte de la présente expertise sont cités ci-après. Certains documents de la liste ne sont pas explicitement cités dans le texte, mais ont néanmoins influencé l'expertise.

21. Levret A., M. Cushing et G. Peyridieu, "Recherche des caractéristiques de séismes historiques en France", Volume I, Atlas de 140 cartes macrosismiques, IPSN, 1996
22. Blès J.L. et al., "Zonage sismique de la France Métropolitaine pour l'application des règles parasismiques aux installations classées", Documents du BRGM 279, 1998
23. Terrier M. et al., "Zonation of Metropolitan France for the application of earthquake-resistant building regulations to critical facilities. Part 1: Seismotectonic zonation", *Journal of Seismology*, vol. 4, 215-230, 2000

24. Bour M. et al., "Zonation of Metropolitan France for the application of earthquake-resistant building regulations to critical facilities. Part 2: Seismic zonation", *Journal of Seismology*, vol. 4, 231-245, 2000
25. GEO-TER, "Révision du zonage sismique de la France – étude probabiliste", rapport final, juillet 2002
26. Grünthal G., D. Mayer-Rosa et W.A. Lenhardt, "Abschätzung der Erdbebengefährdung für die D-A-CH-Staaten – Deutschland, Österreich, Schweiz", *Bautechnik*, Heft 10, 19-33, vol. 75, oct. 1998
27. Grünthal G. et R. Wahlström, "An  $M_w$  based earthquake catalogue for central, northern and northwestern Europe using a hierarchy of magnitude conversions", *Journal of Seismology*, vol. 7, 507-531, 2003
28. Grünthal G. et al., "New Generation of Probabilistic Seismic Hazard Assessment of Germany" *GeoForschungszentrum Potsdam*, 1<sup>st</sup> ECEES, Genève, sept. 2006
29. Giardini D., S. Wiemer, D. Fäh et N. Deichmann, "Seismic Hazard Assessment of Switzerland, 2004", *Service Sismologique Suisse*, nov. 2004
30. ASN, RFS2001-01, "Règle fondamentale de sûreté n°2001-01 relative à la détermination du risque sismique pour la sûreté des installations nucléaires de base de surface", 2001
31. Berge-Thierry C., E. Cushing, O. Scotti et F. Bonilla, "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, 2004
32. Abrahamson N. "State of the Practice of Seismic Hazard Evaluation". *Proc. GeoENG*. 19-24 Nov 2000
33. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, "Structure hydrogéologique et caractéristiques hydrauliques", *INTERREG III a*, 2006
34. SESAME European Research Project, "Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations Measurements, Processing and Interpretation", [http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/Delivrables/Del-D23-HV\\_User\\_Guidelines.pdf](http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/Delivrables/Del-D23-HV_User_Guidelines.pdf), 2004
35. Ustaszewski K. et S.M. Schmid, "Latest Pliocene to Recent Thick-skinned Tectonics at the Upper Rhine Graben – Jura Mountains Junction", *Swiss Journal of Geosciences*, soumis en 2007
36. Abrahamson, N.A. et W.J. Silva, "Empirical response spectral attenuation relations for shallow crustal earthquakes", *Seism. Res. Lett.* 68, 94-127, 1997.
37. Ambraseys, N.N., K.A. Simpson et J.J. Bommer, "Prediction of horizontal response spectra in Europe", *Earth. Eng. Struct. Dyn.* 25, 371-400, 1996
38. Ambraseys N.N., J. Douglas, S.K. Sarma et P.M. Smit, "Equations for the Estimation of Strong Ground Motions from Shallow Crustal Earthquakes Using Data from Europe and the Middle East: Horizontal Peak Ground Acceleration and Spectral Acceleration", *Bulletin of Earthquake Engineering*, Volume 3, Number 1, pp. 55-73., 2005
39. Berge-Thierry, C., F. Cotton, M. Cushing, D.-A. Griot-Pommeret, J. Joly, A. Levret, et F. Fukushima, "Méthode de détermination des spectres horizontaux et verticaux dans le cadre de la révision de la RFS I.2.c". Rapport IPSN/DPRE/SERGD 00-53, 2000

40. Campbell, W. et Y. Bozorgnia, "Updated near source ground motion relations for horizontal and vertical components of peak ground acceleration, peak ground velocity and pseudo-absolute acceleration response spectra", Bull. Seism. Soc. Am. 93, 314-331, 2003
41. Campbell K.W. et Y. Bozorgnia, "Campbell-Bozorgnia NGA Empirical Ground Motion Model for the Average Horizontal Component of PGA, PGV, PGD and SA at Selected Spectral Periods Ranging from 0.01-10.0 Seconds" (Version 1.1). C-B NGA Report: Dec. 15, 2006.
42. ASN, documents accessibles sur le site <http://www.asn.fr> concernant le risque sismique et/ou Fessenheim, en particulier :  
Note d'information concernant "...l'interprétation et les modalités d'application de la nouvelle règle fondamentale de sûreté relative à la détermination du risque sismique pour les réexamens de sûreté des réacteurs de 900 et 1300 mégawatts" du 2 juin 2003  
Lettre de l'ASN adressée à EDF traitant de la "Détermination des mouvements sismiques à prendre en compte pour la sûreté des installations nucléaires, en application de la RFS 2001-01" du 2 juin 2003  
Lettre de l'ASN adressée à EDF traitant des "Organisations du réexamen de la sûreté des réacteurs de 900 MWe à l'occasion de leurs troisièmes visites décennales" du 9 oct. 2003
43. Loi du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire,  
<http://www.legifrance.gouv.fr/WAspad/UnTexteDeJorf?numjo=DEVX0100081L>,  
ou <http://www.vie-publique.fr/actualite/panorama/texte-vote/loi-du-13-juin-2006-relative-transparence-securite-matiere-nucleaire.html>
44. IRSN, "Séisme de Chinon", [http://www.irsn.org/document/files/File/dossiers/seismes/seisme\\_chinon\\_5\\_11\\_2006.pdf](http://www.irsn.org/document/files/File/dossiers/seismes/seisme_chinon_5_11_2006.pdf), 10 nov. 2006
45. IRSN, "Réexamen de sûreté lors des 3<sup>es</sup> visites décennales des réacteurs de 900 MWe", [http://net-science.irsn.org/net-science/liblocal/docs/docs\\_DIR/RST2005-fr/F4RST05-6.pdf](http://net-science.irsn.org/net-science/liblocal/docs/docs_DIR/RST2005-fr/F4RST05-6.pdf)
46. IAEA-TECDOC-1487, "Advanced nuclear plant design options to cope with external events", International Atomic Energy Agency, février 2006, en particulier Appendix I
47. IAEA Safety Standards Series, "Evaluation of Seismic Hazards for Nuclear Power Plants", Safety Guide n° NS-G-3.3, décembre 2002
48. Info Nucléaire, divers articles contre l'énergie nucléaire en général, entre autres contre la centrale de Fessenheim sur [http://www.dissident-media.org/infonucleaire/news\\_terre.html](http://www.dissident-media.org/infonucleaire/news_terre.html)
49. Info Nucléaire, divers articles traitant de la centrale de Fessenheim sur <http://www.dissident-media.org/infonucleaire/fessenheim2.html>
50. Ministry of Economy, Trade and Industry (METI), documents accessibles sur le site <http://www.meti.go.jp/english> concernant le séisme Niigataken Chuetsu-oki du 16 juillet 2007, survenu au Japon, en particulier  
Results of analysis of earthquake observation data obtained during the Niigataken Chuetsu-oki Earthquake in 2007 at Kashiwazaki-Kariwa Nuclear Power Station, Tokyo Electric Power Company (Part 1)

Consequences of the Niigataken Chuetsu-oki Earthquake in 2007 at Kashiwazaki-Kariwa Nuclear Power Station, Tokyo Electric Power Company (the 1<sup>st</sup> to the 15<sup>th</sup> report)

### 1.3.3 Sources non publiques ou avec accès restreint

Les documents PEGASOS sont accessibles sur demande auprès de swissnuclear. Les documents marqués d'une étoile (\*) se trouvent en annexe.

51. PEGASOS (Probabilistic Seismic Hazard Analysis for Swiss Nuclear Power Plant Sites) : "Seismic Source Characterisation (SP1)", Elicitation Summaries, Final Report, Volume 4, 2004
52. PEGASOS (Probabilistic Seismic Hazard Analysis for Swiss Nuclear Power Plant Sites) : "Ground Motion Characterisation (SP2)", Elicitation Summaries, Final Report, Volume 5, 2004
- 53.\* Réponse du BERSSIN à des questions formulées par les auteurs de la présente expertise
- 54.\* Réponse de l'ASN à des questions formulées par les auteurs de la présente expertise
55. Granet M. et M.-O. Boulanger, "Microzonage de la région sud du Rhin Supérieur", rapport final d'activité, contrat INTERREG III n° 3c.8, 2002 - 2006

## 1.4 Qualification des auteurs de l'expertise

Le mandaté, Résonance Ingénieurs-Conseils SA, Carouge, est un petit cabinet technique spécialisé dans les domaines de la sismologie appliquée et du génie parasismique. Il est actif en premier lieu en Suisse, mais réalise entre 10 et 20 % de son chiffre d'affaires en France. Les références principales peuvent être trouvées sur son site web : [www.resonance.ch](http://www.resonance.ch).

La présente expertise a été élaborée par

- Martin KOLLER, ingénieur spécialisé en génie parasismique, docteur de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Zurich, actuellement président de l'Association Européenne du Génie Parasismique;
- Corinne LACAVE, sismologue, docteur de l'Université Joseph Fourier de Grenoble, membre de la commission d'experts suisse "Plate-forme nationale - Dangers naturels".

Les CV de ces auteurs peuvent être consultés sur le site web de Résonance SA.

## 1.5 Terminologie

Dans ce qui suit, les termes *aléa* sismique, *vulnérabilité* sismique et *risque* sismique seront strictement distingués :

- L'aléa sismique est une mesure de la violence d'un séisme qui est atteinte ou dépassée en un lieu donné – et, en règle générale, pour une probabilité donnée. L'aléa est donc indépendant des bâtiments et installations considérés.
- La vulnérabilité sismique est le degré d'endommagement d'un bâtiment ou d'une installation en fonction de la violence d'un séisme.
- Enfin, le risque sismique est le produit de l'aléa et de la vulnérabilité sismiques.

Un glossaire en fin d'expertise donne la dénomination complète des abréviations des organismes cités.

## 1.6 "Philosophie" de base et structure de l'expertise

### 1.6.1 Traitement des questions sismologiques

Les questions présentées sous le point 1.2.1 visent à comparer l'aléa sismique déterminé à l'époque de la construction de la CN avec l'état actuel des connaissances. En effet, il semble que l'aléa sismique ait été sous-estimé à l'époque, ce qui est le cas pratiquement partout en Europe Centrale. Or, les CN françaises sont périodiquement soumises à des inspections approfondies, dites visites décennales (VD). Dans le cadre de ces VD, l'aléa sismique est également réévalué.

Pour Fessenheim, les études préparant la 3<sup>ème</sup> VD (VD3) sont actuellement en cours. Il semble donc plus intéressant d'examiner si la réévaluation de l'aléa sismique pour la VD3 est conforme à l'état actuel des connaissances. C'est pourquoi la présente expertise est plus orientée vers une appréciation de la réévaluation de l'aléa sismique que de l'évaluation d'origine. Nous nous intéressons particulièrement à la question si la réglementation française actuelle est à la hauteur des connaissances scientifiques de nos jours.

Les questions 1, 2 et 3, citées au chapitre 1.2.1, concernent la détermination de l'aléa sismique "régional" au site considéré, avec prise en compte de la géologie locale par simple classification du type de sol, mais sans étude approfondie de l'influence de la géologie locale sur les mouvements sismiques du sol. Ces questions seront discutées dans le chapitre 2, intitulé "Aléa régional".

