

# Le point sur l'étude probabiliste de sûreté-séisme

P. Pyy, A. Murphy, B. Budnitz, A. Huerta \*

**L**es séismes sont indéniablement parmi les catastrophes naturelles les plus dévastatrices auxquelles peuvent être confrontées les sociétés. Aussi leur prise en compte dans l'évaluation des risques pour les installations nucléaires est-elle allée de soi dès le début de la mise au point des études probabilistes de sûreté (EPS). En l'occurrence, la méthodologie de l'étude probabiliste de sûreté-séisme des installations nucléaires a été développée à la fin des années 70 aux États-Unis, avant d'être affinée et appliquée partout dans le monde au fil des ans.

Vu l'importance du sujet et l'intérêt qu'il suscite sur le plan international, l'AEN a parrainé plusieurs activités dans ce domaine. Ainsi, un atelier organisé en août 1999 à Tokyo s'est penché sur les méthodologies de l'EPS-séisme et de l'étude des marges sismiques pour les installations nucléaires<sup>1</sup>, en s'appuyant notamment sur un rapport sur l'état des connaissances<sup>2</sup>. En 2002, le Comité de l'AEN sur la sûreté des installations nucléaires (CSIN) a publié un court avis technique sur l'EPS-séisme<sup>3</sup>.

Depuis l'atelier de 1999, l'EPS-séisme a fait l'objet d'une large application dans de nombreuses centrales nucléaires du monde entier. En outre, des avancées techniques ont été réalisées sur plusieurs aspects de la méthodologie globale. Aujourd'hui, l'EPS-séisme est considérée comme une technique mature pour évaluer le risque sismique pour les installations nucléaires. On utilise aussi très largement des méthodologies apparentées, à commencer par l'évaluation probabiliste de l'aléa sismique, qui analyse cet aléa et ses incertitudes, et l'étude des marges sismiques, qui évalue la marge de sûreté par rapport aux incidents sismiques.

L'AIEA procède actuellement à la mise à jour de ses guides de sûreté en la matière, et deux autres événements importants sont intervenus récemment, à savoir la publication, en 2003, de normes relatives à l'EPS-séisme et à l'étude des marges sismiques par la Société américaine pour l'énergie nucléaire, et l'élaboration, en 2006, d'une nouvelle norme méthodologique par la Société pour l'énergie atomique du Japon.

## La réunion de spécialistes de 2006

Compte tenu de ces développements, le Comité de l'AEN sur la sûreté des installations nucléaires (CSIN) a décidé d'organiser une réunion de spécialistes sur l'étude probabiliste de sûreté-séisme des installations nucléaires. L'Institut coréen de recherches sur l'énergie atomique (KAERI) et l'Institut coréen de sûreté nucléaire (KINS) ont aimablement accepté d'accueillir cette réunion du 6 au 8 novembre 2006 sur l'île de Jeju (République de Corée). La réunion s'est tenue en coopération avec l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA).

Les principaux objectifs étaient de passer en revue les avancées récentes de la méthodologie de l'EPS-séisme, d'examiner les applications pratiques, de faire le point sur l'état des connaissances et de mettre en lumière les questions méthodologiques qui profiteraient de travaux de recherche plus poussés. En particulier, il s'agissait de comparer la situation d'aujourd'hui à celle de 1999 et de formuler une série de conclusions et de recommandations actualisées. Les participants ont pu longuement discuter de la situation actuelle et des évolutions intéressant l'EPS-séisme, l'évaluation probabiliste de l'aléa sismique et l'étude des marges sismiques. Quelque 75 spécialistes de 15 pays ont pris part à la réunion et apporté quantité d'informations et de données techniques qui ont servi de base pour la rédaction du présent article.