Les questions 1, 2 et 3 seront les questions discutées le plus en détail dans la présente expertise, ceci pour deux raisons :

- Les incertitudes des connaissances sont particulièrement grandes dans ce domaine et les jugements d'expert jouent donc un rôle prépondérant. Par conséquent, il apporte peu que nous donnions un avis d'expert de plus, c'est pourquoi l'expertise déploie ici une vue d'ensemble des avis des différentes équipes d'experts qui ont récemment traité de ce problème.
- Une grande partie de l'information nécessaire pour dresser un bilan a pu être trouvée soit dans la littérature publique, soit dans les rapports de PEGASOS non encore formellement publiés, mais mis à disposition par "swissnuclear" pour la présente expertise.

Dans le même contexte, d'autres questions peuvent et doivent être posées afin de pouvoir apprécier si l'aléa régional utilisé pour le dimensionnement ou le contrôle de la CN de Fessenheim est adéquat par rapport aux connaissances actuelles en la matière. Des questions complémentaires aux questions 1, 2 et 3 seront donc soulevées et traitées dans le chapitre 2.

Les questions 4 et 5 adressent l'influence spécifique de la géologie locale sur les mouvements du sol. Le chapitre 3, intitulé "Effets de site", sera consacré à cette thématique.

La question 6 soulève le problème de la pertinence de la méthode française pour la détermination de l'aléa sismique pour un site nucléaire donné par rapport à l'état actuel de la science, sur le plan international. Cette question sera traitée dans le chapitre 4, intitulé "Discussion de la RFS2001-01".

### 1.6.2 Traitement des questions de génie parasismique

Quant aux questions de génie parasismique (questions 7 à 10), il n'a pas été possible d'accéder à des informations spécifiques concernant la CN de Fessenheim. Par conséquent, seule une discussion générale du développement du génie parasismique et de ses conséquences sera possible, présentée dans le chapitre 5.

## 2. Aléa régional

Le présent chapitre discute des questions sismologiques 1, 2 et 3. Cependant, avant d'entrer en matière, il est utile d'expliquer les éléments principaux de la méthode française utilisée pour la détermination de l'aléa sismique pour les centrales nucléaires.

### 2.1 Méthode française pour la détermination de l'aléa sismique

Seuls les éléments principaux de la méthode seront présentés ici, permettant d'apprécier l'importance des points soulevés plus loin ; cette méthode est définie, dans tous les détails, par la "Règle fondamentale de sûreté (RFS) 2001-01" (30). Il s'agit d'une méthode déterministe, par opposition aux méthodes probabilistes qui font référence de nos jours.

Dans un premier temps, la tectonique et la sismicité des alentours d'un site donné sont étudiées. Dans les régions où les taux de déformation de la croûte terrestre sont faibles, comme en Europe centrale, la période de retour des séismes forts est grande. Par conséquent, peu de séismes forts sont historiquement connus, et il est donc souvent difficile d'identifier les failles actives. C'est pourquoi le plus souvent, les alentours d'un site étudié sont subdivisés en zones dites sismotectoniques ayant un potentiel sismogénique homogène. Ensuite, le séisme maximal historiquement connu pour chaque zone est déterminé à partir d'un catalogue de la sismicité historique et, éventuellement, à partir de recherches paléosismiques complémentaires (recherche de traces géologiques ou morphologiques de séismes antérieurs à l'époque historique).

La deuxième étape consiste à définir le "séisme maximal historiquement vraisemblable" ("SMHV") pour chaque zone sismotectonique autour du site. Ceci est fait de la façon suivante : dans le domaine tectonique auquel appartient le site, le séisme maximal historiquement connu est considéré comme pouvant se produire à la verticale du site. Pour les autres zones, le séisme maximal historiquement connu est supposé pouvoir se produire au point de la zone correspondante le plus proche du site. La position des frontières sismotectoniques, en particulier de la zone avec le plus fort SMHV, peut donc être très importante dans le cadre de la méthode décrite.

Dans une troisième étape, le SMHV produisant la plus grande intensité sur le site en question est retenu et majoré d'un degré sur l'échelle d'intensité, ou d'un demi

point en magnitude, afin d'obtenir le séisme de référence, dit "séisme majoré de sécurité" ("SMS"), défini par une magnitude, une distance et une profondeur du foyer.

La quatrième étape consiste à calculer, pour le SMS, les mouvements sismiques au site considéré à partir de relations dites d'atténuation. Il s'agit de corrélations statistiques issues de l'étude d'un grand nombre d'enregistrements sismiques. Ces relations donnent les caractéristiques du mouvement du sol (par exemple les accélérations spectrales) en fonction de la magnitude et la distance d'un séisme ainsi qu'en fonction de la classe de sol (typiquement "rocher", "sol ferme" et "sol mou") au site considéré. De nombreuses relations d'atténuation peuvent être trouvées dans la littérature avec, parfois, des différences considérables entre l'une et l'autre. Toutes ont en commun que la variation des caractéristiques du mouvement du sol est très importante, avec un écart-type (d'une distribution log-normale) correspondant à un facteur de presque 2. La RFS2001-01 définit la méthode de détermination des coefficients de corrélation ; une relation correspondante a été développée par l'IRSN (Berge-Thierry et al., 2000) (39). Selon la publication (31), c'est cette relation et uniquement celle-ci qui est utilisée pour les CN françaises.

Pour la détermination de l'aléa pour un site donné, c'est la relation moyenne qui est utilisée.

Les éléments de la méthode qui influencent le plus le résultat final sont :

- la définition des zones sismotectoniques, et en particulier de leurs frontières, étant donné que le SMS est supposé pouvoir survenir, à l'intérieur de la zone correspondante, au point le plus proche du site concerné,
- l'incertitude de la ou des relations d'atténuation,
- les incertitudes sur la détermination des caractéristiques du SMS (magnitude, profondeur).

## 2.2 Prise en compte du séisme de Bâle de 1356

Du document (1), il peut être conclu que déjà en 2002, suite à la mise en vigueur de la RFS2001-01, EDF ainsi que l'IRSN ont redéfini l'aléa sismique pour de nombreuses CN, et en particulier pour celle de Fessenheim. Il en ressort que le séisme de Bâle de 1356 est déterminant pour l'aléa à Fessenheim (pour l'IRSN uniquement aux basses fréquences, voir discussion au chapitre 2.3). Il est donc primordial de déterminer à quelle distance de la CN est supposée se trouver la limite de la zone sismotectonique qui contient ce séisme (pouvant, selon la RFS2001-01, survenir à n'importe quel point de la zone) et quelle magnitude est attribuée à ce séisme.

Toujours selon le document (1), EDF a situé le SMS correspondant au séisme de Bâle à 34 km au sud de la CN de Fessenheim, avec une magnitude de type non-spécifié de  $M = 6.2$  (probablement  $M_L$ ), et l'IRSN à 29 km au sud, avec une magnitude de 6.0. Ceci signifie que les auteurs de ces études sont sûrs qu'un séisme analogue à celui de Bâle 1356 est obligatoirement associé aux structures géologiques liées à l'interaction du graben rhénan (failles N-S) avec le fossé permio-carbonifère (failles E-W) au sud de Bâle, et ne pourrait donc pas se produire dans les alentours immédiats de Fessenheim. Ce point de vue est comparé ici

avec celui d'autres groupes d'experts qui ont été confrontés plus ou moins à la même question.

Toutes les comparaisons qui suivent concernent des études soit nationales, soit régionales, n'étant pas consacrées à la question spécifique de l'aléa sismique à Fessenheim. Les limites des zones sismotectoniques n'ont donc pas forcément été définies avec la même précision qui aurait été de mise pour une étude spécifique pour le site de Fessenheim. L'étude PEGASOS, par exemple, était consacrée aux sites des CN suisses, et dans ce contexte, la situation géographique exacte de la frontière nord de la zone englobant le séisme de Bâle de 1356 n'a pas eu la même importance qu'elle aurait eu pour une étude concernant Fessenheim. Par conséquent, la distance de cette frontière à la CN de Fessenheim ne peut pas être retenue au kilomètre près. Néanmoins, l'ordre de grandeur est certainement valable - une différence entre une valeur de quelques kilomètres et 30 km de distance à la CN de Fessenheim peut être considérée comme significative.

### 2.2.1 Etudes françaises

#### BRGM 1998

En 1998, le BRGM a publié un zonage sismique de la France Métropolitaine ((22, voir également (23) et (24)) destiné à l'application des règles parasismiques aux installations classées pour la protection de l'environnement. Il s'agissait d'une démarche déterministe basée sur une analyse sismotectonique, conformément à l'arrêté du 10 mai 1993 - et similaire à celle de la RFS2001-01.

Dans cette étude, le séisme de Bâle de 1356 est attribué au "système de structures sismogènes S19", correspondant à la "zone de transition Jura oriental - Fossé rhénan", dont la frontière nord s'étend environ de Montbéliard à Waldshut, passant par Bâle. Par conséquent, la distance minimale entre la frontière nord et la CN de Fessenheim est de l'ordre de 30 km. Le séisme de Bâle est pris en compte avec une magnitude macrosismique de  $M = 6.2$ .

#### GEO-TER 2002

En 2002, GEO-TER a terminé une étude probabiliste de l'aléa sismique en vue de la modification du zonage sismique de la France, datant de 1985, prévue pour la mise en vigueur de la norme Eurocode 8. Cette étude avait été suivie de près par un groupe d'experts ainsi que par l'IRSN. On peut en conclure que les éléments clef de cette étude ont trouvé un certain consensus parmi les experts français.

L'étude probabiliste est basée sur deux modèles de zonage sismotectonique alternatifs pour la Métropole, l'un avec 52 et l'autre avec 25 zones. Le premier rend compte de la complexité des structures, des mécanismes de déformation et de l'activité sismique observée, tandis que le deuxième tient compte plus particulièrement des régimes de déformation à l'échelle régionale et de l'histoire tectonique.

Dans les deux modèles, la zone contenant le séisme de Bâle de 1356 est identique. Elle est similaire à celle de l'étude du BRGM 1998, mais s'étend légèrement plus au nord. La distance entre sa frontière nord et la CN de Fessenheim s'élève à 20 km environ. Le séisme de Bâle est pris en compte avec une magnitude de  $M_L = M_S = 6.2$ , ce qui correspond pratiquement (27) à  $M_w = 6.0$ .

## 2.2.2 Etudes allemandes

### GFZ 2006

Le zonage sismique actuel de l'Allemagne dans la norme DIN 4149 est basé sur un zonage sismotectonique qui a été présenté dans le document (26). Récemment, une nouvelle étude probabiliste, menée par l'équipe du GeoForschungszentrum Potsdam, a été présentée (document (28) de 2006). Elle utilise un zonage tectonique à large échelle sans tenir compte de la sismicité, avec un poids de 15 %, et trois modèles à petite échelle basés sur la distribution spatiale de la sismicité, avec des poids égaux, avec un total de 85 %. Les trois modèles à petites échelles sont

- le modèle de l'étude ancienne de Ahorner et Rosenhauer (1986),
- le zonage de Grünthal et al. du document (26) (1998),
- et un modèle de Grünthal (2004), basé sur une étude néotectonique de Wetzel et Franzke (2004).

Dans le modèle à grande échelle, qui contient une seule zone pour le graben rhénan, le séisme de Bâle de 1356 est attribué à la zone Jura dont la frontière nord se situe au sud de la ville de Bâle, avec une distance à la CN de Fessenheim de l'ordre de 30 à 40 km.

Les trois zonages à petite échelle connaissent une zone spéciale pour la région de Bâle. La frontière nord est située à une distance à la CN de Fessenheim allant de 15 à 20 km (Grünthal, 2004) jusqu'à 25 à 30 km (Grünthal et al., 1998).

La magnitude attribuée au séisme de Bâle de 1356 est de  $M_w = 6.6$ .

## 2.2.3 Etude suisse

### SED 2004

La dernière étude d'aléa sismique de la Suisse a été publiée par le Service Sismologique Suisse (SED) en 2004 (document (29)). Elle est pratiquement identique à celle étant à la base du zonage sismique de la norme suisse SIA 261 de 2003.

L'étude probabiliste a été menée avec deux zonages sismotectoniques, l'un basé principalement sur la sismicité historique, avec 26 zones, et l'autre supposant que la sismicité est liée aux grandes unités tectoniques, avec seulement 12 zones. Les deux zonages contiennent une zone pour la région de Bâle, légèrement plus étendue dans la direction E-W dans le zonage tectonique, mais avec une frontière nord pratiquement identique, à une distance à la CN de Fessenheim entre 10 et 20 km.

Une magnitude  $M_w = 6.9$  est attribuée au séisme de Bâle de 1356. Cette magnitude vient d'être confirmée par une étude historique et archéologique approfondie du SED, actuellement sur le point d'être terminée, après un investissement d'environ quatre années de travail, et qui conclut à une magnitude  $M_w$  entre 6.7 et 7.1 (communication personnelle du SED).

## 2.2.4 Etude PEGASOS

L'étude PEGASOS, menée à bien en Suisse dans les années 2002 à 2004, avait comme objectif la détermination probabiliste de l'aléa sismique des quatre sites nucléaires en Suisse. Trois de ces quatre sites se trouvent dans le nord-ouest de la

Suisse. Une prise en compte réaliste du séisme de Bâle de 1356 a donc eu une certaine importance dans cette étude.

L'étude PEGASOS s'est déroulée selon les règles les plus strictes, dites du niveau 4, selon les directives du SSHAC (Senior Seismic Hazard Assessment Committee, comité consultant le U.S. Nuclear Regulatory Committee). Le budget global était de l'ordre de 10 millions de francs suisses. Tous les paramètres d'input pour les calculs de l'aléa ont dû être déterminés par des experts indépendants. Un total de 21 experts européens ont travaillé dans trois sous-projets : caractérisation de la source (quatre groupes de trois experts), relations d'atténuation (cinq experts) et effets de site (quatre experts). Dans chaque sous-projet, les experts ont partagé et discuté toutes les informations à disposition, l'animation des groupes ayant été assurée par des experts américains reconnus sur la scène internationale. De nombreux experts additionnels ont été invités, au cours de l'étude, pour présenter différents éléments ou points de vue scientifiques.

Il est important de savoir qu'il n'était pas demandé aux 21 experts de donner leurs avis personnels, mais leur vue des connaissances et opinions de la "communauté scientifique informée". En accord avec la philosophie d'une étude strictement probabiliste, les experts ont été rendus attentifs, tout au long de l'étude, au fait qu'il n'était pas permis d'opter pour des paramètres du "côté de la sécurité", mais qu'il fallait toujours donner des "best estimates", avec une estimation de l'incertitude. Les animateurs ont souligné, tout au long de l'étude, qu'il ne fallait pas sous-estimer ni l'incertitude aléatoire (la variabilité inhérente aux processus physiques) ni l'incertitude "épistémique" (liée à la connaissance incomplète ou aux lacunes des modèles théoriques des processus physiques).

Pour la seule définition des caractéristiques des sources, l'aspect qui nous intéresse ici, 2100 jours de travail ont été rémunérés – et d'innombrables jours de travail ont été fournis par les experts au-delà de leur budget, sans paiement. Ce nombre de jours de travail est fort probablement d'un ordre de grandeur plus élevé que les nombres de jours à disposition pour la définition des sources dans n'importe laquelle des études citées ci-dessus. C'est pourquoi nous pensons que la fiabilité des résultats de PEGASOS est plus élevée que celle des autres études.

Quatre groupes de trois experts (GE-1a, GE-1b, GE-1c et GE-1d) ont développé des zonages sismotectoniques, et chaque groupe était libre de proposer plusieurs modèles (51). L'essentiel de ces zonages par rapport au sujet discuté ici sera présentés ci-après.

### **Groupe d'experts 1a**

Le GE-1a a attribué un poids de 30 % à la possibilité que le séisme de Bâle de 1356 soit dû à une réactivation des failles du fossé permo-carbonifère, situé au sud de Bâle, orienté E-W. Dans ce cas, la distance minimale à la CN de Fessenheim serait de plus de 30 km.

Un poids de 70 % a été donné à l'alternative que des failles rhénanes, plus ou moins orientées N-S, soient à l'origine du séisme de 1356. Trois sous-variantes ont été élaborées pour ce cas de figures. Avec un poids de 44 %, la distance minimale entre le bord de la zone dans laquelle un séisme analogue à celui de 1356 peut survenir et la CN nucléaire n'est que de l'ordre de 2 à 5 km. Pour les deux autres variantes, avec un poids total de 26 %, la distance minimale serait d'environ 15 km.

La magnitude  $M_w = 6.9$  pour le séisme de 1356, proposée par le SED, n'a pas été mise en question par ce groupe d'experts.

### Groupe d'experts 1b

Pour le GE-1b, entre la frontière de la zone dans laquelle un séisme analogue à celui de 1356 peut survenir et la CN de Fessenheim, la distance minimale s'élève à 5 à 10 km, avec un poids de 40 %. Un poids de 60 % est attribué à la variante selon laquelle le séisme de Bâle serait obligatoirement lié aux structures tectoniques se trouvant au sud de Bâle, avec une distance à la CN de Fessenheim de 30 à 40 km.

La magnitude  $M_w = 6.9$  pour le séisme de 1356, proposée par le SED, n'a également pas été mise en question par ce groupe d'experts.

### Groupe d'experts 1c

Le GE-1c introduit une zone sismotectonique autour de Bâle qui reste inchangée dans toutes les variantes de son zonage sismotectonique. Cette zone a une sismicité non-uniforme, avec une densité maximale au milieu et une décroissance Gaussienne vers les bords, avec une décroissance d'un écart-type à 10 km du centre.

En prenant comme limite effective de la zone une décroissance de deux écart-type, elle se situerait à environ 10 km de la CN de Fessenheim.

Ce groupe d'experts a considéré, pour la magnitude du séisme de 1356, une valeur  $M_w = 6.5$  à  $6.9$ .

### Groupe d'experts 1d

Le GE-1d a adopté la stratégie de ne découper des zones que si des évidences convaincantes le demandent, invoquant le fait que des fluctuations dans la densité de séismes peuvent être temporelles et peu prévisibles. Ainsi le GE-1d travaille avec des zones sismotectoniques plutôt larges, mais introduit la possibilité d'une inhomogénéité spatiale à l'intérieur des zones. C'est pourquoi une comparaison directe avec un zonage déterministe classique, avec une distribution homogène de la sismicité par zone, n'est que partiellement possible.

Dans leur rapport, les experts du GE-1d indiquent qu'ils croient qu'un séisme de 1356 peut survenir n'importe où dans la zone sismotectonique "sud du graben rhénan". Ils attribuent un poids d'environ un tiers à cette hypothèse. Dans ce cas, un tel séisme pourrait survenir à la verticale de la CN de Fessenheim.

Les autres variantes correspondent à des distances entre un séisme analogue à celui de 1356 et la CN de Fessenheim plus élevées, allant de 20 km jusqu'à plus de 30 km.

Une magnitude  $M_w = 6.5 \pm 0.5$  a été admise pour le séisme de 1356 par ce groupe d'experts.

## 2.2.5 Conclusions

Les réponses aux questions 1,2 et 3, citées au chapitre 1.2.1, peuvent être données comme suit :

Question 1 Dans quelle mesure un séisme de la force de celui de Bâle de 1356 (séisme de référence), avec épïcêtre dans l'entourage immédiat de la CN de Fessenheim, est-il moins probable

qu'ailleurs dans le graben du Rhin supérieur ? Existe-t-il des bases scientifiques justifiant de contraindre l'épicentre d'un tel séisme hypothétique, utilisé pour l'appréciation de l'aléa sismique à Fessenheim, à la zone sismique dans laquelle le séisme de référence est historiquement survenu ?

La plupart des experts sont convaincus qu'un séisme analogue à celui de 1356 est obligatoirement lié à une zone de faiblesse tectonique associée à l'interaction entre le graben du Rhin supérieur et le fossé permo-carbonifère. Certains d'entre eux, en particulier les experts français, en concluent qu'un tel séisme se situe automatiquement au sud de la ville de Bâle, à 30 km au minimum de la CN de Fessenheim. Cependant, de nombreux autres – deux groupes d'experts PEGASOS, les auteurs des études nationales allemandes et suisses les plus récentes – situent la frontière de la zone correspondante plus au nord, principalement entre 10 et 20 km au sud de la CN de Fessenheim.

Deux sur les quatre groupes d'experts de PEGASOS pensent qu'il n'est pas possible d'exclure qu'un séisme analogue à celui de 1356 puisse survenir dans les alentours immédiats ou proches de la CN, attribuant une probabilité de 0.3 à 0.4 pour que cette hypothèse soit correcte.

Il en ressort qu'une distance à la CN de Fessenheim de 34 km, et même de 29 km (études d'EDF et de l'IRSN, respectivement, citées en introduction au chapitre 2.2) se situe du côté optimiste des valeurs évoquées par les différents experts. Par conséquent, les distances de 34 ou 29 km doivent être jugées, dans le contexte d'une démarche sécuritaire déterministe, comme sur-évaluées. Au moins, des recherches tectoniques très poussées seraient nécessaires pour pouvoir – éventuellement – exclure des distances plus faibles.

Question 2 Avec quelle précision est-il possible de définir des frontières entre différentes zones sismiques dans la région du Rhin supérieur ? La répartition en zones sismiques, d'actualité à l'époque de la construction de la CN de Fessenheim, correspond-elle encore à l'état actuel des connaissances ?

L'étude suisse de l'aléa sismique (29) donne une réponse pertinente : "Il n'existe pas de manière idéale et démontrée comme seule correcte d'établir un zonage sismotectonique ; le zonage contient une part inhérente de jugement d'expert. Il est donc important de cerner l'incertitude de tout zonage." La plupart des experts en sismotectonique seraient sans doute d'accord avec cette formulation.

Il semble, en effet, que les études antérieures à 2002 environ avaient tendance à contraindre la possibilité d'un séisme analogue à celui de 1356 à une zone au sud de Bâle, tandis que les auteurs des études plus récentes laissent une marge géographique – soit un peu, soit nettement – plus large pour un tel séisme. Ceci est probablement dû, de façon directe ou indirecte, à la publication de Megrahoui et al. de 2001 (7).

Question 3 La force du séisme de référence pour la CN de Fessenheim serait-elle déterminée différemment aujourd'hui qu'à l'époque de la construction de la CN ?

A l'époque de la construction de la CN de Fessenheim, l'étude d'aléa sismique se faisait en intensité macrosismique, sans définition explicite d'une magnitude correspondante. Il est à noter, cependant, que le séisme de Bâle de 1356 figure depuis longtemps (voir, par exemple, dans (21), datant de 1996) avec une magnitude macrosismique de 6.2 dans les catalogues français, ce qui correspond à une magnitude de moment,  $M_w$ , de 6.0 environ (27). Or, l'actuel catalogue allemand

(27) attribue une magnitude  $M_w = 6.6$  et l'actuel catalogue suisse (29) une magnitude  $M_w = 6.9$  à ce séisme. Une étude du SED approfondie, touchant actuellement à sa fin, confirme essentiellement une valeur proche de  $M_w = 6.9$  (voir 2.2.3).

De nouveau, dans le contexte d'une démarche sécuritaire déterministe, il n'est pas scientifiquement défendable de retenir la valeur la plus optimiste d'une série de valeurs incertaines, et ceci d'autant plus qu'il s'agit avec  $M = 6.2$  d'une valeur significativement plus basse par rapport aux appréciations des experts des autres pays concernés par le séisme de 1356.

### 2.3 Prise en compte d'un séisme local

Il ressort des documents (1), (2) ainsi que (54) que l'IRSN et EDF ne sont pas d'accord sur l'interprétation d'un point important de la RFS2001-01. L'IRSN demande qu'un séisme local soit pris en compte lors de la détermination de l'aléa sismique, sous forme d'un spectre de réponse, pour le contrôle de la CN de Fessenheim. EDF, en revanche, ne tient pas compte d'un tel séisme local.

En étudiant la RFS2001-01, on observe qu'elle stipule dans le chapitre 2, "Énoncé de la règle" :

"... la règle se fonde sur la définition des caractéristiques de 'Séismes Maximaux Historiquement Vraisemblables' (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."

Ensuite, dans le chapitre 2.1 de l'annexe I, il est écrit :

"Cette opération permet de définir, pour le site envisagé, 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."