\* MM. Pekka Pyy ([pekka.pyy@oecd.org](mailto:pekka.pyy@oecd.org)) et Alejandro Huerta ([alejandro.huerta@oecd.org](mailto:alejandro.huerta@oecd.org)) travaillent à la Division de la sûreté nucléaire de l'AEN ; M. Andrew J. Murphy ([ajm1@nrc.gov](mailto:ajm1@nrc.gov)) est président du Sous-groupe du CSIN/IAGE sur le comportement sismique ; M. Robert J. Budnitz ([budnitz@pacbell.net](mailto:budnitz@pacbell.net)) est consultant auprès de l'AEN.

## Où en est-on aujourd'hui en matière d'EPS-séisme ?

L'EPS-séisme est à présent très largement employée dans l'ensemble du secteur électronucléaire, puisque aussi bien les exploitants de centrales existantes que les organismes de réglementation nationaux et les concepteurs de centrales nouvelles y ont recours. En outre, il est désormais largement admis que l'EPS-séisme répond systématiquement à plusieurs objectifs très importants en aidant, par exemple, à cerner le risque sismique pour les centrales nucléaires, à comprendre l'incidence sur la sûreté des carences en matière de conception antisismique, à déterminer les améliorations prioritaires dans le domaine de la sûreté sismique, à évaluer et à faire progresser les règlements parasismiques, ainsi qu'à modifier les dispositions réglementaires et les prescriptions de base en vigueur pour les autorisations de centrales particulières. L'EPS-séisme est aujourd'hui beaucoup plus largement employée qu'en 1999. Parmi les nouvelles utilisations, les plus importantes ont trait à la conception de centrales nucléaires de type avancé, à la révision de la réglementation, à l'étude des risques sur les sites comportant plusieurs tranches, à la planification de l'évacuation et des mesures d'urgence en cas de séisme, ainsi qu'à l'impact des répliques.

Cette multiplication des applications a entraîné l'élaboration de documents d'orientation à l'intention des concepteurs, des propriétaires de centrales et des organismes de réglementation qui ont recours à l'EPS-séisme. Les informations tirées des EPS-séisme sur les séquences entraînant des dommages au cœur sont employées quasi-systématiquement pour identifier les faiblesses et évaluer l'efficacité des améliorations qu'il est proposé d'apporter aux centrales. Dans plusieurs pays, la réglementation en matière de conception antisismique prévoit l'obligation de réaliser une étude probabiliste pour la détermination du séisme de dimensionnement, ou des obligations fondées sur la fréquence annuelle des mouvements du sol dépassant les conditions de dimensionnement. Dans au moins deux pays (les États-Unis et la Suisse), l'EPS-séisme intervient désormais d'une multitude de façons dans l'établissement de règles, dans les processus de décision intégrant le risque, ainsi que dans le choix du site et la conception antisismique des centrales nucléaires. La Commission de la réglementation nucléaire des États-Unis (NRC) a délivré des homologations pour plusieurs conceptions de centrales nucléaires dans lesquelles la méthodologie de l'étude des marges sismiques a été utilisée pour démontrer le caractère acceptable de la marge de sûreté sismique et identifier la vulnérabilité des systèmes aux séismes. Pour sa part, l'organisme de réglementation de la Finlande (STUK) a exigé la réalisation d'EPS-séisme lors des phases de conception et de construction du nouveau réacteur EPR en construction à la centrale d'Olkiluoto. En Suisse, les sites des centrales

nucléaires ont fait l'objet d'une évaluation probabiliste complète de l'aléa sismique dans le cadre du projet PEGASOS parrainé par les producteurs suisses.

## Que reste-t-il à faire ?

Lors de la réunion de Jeju, les participants ont identifié un petit nombre de questions méthodologiques importantes concernant l'EPS-séisme et ses incertitudes, qui n'ont cependant rien de nouveau puisqu'elles sont largement connues des professionnels depuis de nombreuses années. Cependant, les discussions approfondies tenues au cours de la réunion ont livré des éclaircissements sur la façon de mieux répondre à certaines d'entre elles. Les plus importantes de ces questions concernent l'évaluation probabiliste de l'aléa sismique, la modélisation des interventions humaines et les corrélations.