Or, ces formulations ne sont pas équivalentes (mais l'étaient plus ou moins par rapport aux pratiques des années 60 à 80). En effet, il se peut qu'un séisme lointain, c'est-à-dire éloigné du site considéré, d'une magnitude relativement importante, donne lieu à une intensité macrosismique plus élevée qu'un séisme proche du site et de magnitude modérée, mais que le séisme proche provoque néanmoins des accélérations spectrales plus fortes dans la plage des fréquences élevées, souvent déterminantes pour les équipements. C'est une situation tout-à-fait courante, et c'est exactement celle que l'on rencontre lors de la définition de l'aléa sismique pour la CN de Fessenheim.

Dans l'énoncé de la RFS2001-01, il est question de "*séismes les plus pénalisants*". Or, il est communément reconnu de nos jours que, pour chaque fréquence, c'est le séisme qui provoque les accélérations spectrales les plus élevées (ou les déplacements spectraux associés les plus élevés) qui est le plus pénalisant. Donc, il est possible que, selon la fréquence considérée, ce soit l'un ou l'autre séisme, lointain ou proche, qui soit déterminant. Par conséquent, il est impératif de retenir aussi un séisme local pour la détermination de l'aléa sismique pour la CN de Fessenheim, et ceci d'autant plus que la probabilité d'occurrence d'un tel séisme, de magnitude

modérée, est nettement plus élevée que celle d'un séisme analogue à celui de Bâle de 1356.

EDF ne retient que le séisme de Bâle de 1356 et pas de séisme local comme séisme de référence. En effet, EDF se réfère à la formulation de l'annexe selon laquelle il suffirait de retenir le seul séisme qui provoque la plus grande intensité sur le site considéré. Or, cette formulation est un vestige des années 60 à 80 et n'est pas du tout conforme, selon les connaissances actuelles, à "l'énoncé de la règle". Par conséquent, il faut soit appliquer la RFS2001-01 suivant son "énoncé", soit la modifier d'urgence. En effet, la position d'EDF mène à un spectre, pour les fréquences élevées, qui correspond à une période de retour sensiblement plus courte que mille ans, alors qu'il est courant, sur le plan international, de tenir compte, pour une CN, d'une période de retour de l'ordre de 10'000 ans ou plus (46).

Selon la réponse de l'ASN à nos questions (54), l'ASN ne semble pas encore avoir tranché définitivement la question du séisme local pour Fessenheim. Mais elle énonce néanmoins que la position d'EDF "...est, au plan de la forme, conforme à la RFS2001-01", ce que nous mettons sérieusement en doute. La position d'EDF va, au contraire, à l'encontre de l'énoncé de la règle.

A la lumière de ce qui précède, nous ne pouvons que soutenir la conclusion d'un avis du BERSSIN (IRSN), émis en 2003 et cité dans la réponse de l'ASN à nos questions (54) : "... l'évaluation de l'aléa sismique selon la RFS2001-01 par EDF pour le site de Fessenheim n'est pas acceptable." Nous sommes intimement convaincus que 95 % des ingénieurs-sismologues indépendants seraient d'accord avec cet avis.

Il est intéressant de noter, d'ailleurs, que selon le document (44), un séisme local a été retenu pour la CN de Chinon. Rien ne justifie de ne pas en faire autant pour celle de Fessenheim.

## 2.4 Pertinence de la relation d'atténuation utilisée

Les mouvements sismiques du sol au site considéré se calculent, pour une magnitude et une distance données, à l'aide de relations dites d'atténuation (voir chapitre 2.1). Il s'agit de corrélations statistiques issues de l'étude d'un grand nombre d'enregistrements sismiques. De nombreuses relations d'atténuation peuvent être trouvées dans la littérature avec, parfois, des différences considérables entre l'une et l'autre.

Ici, la question clef qui se pose est de savoir si la relation d'atténuation imposée par la RFS2001-01, Berge-Thierry et al. (2000), est appropriée et correspond à l'état actuel des connaissances.

Les cinq experts européens (dont aucun n'était suisse) du sous-projet II de PEGASOS, "Caractérisation des mouvements du sol", ont étudié la question des relations d'atténuation les plus appropriées pour l'Europe centrale avec un budget cumulé de plusieurs centaines de jours de travail.

Les experts étaient libres de proposer autant de relations d'atténuation qu'ils estimaient "appropriées". Parmi toutes celles-ci, les experts ont attribué un poids plus important aux quatre suivantes :

- Abrahamson et Silva (1997) (36) (3/5 experts)
- Ambraseys et al. (1996) (37) (3/5 experts)
- Berge-Thierry et al. (2000) (39) (3/5 experts)
- Campbell et Bozorgnia (2003) (40) (2/5 experts)

L'un des experts n'a pas attribué de préférences, mais a simplement proposé une liste de relations d'atténuation jugées appropriées ; les quatre relations mentionnées ci-dessus ont toutes été, parmi d'autres, sur sa liste.

Les relations (37) et (40) ont entre-temps été mises à jour, par principalement les mêmes auteurs : Ambraseys et al. (2005) (38) et Campbell et Bozorgnia (2006) (41). La figure 1 montre une comparaison entre les spectres de réponse issus de ces quatre relations dans leurs versions les plus récentes pour un séisme de magnitude  $M_w = 6.7$  et une distance de 30 km.

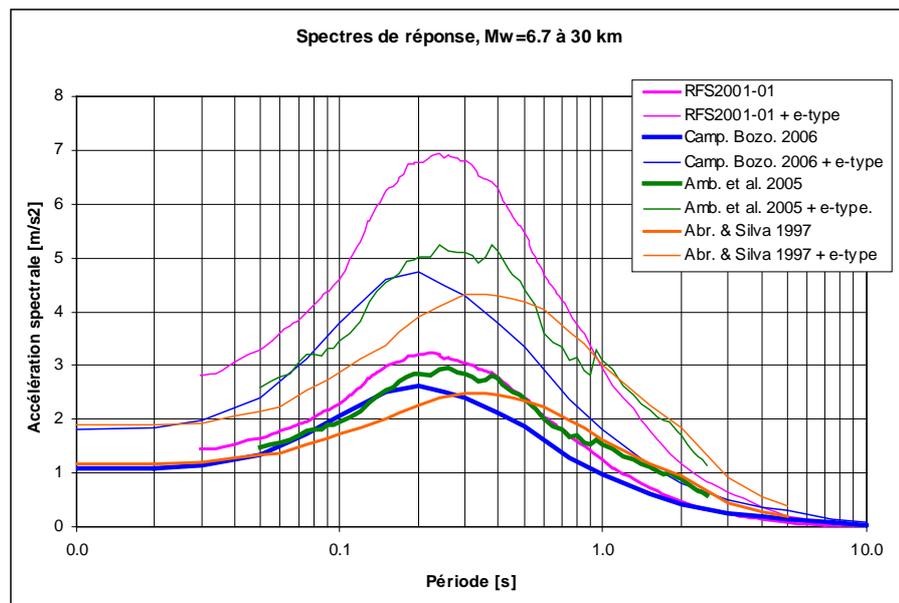


Figure 1 : Comparaison des spectres de réponse issus des quatre relations d'atténuation auxquelles les experts de PEGASOS ont attribué un poids important, pour un séisme de magnitude  $M_w = 6.7$  à 30 km de distance : moyennes (traits gras) et moyennes plus écart-type (traits fins) des relations d'atténuation.

Tout d'abord, on peut constater que le spectre issu de la relation RFS2001-01 (39) se situe aux "alentours" des spectres des autres relations. Néanmoins, des différences notables peuvent être observées, atteignant un facteur 2 pour les périodes supérieures à 2 s. D'où l'intérêt d'utiliser, pour une étude concrète, plusieurs relations d'atténuation.

Cependant, les différences évoquées entre les différentes relations d'atténuation restent relativement modestes par rapport à l'écart-type. Ainsi se pose la question de savoir s'il suffit de retenir la moyenne des mouvements du sol ou si la moyenne plus un écart-type serait plus appropriée (voir discussion au chapitre 4.5).

En conséquence, la relation d'atténuation (39), 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.

### 3. Effets de site

L'influence de la géologie locale sur les mouvements sismiques, dite "effet de site", peut être dramatique. L'exemple probablement le plus extrême de ces dernières décennies est celui de Mexico City lors du séisme de Michoacan en 1985 : les mouvements du sol ont été amplifiés, par rapport à un site rocheux, d'un facteur 10 ou plus à certaines fréquences à cause d'un dépôt lacustre d'argile de 30 à 50 m d'épaisseur.

Les causes principales d'amplifications dues à des effets de site sont

- des couches de sol meuble étendues, relativement "molles", reposant sur un substratum nettement plus dur ; plus la différence de dureté est prononcée – scientifiquement, on parle de saut d'impédance – plus les amplifications des mouvements sismiques à la surface risquent d'être prononcées,
- la géométrie encaissée de certains de ces remplissages plus ou moins "mous" en forme de vallée ou bassin, typiquement avec un rapport largeur sur profondeur maximale inférieur à 10, éventuellement 20,
- la topographie, si celle-ci est particulièrement prononcée : les mouvements sont amplifiés sur les pics, les crêtes ou au bord de falaises.

La première de ces causes est de loin la plus répandue et donc la plus importante.

L'influence, au moins de la première cause d'effets de site, est incluse, au sens d'une moyenne statistique, dans les relations d'atténuation valables pour des sites de la catégorie "sol", par opposition aux relations valables pour des sites rocheux. En principe, plus le sol est mou, plus les amplifications deviennent importantes, et donc plus il devient problématique de ne s'appuyer que sur des moyennes statistiques. C'est pourquoi la RFS2001-01 stipule que les effets de site doivent être étudiés de façon explicite, en tenant compte de la géologie locale spécifique au site considéré, dès que la vitesse moyenne des ondes S sur les premiers 30 m de profondeur est inférieure à 300 m/s.

En effet, l'expérience montre qu'une étude de site spécifique donne, en règle générale, des résultats qui ne sont pas trop différents des résultats de la seule application d'une relation d'atténuation valable pour la catégorie "sol" tant que la vitesse des ondes S est supérieure à 300 m/s et tant qu'il ne s'agit pas de vallée encaissée ni de situation topographique particulière. Néanmoins, il est intéressant à noter qu'en Suisse, des études de site spécifiques ont été menées à bien pour toutes les CN, depuis les années 1970 déjà, malgré des vitesses des ondes S sur les premiers 30 m supérieures à 300 m/s. L'approche suisse est donc plus prudente et plus élaborée que celle de la RFS2001-01.

La RFS2001-01 demande également des études d'effets de site spécifiques dans le cas d'effets de site "particuliers" :

"Dans certains cas particuliers, la géométrie complexe des couches sédimentaires (présence d'une topographie ou d'une cuvette sédimentaire) ou leur grande épaisseur peut conduire à une amplification ou à un allongement de la durée du mouvement sismique. ... Dans ces cas d'effets de site particuliers ..., des études spécifiques seront nécessaires..."

Le sol au droit de la CN de Fessenheim est composé, jusqu'à une profondeur de 50 m environ, d'un gravier sableux, avec des niveaux de galets et de blocs, appartenant à la formation dite de Neuenburg (33). Nous estimons que la vitesse moyenne des ondes S sur les 30 premiers mètres de profondeur est clairement supérieure à 300 m/s. De plus, il ne s'agit pas d'une situation de vallée encaissée, ni d'une topographie donnant lieu à des effets dits topographiques. Par conséquent, selon la RFS2001-01, il est acceptable de tenir compte des effets de site de façon simplifiée, à savoir en appliquant une simple relation d'atténuation pour la catégorie "sol".

Dans le cadre du projet INTERREG III, "Microzonage de la région sud du Rhin Supérieur" (55), des mesures de vibrations ambiantes ont été réalisées en trois points autour de la CN de Fessenheim afin de déterminer la fréquence fondamentale du site. Les pics dans les diagrammes dits H/V ayant servi à déterminer les fréquences fondamentales ne sont pas suffisamment clairs selon les guidelines pertinentes en la matière (34) pour permettre une détermination sans équivoque de ces fréquences. (Ces guidelines ont été publiées après l'exécution des mesures en question, mais avant la rédaction du rapport final cité.) En effet, les fréquences de 0.12 et 0.15 Hz, déduites de ces pics, sont étonnamment basses par rapport aux caractéristiques du site (rocher à environ 150 m de profondeur, mais rocher éventuellement très "mou", ce qui pourrait expliquer le résultat). Cependant, le rapport final (55) ne contient pas les détails nécessaires pour une appréciation plus approfondie des résultats.

A partir des amplitudes des pics des diagrammes H/V, les auteurs du rapport (55) concluent que les facteurs d'amplification des ondes sismiques – par rapport à un site rocheux – avoisinent 10, ce qui serait plutôt inquiétant. Or, cette conclusion est hâtive pour deux raisons. Premièrement, ces pics à très basses fréquences sont au moins douteux (et seraient plutôt dus au vent s'il y a eu du vent lors des mesures), et deuxièmement, comme de nombreuses publications scientifiques le montrent clairement (voir, par exemple (34)), l'amplitude des pics ne peut pas être interprétée comme amplification des ondes sismiques. Néanmoins, nous sommes d'accord avec les auteurs dans la mesure où ces amplitudes élevées *pourraient* être un indicateur d'un potentiel d'amplification important.

Question 4 Dans quelle mesure les caractéristiques du sol pourraient-elles représenter un risque additionnel ?

Nous ne pensons pas que le site de la CN de Fessenheim soit caractérisé par une géologie locale donnant lieu à un "risque additionnel", c'est-à-dire à des amplifications des ondes sismiques sortant de ce qui est courant. La procédure simplifiée proposée par la RFS2001-01 pour tenir compte des effets de site pour la catégorie "sol" serait donc appropriée. Cependant, si l'interprétation des mesures présentées dans (55) est correcte, ce qui demande à être vérifié, le site pourrait tout de même être susceptible de subir de fortes amplifications des ondes

sismiques. Le rapport (55) devrait donc inciter EDF à approfondir l'étude, par principe de précaution.

Question 5 Quelles expertises techniques et mesures sont nécessaires afin d'apprécier selon l'état actuel de la science l'influence des caractéristiques géologiques locales du sol à Fessenheim (accélération des ondes S et P, spectres en fréquences et amplitudes) ? Dans quelle mesure de telles études ont-elles déjà été menées à bien (par des experts neutres, par l'exploitant) ? Quelles conclusions peuvent être tirées sur la base des connaissances actuelles du sous-sol pour l'appréciation du risque sismique de la CN de Fessenheim et quelles questions n'ont pas encore de réponses satisfaisantes ?

Une étude de site, également appelée étude de microzonage, avec mesures des vitesses des ondes S sur le site (mesures SASW, et/ou mesures dans un forage) et une modélisation numérique adéquate, correspondrait à l'état de l'art. Une telle étude n'a pas été menée à bien, à notre connaissance, pour le site de la CN de Fessenheim, l'étude (55), malgré son nom, n'étant qu'un très petit pas dans cette direction. Les conclusions qui peuvent être tirées, à présent, correspondent à la réponse à la question 4.

## 4. Discussion de la RFS2001-01

La RFS2001-01 a été édictée en 2001. Elle représente une modernisation indéniable par rapport à sa version précédente, l'ancienne RFS1.2.c, datant de 1981. Mais la philosophie de base est restée la même. Il s'agit d'une méthode déterministe qui s'appuie en premier lieu sur la sismicité historique (voir chapitre 2.1).

Nous identifierons, dans ce qui suit, quatre, voire (selon l'interprétation) cinq faiblesses sérieuses de la RFS2001-01. Mais notre critique n'a rien d'original ; la plupart des points soulevés ici figurent déjà dans le document (31) de l'IRSN.

### 4.1 Problème du séisme "manquant"

Sous le titre "Définition et principes de détermination des caractéristiques des séismes représentatifs de la sismicité du site", la RFS2001-01 indique : "La démarche de base consiste à supposer que des séismes analogues aux séismes historiquement connus sont susceptibles de se produire dans l'avenir avec une position d'épicentre qui soit la plus pénalisante quant à ses effets (en termes d'intensités) sur le site, ..." En effet, le séisme de référence – que ce soit le SMHV ou sa version majorée d'une demie magnitude, le SMS (voir chapitre 2.1) – se base directement sur le séisme le plus fort historiquement connu dans les alentours du site. Mais "historiquement connu" signifie qu'il a dû survenir suffisamment proche d'un site peuplé pendant la période des récits historiques plus ou moins fiables, soit au grand maximum pendant les mille dernières années. Or, en Europe centrale, la période de retour des séismes les plus forts dépasse typiquement les mille ans, pouvant atteindre jusqu'à 10'000 ans ou plus. Par conséquent, c'est un pur hasard si un tel séisme fort a eu lieu pendant les mille dernières années aux alentours du site considéré. Il s'agit là, à notre avis, de la première faiblesse de la RFS2001-01.

Pour compenser la période d'observation trop courte – de mille ans environ – la RFS2001-01 demande que soient pris en compte les paléoséismes, à savoir les séismes plus anciens pour lesquels nous ne disposons pas de récits historiques, mais

qui ont laissé des traces dans le paysage – des décalages de marqueurs géologiques – dues à une rupture de surface. Or, de nombreux séismes forts ne produisent pas de rupture de surface et ne laissent donc pas de traces à la surface : la méthode de la RFS2001-01 ne peut forcément pas tenir compte de ces séismes.

Le fait que la période d'observation des séismes soit trop courte représente bien évidemment un problème sérieux pour toute méthode de détermination de l'aléa sismique. Seulement, le problème d'un séisme "manquant" (séisme qui a eu lieu, mais dont on ne dispose ni de récits ni de traces géologiques) se répercute directement sur le résultat d'une étude déterministe, tandis que son influence est atténuée dans le cadre d'une étude probabiliste. En effet, dans une étude probabiliste, la probabilité d'occurrence d'un séisme plus fort que les séismes connus est extrapolée à partir de la fréquence d'occurrence des séismes connus à l'aide d'une loi empirique de Gutenberg et Richter (32), souvent modifiée pour tenir compte de la magnitude maximale physiquement plausible.

#### 4.2 Problème des caractéristiques incertaines du séisme de référence

La détermination des caractéristiques du séisme connu qui contraint le SMHV est pourvue d'incertitudes importantes, en particulier s'il s'agit d'un séisme historique pour lequel il n'y a pas d'enregistrement instrumental. Les paramètres les plus sensibles sont la magnitude et la profondeur du foyer. Un exemple flagrant est la détermination de la magnitude d'un séisme aussi bien étudié que celui de Bâle de 1356 (voir chapitre 2.2) !

Les erreurs dans la détermination des caractéristiques du séisme de référence se répercutent directement sur l'aléa déterminé selon la RFS2001-01. En revanche, une étude probabiliste s'appuie sur tous les séismes connus, et par conséquent, les erreurs dans la détermination des caractéristiques de ces séismes ont tendance à se compenser tant qu'il ne s'agit pas d'erreurs systématiques (comme, par exemple, une sur-évaluation systématique de la magnitude de tous les séismes historiques). Mais, bien évidemment, l'étude probabiliste demande plus d'efforts du fait qu'il est nécessaire d'étudier tous les séismes connus et non pas le seul séisme le plus fort dans les alentours du site considéré.

L'augmentation de la magnitude du SMHV d'un demi degré afin d'obtenir le SMS est présentée, à juste titre, comme couvrant l'incertitude évoquée ici. Le chapitre 2.1 de l'annexe I de la RFS2001-01 stipule : "Afin de tenir compte des incertitudes inhérentes à la détermination des caractéristiques des SMHV, une marge de sécurité est forfaitairement fixée..." Or, ceci signifie que la période de retour du séisme pris en compte peut être, selon le cas concret, de l'ordre de mille ans uniquement, tandis qu'il est assez courant, sur le plan international, de dimensionner les CN nucléaires à un séisme avec une période de retour d'au moins 10'000 ans (46) !

#### 4.3 Problème du zonage sismotectonique

Comme il ressort très clairement du chapitre 2.2, le zonage sismotectonique n'est pas une science exacte, mais dépend fortement de jugements d'experts. Or, le choix d'une hypothèse, parmi plusieurs qui semblent possibles, se répercute directement sur l'aléa sismique déterminé selon la RFS2001-01, et la différence dans

l'aléa résultant peut être dramatique. Dans le cadre d'une étude probabiliste, en revanche, il est possible de tenir compte de plusieurs hypothèses incertaines, avec des poids différents. Ainsi, le résultat est nettement moins dépendant du zonage. En effet, des études de sensibilité ont montré dans le cadre d'études probabilistes (PEGASOS, GEO-TER (25), etc.) que l'influence du zonage sismotectonique reste étonnamment modérée.

#### 4.4 Problème de l'intensité maximale au site

Le fait que la RFS2001-01 stipule, dans son annexe 1, que doit être retenu le séisme qui provoque l'intensité la plus forte sur le site considéré, et non pas les accélérations spectrales les plus fortes, est un vestige datant des années 60 à 80, et, selon son interprétation, contraire à tout bon sens. Le lecteur est renvoyé, pour la discussion de ce point, au chapitre 2.3.

#### 4.5 Problème de la forte variabilité des mouvements du sol

Les mouvements sismiques du sol, pour une magnitude et une distance données, connaissent une très forte variabilité intrinsèque. La complexité de la rupture et l'importance de la chute de contrainte sur la faille, la radiation sismique inégale dans différentes directions, l'hétérogénéité de la croûte terrestre, l'influence de la géologie locale au site considéré, ainsi que bien d'autres éléments encore, influencent tous fortement les mouvements du sol.

La figure 2, tirée du document (31), illustre bien ce que signifie cette variabilité. Même en tenant compte de la moyenne plus écart-type dans un pronostic, il y aura toujours des accélérations dépassant ce pronostic. Dans une étude probabiliste, il est possible de tenir entièrement compte d'une telle variabilité.

En effet, dans le cadre d'une étude probabiliste pour une région à sismicité modérée, il est classique de pouvoir observer la situation suivante : la probabilité d'un mouvement exceptionnellement fort (avec, par conséquent, une probabilité d'occurrence très faible) est en premier lieu donnée par la possibilité d'avoir un séisme d'une magnitude modérée, associé à un mouvement du sol exceptionnellement fort (par exemple, la moyenne plus deux écart-type), et beaucoup moins par le scénario d'une magnitude exceptionnellement forte, avec un mouvement du sol statistiquement moyen pour cette magnitude (32).

La variabilité des mouvements du sol est tellement prononcée qu'il est inacceptable de retenir uniquement, dans le cadre d'une démarche sécuritaire déterministe, la valeur moyenne d'une seule relation statistique pour la détermination des mouvements du sol.

Premièrement, l'usage courant est, sur le plan international, d'utiliser plusieurs relations d'atténuation, et non pas une seule. Néanmoins, la relation d'atténuation imposée par la RFS2001-01 peut être qualifiée comme appropriée pour l'Europe centrale.

Deuxièmement, et ceci est plus important, la prise en compte de la moyenne plus un écart-type, comme pratiqué dans plusieurs pays selon (47), nous semblerait nettement plus appropriée. Même dans ce cas, il serait toujours impossible d'exclure que des mouvements plus forts que pronostiqués ne puissent se produire.

Mais la probabilité associée serait nettement plus faible, et l'expérience montre que les réserves cachées dues à un dimensionnement déterministe classique des structures peuvent, en règle générale, compenser ce dépassement du mouvement du sol pronostiqué (voir discussion au chapitre 5).

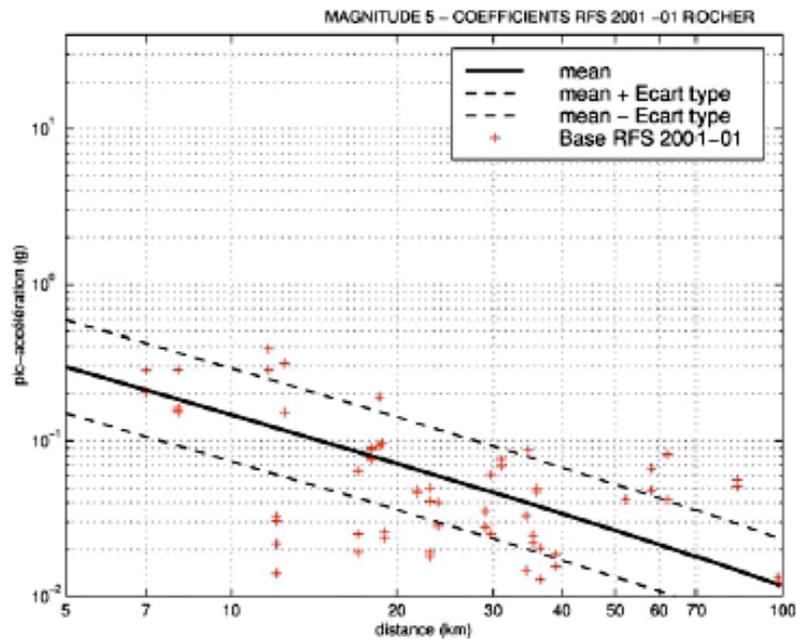


Figure 2 : Valeurs d'accélération maximales de la base de données de la RFS2001-01 en comparaison avec un pronostic par cette même RFS2001-01, pour un séisme de magnitude 5 (accélération maximale du sol en fonction de la distance du séisme au site considéré).

Il reste à ajouter que dans beaucoup d'études d'aléa sismique probabilistes du passé, la variabilité des mouvements du sol n'a pas, ou pas correctement, été prise en compte. Ceci a mené systématiquement à des valeurs moyennes d'aléa sismique trop faible (32).

## 4.6 Conclusions

Nous essayons de donner ici une réponse à la sixième question :

Question 6 Lors de l'appréciation du risque sismique de la CN de Fessenheim par les autorités françaises, les points ci-dessus ont-ils été pris en compte selon l'état de la recherche et de la technique ?

Malgré le fait que l'ASN entretient un site web relativement détaillé ([www.asn.fr](http://www.asn.fr)), il n'est pas facile de se faire une image claire des décisions prises concernant la résistance des centrales aux séismes. Un exemple est la question de la prise en compte d'un séisme local (voir discussion dans le chapitre 2.3), qui ressort en tant que problème à résoudre d'un document publié sur le site (42), mais dont l'issue ne peut pas être trouvée sur le site.

De la discussion de la RFS2001-01, cependant, il peut être conclu que l'appréciation du risque sismique de la CN de Fessenheim, en ce qui concerne l'aléa sismique, n'est pas vraiment à la hauteur des connaissances et des pratiques actuelles. Le problème principal est que la philosophie de base de la RFS2001-01 reste profondément ancrée dans l'état des connaissances des années 70 ou au mieux du début des années 80, malgré la modernisation indéniable apportée, dans certains points, par rapport à sa version précédente.

Malgré la critique énoncée ici, il est à souligner que l'Agence Internationale de l'Énergie Nucléaire ne rejette pas formellement les méthodes déterministes comme celle de la RFS2001-01. Cependant, elle recommande fortement l'utilisation des méthodes probabilistes (31, 47). En effet, 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.

Le "défaut" le plus important de la RFS2001-01 en terme d'aléa est le fait que la relation d'atténuation moyenne soit utilisée pour la détermination des mouvements sismiques au site considéré. Ceci signifie que, si le SMS survient, la probabilité conditionnelle que le mouvement du sol soit plus élevé est de l'ordre de 50 %, et qu'il y a une probabilité conditionnelle de l'ordre de 15 % que ce mouvement soit au moins deux fois plus élevé que le mouvement de référence déterminé avec la relation d'atténuation moyenne ! Dans les années 70, voir 80, la communauté des sismologues n'était pas encore entièrement consciente de la portée de cette problématique, et la communauté des ingénieurs en génie parasismique encore moins.

Pour ce qui est de la prise en compte adéquate des effets de site, la RFS2001-01 est, en revanche, plutôt à la hauteur des connaissances actuelles (voir également chapitre 3).

## 5. Questions de génie parasismique

Les questions concernant la résistance sismique des structures clef de la CN de Fessenheim n'ont pas pu être traitées de façon concrète par manque d'informations à disposition. En effet, il aurait fallu obtenir accès aux rapports de sûreté ainsi qu'aux plans de l'époque de la construction et les étudier dans le détail. Il a été jugé peu probable de pouvoir accéder facilement à ces documents, donc aucune démarche dans cette direction n'a été entreprise. De plus, une étude détaillée de ces documents aurait probablement dépassé le cadre financier de la présente expertise.

En revanche, il est possible d'esquisser les principes du dimensionnement sismique de l'époque et des contrôles sismiques actuels dans le milieu du nucléaire. Sur la base de telles remarques générales, il sera possible d'indiquer certaines tendances pour les réponses aux questions posées.

### 5.1 Résistance sismique de la CN

Des documents (1), (2) et (9), il peut être conclut que la CN de Fessenheim a été dimensionnée, à l'époque, pour un séisme avec une accélération nominale du sol

de 0.2 g et une forme du spectre de dimensionnement tout-à-fait "raisonnable" (c'est-à-dire similaire à ce que l'on utiliserait de nos jours). A titre de comparaison, le niveau de dimensionnement de la CN de Fessenheim correspond pratiquement à ce qui serait pris en compte, de nos jours, pour le dimensionnement d'un hôpital ou d'une caserne de pompiers à Bâle selon les normes SIA actuellement en vigueur.

Dans les années 70, les années de la construction de la CN de Fessenheim, il était habituel de faire un dimensionnement dit "élastique", en s'assurant que l'on ne dépasse pas les seuils de contraintes dites "admissibles". Cette philosophie était courante dans tous les domaines du génie civil jusqu'aux années 70. Depuis, on a commencé à tenir compte, de plus en plus, des réserves inhérentes d'un tel dimensionnement. En effet, l'incursion des matériaux dans le domaine post-élastique, dit "plastique", ne signifie pas, dans la plupart des cas, que la structure s'effondre ; la structure peut mobiliser des réserves de résistance dans le domaine plastique. Cependant, ces réserves inhérentes peuvent être faibles ou au contraire très importantes, selon la situation concrète.

Tenir compte, de façon explicite, de ces réserves plastiques est devenu courant dans le génie civil "conventionnel", mais pas dans le milieu du nucléaire, au moins pas pour les structures les plus importantes du point de vue de la sécurité.

Dans le domaine sismique, il ne s'agit pas seulement de la réserve de résistance due à la plastification par rapport à un dimensionnement purement élastique. L'incursion dans le domaine plastique peut, de plus, avoir un effet bénéfique du côté de la sollicitation ; en effet, la plastification peut mener à une réduction sensible des efforts sismiques effectifs. Tenir compte de la plastification de la structure lors d'une évaluation du comportement sismique représente donc souvent un double avantage. Par conséquent, 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.

Sur le plan international, il est devenu courant, dans les milieux du nucléaire, de quantifier ces réserves dans le cadre d'études de risque probabilistes, dites "PSA" ("Probabilistic Safety Assessment"). Il semble être courant que des probabilités non-négligeables d'endommagement significatif des CN ne sont atteintes que pour un niveau d'accélération sismiques nettement plus élevé - d'un facteur 2 ou plus - que celui retenu lors du dimensionnement élastique.

Dans les notes internes d'EDF (2), datant probablement du début 2003, il est question d'énormes coûts de renforcements qui seraient provoqués si un séisme de dimensionnement avec une accélération maximale de 0.28 g était retenu, comme cela était proposé, fin 2002, par l'IRSN. En effet, un coût de 200 M Euros par tranche a été évoqué, dans ce même document, pour Fessenheim.

Si le contrôle doit se faire toujours selon la philosophie du dimensionnement élastique, il est en effet plausible que des renforcements importants deviennent nécessaires. Cependant, tout laisse à penser qu'un contrôle plus réaliste, avec la prise en compte de plastifications, permettrait de mettre en évidence une sécurité suffisante - au moins pour un séisme tel que proposé par l'IRSN en 2002, toujours sous-évalué selon nos arguments présentés dans cette expertise. Mais il est probable que l'ASN, comme d'autres autorités de sûreté nucléaire dans d'autres pays,

n'accepterait pas encore de procéder à de telles vérifications de la résistance sismique étant donné le conservatisme prévalant – que l'on peut appeler prudence – dans le milieu des autorités de sûreté nucléaire.

Il est à espérer que des projets de recherche ou de validation du type, par exemple, du projet "SMART-2008", lancé par EDF et le CEA, contribueront à établir, dans le futur, des vérifications plus réalistes des marges de sécurité des CN.

Sur la base de ces réflexions générales, nous essayons de donner ici une première esquisse de réponses aux questions 7, 8 et 9 :

Question 7 Pour quelles forces de séismes et sur la base de quelles normes les installations de la CN de Fessenheim ont-elles été dimensionnées à l'origine (mise en service en 1977) ? Dans quelle mesure le dimensionnement d'origine de la CN correspond-il encore à l'état actuel de la science et la technique par rapport au danger sismique ? De combien se différencient les connaissances actuelles de celles de 1977 ?

Il faut faire une différence entre, d'une part, l'aléa sismique, c'est-à-dire le séisme de dimensionnement, à notre avis clairement sous-évalué à l'époque (et encore aujourd'hui), et, d'autre part, le dimensionnement de la CN par rapport à ce séisme. Ce dimensionnement a été fait avec des marges de sécurité implicites probablement très importantes. Actuellement, on dimensionnerait, dans le milieu du nucléaire, avec un peu moins de marges de réserve par rapport à un séisme de dimensionnement donné, mais toujours avec des marges considérables. Le meilleur état des connaissances de nos jours permettrait, en principe, d'aller plus "aux limites", mais ce potentiel n'est que très partiellement exploité jusqu'à présent (ce qui est en faveur de la sécurité).

Question 8 Quels risques spécifiques découlent de la construction particulière (type de réacteur dépassé, un seul "containment") de la CN de Fessenheim selon l'état actuel des connaissances ?

Cette question va bien au-delà de la seule question de la sûreté sismique. Les auteurs de la présente expertise ne se considèrent pas compétents pour répondre à cette question.

Question 9 Quels upgrades par rapport à la sécurité sismique ont-ils été réalisés à Fessenheim depuis sa mise en service en 1977 (documents EDF). Quelles exigences additionnelles par rapport à la sécurité sismique ont-elles été remplies ? Dans quelle mesure le niveau de sécurité actuel de la CN correspond-il à l'état actuel de la science et de la technique, respectivement aux standards de sécurité actuellement courants par rapport aux risques sismiques ?

Par manque d'information, nous ne pouvons pas répondre aux deux premières questions posées ici. Quant à la troisième, il est clair que si la CN était à reconstruire aujourd'hui, elle devrait être dimensionnée pour un séisme sensiblement plus fort par rapport au séisme de dimensionnement de l'époque. Néanmoins, ceci ne signifie pas forcément que la sûreté sismique de la CN actuelle est réellement insuffisante. Seul un contrôle sismique approfondi des bâtiments et installations permettrait de répondre à ce point.

## 5.2 L'expérience du séisme Niigataken Chuetsu-oki du 16 juillet 2007

Un séisme d'une magnitude  $M_w = 6.6$  à  $6.8$  est survenu le 16 juillet 2007 à une distance de 15 à 20 km de la CN de Kashiwazaki-Kariwa (Japon). Grâce à presque

100 instruments de surveillance sismique situés sur le site de la centrale, les accélérations provoquées par ce séisme sont bien connues. C'est la première fois, sur le plan mondial, qu'une CN est soumise à des accélérations aussi fortes.

En effet, la centrale a subi des accélérations environ deux fois plus élevées que celles prises en compte lors de son dimensionnement (50). Pourtant, seuls des dégâts mineurs ont été constatés. Même s'il y a eu une fuite limitée de matière radioactive, il semble, selon les rapports publiés par le ministère japonais concerné (50), que les doses reçues par les employés sont restées de plusieurs ordres de grandeur en-dessous des seuils légaux japonais. Grâce à une dilution immédiate, la pollution de l'environnement est restée également de plusieurs ordres de grandeur en-dessous des seuils légaux – toujours selon la même source.

L'existence d'une marge de réserve de l'ordre d'un facteur 2, voire plus, par rapport au séisme de dimensionnement s'est donc essentiellement confirmée dans le cas concret de cette CN japonaise. C'est une indication forte, mais bien évidemment pas une preuve pour qu'il puisse en être de même pour la CN de Fessenheim.

### 5.3 Résistance sismique de la digue du canal latéral du Rhin

Question 10 Y a-t-il des expertises qui ont étudié, selon l'état actuel des connaissances en la matière, si un séisme pourrait provoquer une rupture de la digue du canal latéral du Rhin (celle-ci devant protéger la CN de Fessenheim des inondations) ?

Nous n'avons pas connaissance d'une telle étude. Il faut pourtant ajouter que pour le séisme de dimensionnement de l'époque – sous-évalué à notre avis –, la rupture d'une digue bien conçue et bien entretenue serait très peu probable. Mais il resterait à démontrer que la digue survivrait un séisme de dimensionnement plus approprié, c'est-à-dire plus fort.

## 6. Conclusions finales

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 CN de Fessenheim, 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. La présente expertise détaille point par point les faiblesses de ces réévaluations.

Les principales raisons de la sous-évaluation de l'aléa sismique sont :

- une interprétation trop optimiste des caractéristiques clef du séisme de Bâle de 1356 servant comme séisme de référence : sous-estimation de sa magnitude et surévaluation de la distance minimale à la CN à laquelle un tel séisme pourrait survenir (EDF et IRSN),
- le fait de ne retenir aucun séisme local comme séisme de référence (EDF uniquement),
- une prise en compte insuffisante des incertitudes des données de base, et en particulier l'utilisation de relations statistiques moyennes pour la détermination

des accélérations du sol pour le ou les séismes de références avec, comme conséquence, une probabilité conditionnelle de 50 % que les accélérations retenues soient dépassées (faiblesse de la méthode prescrite par la RFS2001-01, EDF et IRSN).

Les questions concernant la résistance sismique des structures clef de la CN de Fessenheim n'ont pas pu être traitées de façon concrète par manque d'informations à disposition. Par rapport à cet aspect, la présente expertise doit se limiter, par conséquent, à quelques constats généraux.

Dans les années de la construction de la CN de Fessenheim, il était habituel de faire un dimensionnement dit "élastique", ce qui est, dans la plupart des cas, mais pas forcément dans tous les cas, très fortement du côté de la sécurité. Les marges de réserve peuvent représenter un facteur 2, voire plus, par rapport au séisme de dimensionnement. L'existence d'une telle marge de réserve s'est essentiellement confirmée dans le cas récent de la CN japonaise de Kashiwazaki-Kariwa qui a subi, avec le séisme Niigataken Chuetsu-oki du 16 juillet 2007, une sollicitation sismique environ deux fois plus forte que celle prise en compte lors de son dimensionnement.

Par conséquent, il est probable que des marges de réserve considérables existent par rapport au séisme de dimensionnement (aléa sismique) – sous-évalué – de l'époque. 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.

Il est donc impossible de conclure immédiatement, à cause de la sous-évaluation du séisme de dimensionnement, que la CN de Fessenheim représente un risque sismique inacceptable – bien qu'un certain soupçon soit sans aucun doute permis. Seul un contrôle sismique approfondi des bâtiments et installations clef de la CN de Fessenheim permettrait de confirmer ou d'infirmer ce soupçon. Il est, à notre avis, impératif de procéder le plus rapidement possible à un tel contrôle approfondi.

## 7. Glossaire

ASN	Autorité de sûreté nucléaire française, créée en 2006
BERSSIN	Bureau d'évaluation du risque sismique pour la sûreté des installations nucléaires, au sein de l'IRSN
BRGM	Bureau de recherches géologiques et minières français
CEA	Commissariat à l'Energie Atomique : organisme français actif en recherche et développement dans le domaine de l'énergie nucléaire
DGSNR	Direction générale de la sûreté nucléaire et de la radioprotection, organisme prédécesseur de l'ASN
GEO-TER	Bureau d'études français, spécialisé dans le domaine du risque sismique
GFZ	GeoForschungsZentrum, Potsdam
IRSN	Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire français
SED	Schweizerischer Erdbebendienst – Service Sismologique Suisse

## Annexe

- Réponses de l'IRSN à des questions posées par nous
- Questions posées à l'ASN
- Réponses de l'ASN

# IRSN

INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Fontenay-aux-Roses, le 13 FEV. 2007

RESONANCE

A l'attention de Corinne LACAVE

21 rue Jacques Grosselin

1227 CAROUGE (Genève)

SUISSE

Direction  
de l'environnement  
et de l'intervention

N° Chrono : DEI/SARG/2007-0075

Objet : votre demande 277/CL/MK transmise par courrier électronique le 26 janvier 2007

Service d'analyse des risques  
liés à la géosphère

Affaire suivie par :  
C. Berge-Thierry  
Bureau d'évaluation des  
risques sismiques pour la  
sûreté des installations

Tél. +33 (0)1 58 35 86 71  
Fax +33 (0)1 58 35 81 30  
catherine.berge@irsn.fr

Madame,

Par votre courrier cité en objet, vous sollicitez l'IRSN sur des points méthodologiques et pratiques de la Règle Fondamentale de Sûreté pour la définition des mouvements sismiques pour la conception des installations nucléaires de base (RFS 2001-01). Je vous prie de trouver ci-joint les réponses à vos questions. Certaines d'entre elles sont relatives aux expertises menées par l'IRSN sur le site de Fessenheim en appui à l'Autorité de Sûreté Nucléaire. Il vous appartient de contacter cette dernière pour obtenir les éléments d'informations correspondants.

Vous souhaitant bonne réception de la présente,

Je vous prie de d'agréer, Madame, l'expression de mes sincères salutations.

Adresse Courrier  
BP 17  
92262 Fontenay-aux-Roses  
Cedex France

**D. GAY**  
**Adjoint du Chef du SARG**

J.M. PERES

Chef du Sarg

Siège social  
77, av. du Général-de-Gaulle  
92140 Clamart  
Standard +33 (0)1 58 35 88 88  
RCS Nanterre B 440 546 018

**Question :**

1) Dans la RFS, une fois le(s) SMS déterminé(s), faut-il prendre le spectre moyen issu de la relation d'atténuation, ou bien le spectre moyen + 1 ou 2 écarts types ?

**Réponse :**

Le § 2.3.1. du texte de la RFS 2001-01 précise que le spectre de réponse est calculé en retenant la valeur moyenne prédite par la relation d'atténuation. Qu'il s'agisse d'un SMHV, d'un SMS, ou d'un paléoséisme c'est le mouvement sismique moyen issu de cette relation d'atténuation qui est retenu.

**Question :**

2. En ce qui concerne le sol, a-t-on recours à une étude de site spécifique, ou bien prend-on simplement la catégorie "sol meuble", ou équivalente, de la relation d'atténuation utilisée ? En Suisse, pour les sites des centrales nucléaires, des études de site spécifiques sont faites, selon l'état de l'art, depuis les années 70... Et si une étude de site (microzonage) est faite, comment les résultats sont-ils utilisés et appliqués sur le spectre final de dimensionnement ou de calcul des structures du site ?

**Réponse :**

Le § 2.3.4. du texte de la RFS 2001-01 précise la prise en compte des effets de site. L'étude spécifique de site est requise si :

- la vitesse des ondes de cisaillement dans les 30 mètres premiers mètres est inférieure à 300 m/s (i.e. risque de comportement non-linéaire voire liquéfaction),
- dans le cas d' « effets de site particuliers » (du type géométrique, topographique, fortes variations latérales ...).

Selon le résultat de l'étude spécifique, il peut être jugé suffisant de conserver, *in fine*, le (les) spectre(s) de réponse issu de l'application de la relation d'atténuation de la RFS 2001-01 (condition « sol alluvions », i.e.,  $300 \text{ m/s} < V_s < 800 \text{ m/s}$ ).

Au contraire, sur certains sites, l'étude spécifique aboutira à retenir un spectre réponse de site alternatif à celui issu du (des) SMS (et éventuellement paléoséisme) évalué(s) avec la relation d'atténuation de la RFS 2001-01 : ce spectre de réponse « alternatif » sera représentatif de la réponse spécifique du site (par exemple, amplification notable sur une certaine gamme de fréquences). Dans un tel cas, c'est ce spectre de réponse qui servira à établir le spectre de dimensionnement ou le spectre de « vérification » des installations existantes.

**Question :**

3. Les résultats de l'étude d'aléa menée par l'IRSN pour le site de Fessenheim sont-ils, publics ? Si oui, est-il possible d'en obtenir une copie ?

**Réponse :**

L'étude de l'IRSN sur l'évaluation de l'aléa sismique du site de Fessenheim a été réalisée dans le cadre d'une saisine de l'Autorité de Sûreté Nucléaire. Cette étude ne peut donc vous être transmise sans accord préalable de cette dernière.

**Question :**

4. Si nous comprenons bien le document DGSNR/SD2/N° 0337/2003, du 2 juin 2003 (publié sur le site de l'ASN), il est indiqué au point II.d) que "les évaluations de l'aléa sismique pour les sites de ..., Fessenheim, ..., présentées par EDF me semblent répondre aux principes fixés par la RFS 2001-01, et à la démarche présentée au chapitre I et peuvent donc être utilisées comme base du réexamen de sûreté de ces sites". Or, à la fin du chapitre I.2 de ce même document, il est indiqué : "Je souhaite que vous me présentiez sous 6 mois votre analyse à ce sujet et ses impacts sur la qualification sismique des équipements". Cela a-t-il été fait ? quelles en sont les conclusions quand à l'aléa sismique retenu pour le site ? en particulier en ce qui concerne les divergences entre l'IRSN et EDF en terme de détermination des SMS (prise en compte ou non d'un séisme local sous le site). Il va sans dire, qu'à la lecture de ces textes, nous (en tant que sismologues) soutenons de toute évidence la position de l'IRSN, quant à cette détermination de l'aléa sismique. Elle correspond à ce que nous avons l'habitude de faire pour les études d'aléa pour les sites des barrages, en France. Cette démarche, de retenir un séisme local sous le site et un séisme lointain plus fort, est d'ailleurs aussi celle qui est clairement appliquée pour la centrale de Chinon (cf. note d'information IRSN du 10 novembre 2006, suite au séisme de Chinon), alors pourquoi pas pour Fessenheim ?

**Réponse :**

Cette question serait à soumettre directement à l'autorité de sûreté nucléaire (voir coordonnées ci-après).

**Question :**

5. Y a-t-il une personne que nous pourrions contacter auprès de l'ASN, qui serait à même de répondre à ces questions de décisions sur le cas particulier de Fessenheim ?

**Réponse :**

Nous vous recommandons de contacter Mr Mickaël Gandolin, à l'ASN, Direction des centrales nucléaires (DCN), son adresse électronique est [Mickael.GANDOLIN@asn.fr](mailto:Mickael.GANDOLIN@asn.fr).

**Question :**

6. L'étude de l'IRSN sur l'aléa sismique dans le graben du Haut-Rhin met-elle en évidence le fait qu'un séisme comme celui de Bâle ne pourrait pas se produire dans la zone sismotectonique à laquelle appartient le site de Fessenheim ?

**Réponse :**

La réponse à cette question relève de l'analyse réalisée pour le compte de l'ASN. La position de l'IRSN a cependant été présentée à la CLIS de Fessenheim le 5 juin 2005. La démarche de définition des séismes à prendre en compte (démarche RFS 2001-01) est fondée sur la définition d'un zonage sismotectonique qui s'appuie lui-même sur les données actualisées concernant la géologie, la sismologie et la géodynamique. Pour ce qui concerne les sites du sud de l'Alsace, le zonage défini par l'IRSN (présenté à Tsukuba (Berge-Thierry et al. 2004)) est très proche de celui défini par le BRGM dans les études d'ICPE (Terrier et al., 2000). Pour la région du séisme de Bâle il est défini une zone assez restreinte correspondant à l'interférence des plis frontaux du Jura (avec des mécanismes focaux en faille inverse, et des failles méridiennes du fossé rhénan avec des mécanismes à composante décrochante senestre. Cette zone est également particulière car la couverture sédimentaire surmonte un bassin profond anté mésozoïque (Permo-carbonifère) d'orientation ENE-WSW et limité au Nord par de grandes failles crustales de même orientation (Meyer et al, 1994). Ce zonage conduit à translater le séisme de Bâle à environ 30 km au sud du site de Fessenheim.

**Références :**

C. Berge-Thierry et al., Determination of the seismic input in France for the nuclear power plants safety: regulatory context, hypothesis and uncertainties treatment Workshop on seismic input motions, incorporating geological studies, Tsukuba (Japon), Proceedings on CDROM, NEA/CSNI/R(2004)22, 2004.

Terrier, M., Bles, J.L., Godefroy, P., Dominique, P., Bour, M., Martin, C. (2000). Zonation of Metropolitan France for the application of earthquake-resistant building regulations to critical facilities Part 1: Seismotectonic zonation. Journal of Seismology Volume 4, Issue 3, 2000, Pages 215-230.

21 rue Jacques Grosselin  
CH - 1227 CAROUGE (Genève)  
Téléphone (+41 22) 301 02 53  
Télécopie (+41 22) 301 02 70  
E-mail [resonance@resonance.ch](mailto:resonance@resonance.ch)

ASN  
Direction des Centrales Nucléaires  
M. Mickaël Gandolin

277/CL/MK

Carouge, le 19 février 2007

## Aléa sismique dans le graben du Haut-Rhin

Monsieur,

Nous avons été mandatés par le canton de Bâle dans le cadre d'une étude de l'aléa sismique du graben du Haut-Rhin. Dans ce contexte, nous avons adressé un certain nombre de questions à l'IRSN. L'IRSN nous a donné les réponses correspondantes, mais certaines questions sont du ressort de l'ASN, c'est pourquoi l'IRSN nous a transmis vos coordonnées.

Vous trouverez ainsi les questions, détaillées en annexe, concernant en particulier le cas de l'aléa sismique au site de Fessenheim, et plus généralement la détermination de l'aléa sismique sur les sites nucléaires français.

Ainsi, nous vous serions très reconnaissants si vous pouviez répondre à tout ou partie de ces questions.

En vous remerciant par avance, nous vous prions de recevoir, Monsieur, l'expression de nos meilleures salutations.

RÉSONANCE Ingénieurs-Conseils SA



Corinne LACAVE

## Questions - Aléa sismique dans le graben du Haut-Rhin

1. Les résultats de l'étude d'aléa menée par l'IRSN pour le site de Fessenheim sont-ils publics ? Si oui, est-il possible d'en obtenir une copie ?
2. Si nous comprenons bien le document DGSNR/SD2/N° 0337/2003, du 2 juin 2003 (publié sur le site Internet de l'ASN), il est indiqué au point II.d) que "les évaluations de l'aléa sismique pour les sites de ..., Fessenheim, ..., présentées par EDF me semblent répondre aux principes fixés par la RFS 2001-01, et à la démarche présentée au chapitre I et peuvent donc être utilisées comme base du réexamen de sûreté de ces sites". Or, à la fin du chapitre I.2 de ce même document, il est indiqué : "Je souhaite que vous me présentiez sous 6 mois votre analyse à ce sujet et ses impacts sur la qualification sismique des équipements". Cela a-t-il été fait ? quelles en sont les conclusions quand à l'aléa sismique retenu pour le site ? en particulier en ce qui concerne les divergences entre l'IRSN et EDF en terme de détermination des SMS (prise en compte ou non d'un séisme local sous le site). Cette démarche, de retenir un séisme local sous le site et un séisme lointain plus fort, est d'ailleurs aussi celle qui est clairement appliquée pour la centrale de Chinon (cf. note d'information IRSN du 10 novembre 2006, suite au séisme de Chinon), alors pourquoi pas pour Fessenheim ?

DIRECTION DES CENTRALES NUCLEAIRES

DEP-SD2 -N° 0286 -2007

Affaire suivie par : Fabien FERON

Tél : 01.43.19.71.11

Fax : 01.43.19.70.89/66

Mel : fabien.feron@asn.fr

Paris, le 11 juin 2007

**Madame LCAVE**  
**Résonance**

**21 rue Jacques Grosselin**  
**CH-1227 Carrouge (Genève)**  
**Suisse**

**Objet :** Aléa sismique – Application de la RFS 2001-01

**Réf. :** 1/ Courrier Résonance 277/CL/MK du 2 mars 2007  
2/ Lettre DGSNR/SD2 n°0337/2003 du 2 juin 2003

Madame,

Par lettre citée en référence 1, vous interrogez l'ASN sur la détermination de l'aléa sismique pour les centrales nucléaires françaises et plus particulièrement le CNPE de Fessenheim. Votre première question porte sur le caractère public de l'étude réalisée par l'IRSN ; la seconde, plus large, porte sur l'application de la RFS 2001-01 pour la détermination, site par site, du niveau de séisme majoré de sécurité (SMS).

\*  
\* \* \*

L'analyse menée par l'IRSN sur l'aléa sismique du site de Fessenheim, réalisée à la demande de l'ASN, entre dans le cadre plus large des réexamens périodiques de sûreté. Ces réexamens permettent en particulier de comparer le niveau de sûreté des centrales en exploitation aux exigences de sûreté les plus récentes et, au cas par cas, de statuer sur la nécessité d'éventuelles modifications pour améliorer ce niveau de sûreté.

Il revient à EDF de déterminer, conformément aux règles en vigueur, le niveau de séisme auquel ses installations doivent résister. Dans le cadre du contrôle qu'elle exerce, l'ASN vérifie que le niveau de séisme déterminé par EDF est conforme à la réglementation et aux recommandations émises dans des documents tels que les « règles fondamentales de sûreté ». Elle s'appuie, pour cela, sur l'expertise de l'IRSN.

Ainsi, lors du dernier réexamen de sûreté mené au début des années 1990, l'IRSN a globalement confirmé la validité de l'évaluation faite par EDF du niveau de séisme (SMS d'intensité IX sur l'échelle MSK).

A ce jour et jusqu'aux troisièmes visites décennales des réacteurs de Fessenheim, c'est ce niveau de séisme qui est à prendre en compte.

Le réexamen de sûreté en cours (dit « VD3 900 MWe »), conduit à l'occasion des troisièmes visites décennales des réacteurs de 900 MWe débutant en 2009, comporte également un volet sur le séisme. Il porte sur la résistance des installations face à un aléa sismique défini en appliquant les recommandations de sûreté les plus récentes, en l'espèce la règle fondamentale de sûreté (RFS) 2001-01 à laquelle vous faites référence dans votre courrier.

EDF a, dans cette optique, appliqué la RFS 2001-01 pour chacune des centrales nucléaires concernées afin de déterminer les « nouveaux » spectres sismiques. Les études détaillées correspondantes ont été produites par EDF et soumises à l'examen de l'IRSN. Cet examen a en particulier mis en lumière des différences d'interprétation de la RFS 2001-01 entre l'IRSN et EDF. Elles ont donné lieu à la lettre ASN (référence 2) que vous mentionnez dans votre courrier. Les discussions techniques visant à comprendre les causes et les conséquences de ces différences d'interprétation se poursuivent.

**L'analyse achevée début 2003 par l'IRSN constitue donc une étape intermédiaire dans la détermination du séisme majoré de sécurité (SMS) de Fessenheim, l'objectif de l'ASN demeurant de statuer sur le SMS retenu pour chaque site préalablement aux troisièmes visites décennales.**

En première approche, il s'avère qu'EDF et l'IRSN n'ont pas retenu les mêmes séismes historiques comme niveaux d'aléa dominants (SMHV : séismes maximaux historiquement vraisemblables). La principale différence porte sur la prise en compte de séismes proches du site. En effet, EDF écarte de tels séismes car ils n'entraînent pas l'intensité la plus grande au site ( $I_{site}$ ), cette dernière étant liée au séisme de Bâle ce qui est, au plan de la forme, conforme à la RFS 2001-01. Toutefois, l'IRSN voit un intérêt à retenir de tels séismes en raison des pseudo accélérations plus importantes qu'ils provoquent au-delà de 2 Hz. C'est pourquoi l'ASN avait demandé à EDF de présenter des études complémentaires. Cette question, rappelée au point I.2 de la lettre en référence 2, est toujours en cours d'étude.

Les derniers résultats de l'analyse par l'IRSN de l'aléa sismique pour le site de Fessenheim sont repris dans le rapport de l'IRSN dont vous trouverez ci-joint l'extrait correspondant.

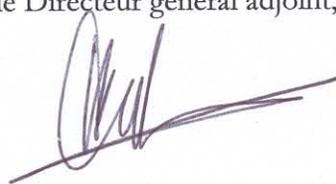
\*

\* \*

Enfin, concernant la demande faite par l'ASN (lettre en référence 2) sur la qualification sismique des équipements, EDF a déjà réalisé la majorité des études relatives au site de Fessenheim. Quelques études sur certaines tuyauteries restent encore à transmettre à l'ASN. Ces études sont examinées par l'ASN dans le cadre du réexamen de sûreté VD3 900 MWe.

Je vous prie d'agréer, Madame, l'expression de ma considération distinguée.

Pour le Président de l'Autorité de Sûreté Nucléaire,  
et par délégation,  
le Directeur général adjoint,

A handwritten signature in dark ink, appearing to be 'Olivier Gupta', written over a horizontal line.

Olivier GUPTA

**PJ** : Rapport IRSN – partie relative au site de Fessenheim

**Copies externes :**

- IRSN/DSR
- EDF/CNPE de Fessenheim

**Copies internes :**

- ASN/DCN (OG, FF, DB)
- ASN/DRI
- ASN/Division de Strasbourg
- ASN/MJO
- ACL, JCN, JLL

# IRSN

**Avis sur la mise a jour du référentiel  
(version 2004) des spectres EDF pour les  
REP français conformément à la  
demande DGSNR (lettre du 2 juin 2003)**

S. Baize , D. Baumont, F. Bonilla , C. Berge-Thierry, E. Cushing., F.  
Lemeille, S. Nechtschein , O. Scotti, P. Volant

**Service d'Analyse des Risques Liés à la Géosphère**

**Rapport DEI/SARG n° 04-12**

07-2004

R  
A  
P  
P  
O  
R  
T

## 2.16. Site de Fessenheim

### 2.16.1. Rappel de l'avis BERSSIn (Rapport IRSN/DPRE 03-14)

« EDF propose pour le site de Fessenheim le séisme de Bâle (18/10/1356) comme séisme de référence. EDF estime la magnitude de ce séisme à 6,7 et le place à 34 km de l'installation. Par ailleurs, EDF retient un paléoséisme (indice d'Achenheim, temps de retour estimé à 25.000 ans, magnitude estimée à 6,5, et situé à 73 km, selon EDF). Le spectre de réponse du paléoséisme est entièrement couvert par le spectre de réponse du SMS calé à 0,137g. EDF ne propose pas de séisme proche comme séisme de référence, du fait de son interprétation de la RFS2001-01 (« filtrage lmax »). EDF interprète la RFS2001-01 comme si le séisme produisant la plus forte intensité au site ls devait uniquement être utilisé pour définir le mouvement sismique. Le séisme de Bâle ayant une ls de IX, cette approche écarte les séismes proches car leurs intensités au site sont inférieures. Pour l'IRSN, les spectres des séismes proches (1926, 1952) doivent être considérés au même titre que celui du séisme de Bâle, pour définir l'aléa sismique de Fessenheim. Le Fossé rhénan se caractérise par une activité sismique significative (séisme de St dié, 22/02/2003), un séisme modéré proche du site est tout à fait probable.

Pour l'IRSN l'évaluation de l'aléa sismique selon la RFS2001-01 par EDF pour le site de Fessenheim n'est pas acceptable. »

### 2.16.2. Position DGSNR (lettre du 2 juin 2003)

« d) Cas des autres centrales du palier 900 MWe

Les évaluations de l'aléa sismique pour les sites de Cruas, **Fessenheim**, Gravelines, et Tricastin présentées par EDF me semblent répondre aux principes fixés par la RFS 2001-01, et à la démarche présentée au §. I et peuvent donc être utilisées comme base du réexamen de sûreté de ces sites. »

### 2.16.3. Réponse EDF :

les spectres SMS et minimal sont proposés (EF-TGG 01-164 E p. 23/32).

### 2.16.4. Avis BERSSIn (06/2004) Fessenheim

Cette proposition est conforme à la demande DGSNR.