**Évaluation probabiliste de l'aléa sismique.** Les résultats des évaluations probabilistes de l'aléa sismique conduites dans les règles de l'art dans des régions à sismicité faible ou modérée, comme la Suisse et la Scandinavie, se caractérisent généralement par une forte incertitude. Celle-ci tient pour une part non négligeable au fait que ces régions ne connaissent que très peu de mouvements sismiques forts, si bien que les relations d'atténuation doivent être établies à partir de celles provenant d'autres régions où sont enregistrées des secousses violentes (Japon et littoral californien aux États-Unis, par exemple). En règle générale, les analystes s'efforcent de choisir des régions qui ont des caractéristiques tectoniques et structurelles analogues, et ils peuvent aussi recourir à des simulations établies à l'aide de modèles sismologiques fondés sur les caractéristiques géophysiques régionales. Cela peut entraîner des incohérences ou de fortes incertitudes, selon les choix faits par les experts. Dans ce cas, une évaluation probabiliste correcte de l'aléa sismique doit traduire l'incertitude découlant de la connaissance insuffisante des mouvements du sol de la région et de l'atténuation, et le jugement de l'expert y joue un rôle important. Ce sujet a été longuement examiné au cours de la réunion. Bien sûr, l'évaluation probabiliste de l'aléa sismique doit être menée de façon aussi réaliste que possible, afin de faire entrer en ligne de compte toutes les incertitudes et toute la variabilité observée dans la nature. Il faut aussi tenir convenablement compte des relations de dépendance et des facteurs qui les régissent.

**Modélisation des interventions humaines.** Un important sujet d'incertitude concerne la quantification de la réaction du personnel d'exploitation de la centrale nucléaire et des organismes d'intervention d'urgence après un séisme. Il s'agit en partie d'un problème générique qui se pose dans toute analyse de la fiabilité humaine dans laquelle subsistent des incertitudes et lorsqu'on manque de données sur les

comportements des hommes et des organisations. Cependant, les séismes possèdent aussi des caractéristiques particulières qui font qu'il est plus difficile d'analyser et de quantifier les interventions qui suivent leur survenue, à commencer par les conséquences physiques et psychologiques du choc sismique : matériel endommagé ou inaccessible, charge de travail accrue en raison d'incendies ou d'autres événements déclenchés par le séisme, problèmes liés au fait que toutes les tranches n'ont pas forcément subi les mêmes conséquences, objectifs contradictoires au niveau des autorités gouvernementales, accessibilité du site et inquiétudes des membres du personnel au sujet du sort de leurs proches.

**Corrélations.** Enfin, dès les premières EPS-séisme menées au début des années 80, les analystes ont été confrontés au problème de la quantification des corrélations entre les défaillances d'équipements similaires ou de structures similaires sous l'effet du séisme. Il existe assurément des corrélations, par exemple dans la façon dont réagissent deux pompes identiques situées à proximité l'une de l'autre ou deux murs de contreventement conçus et construits à l'identique. Pourtant, l'analyse est compliquée. Les essais n'ont fourni au mieux que des informations ambiguës, et la base de données d'expérience sur les séismes réels est difficile à interpréter. En règle générale, les analystes ont eu recours à des études pour mettre en évidence la sensibilité des résultats obtenus, mais ils ont aussi attribué un degré élevé d'incertitude aux valeurs numériques. Cela étant, d'après l'expérience acquise dans les centrales existantes aux États-Unis, le risque de dommage au cœur en cas de séisme est d'ordinaire lié en grande partie à une seule ou à un nombre très restreint de vulnérabilités. Dans ce cas, l'impact des corrélations est par conséquent jugé faible. La situation est peut-être différente dans le cas des centrales de conception plus avancée, où, de par le dimensionnement parasismique, les défaillances seront encore moins nombreuses. Dans ce cas, postuler une forte dépendance entre composants installés au même endroit constitue peut-être une approche trop prudente.

### Quelles sont les prochaines étapes ?

Les participants à la réunion de Jeju sont parvenus à la conclusion que la réalisation de travaux complémentaires au niveau international était hautement souhaitable dans un certain nombre de domaines. Il serait ainsi intéressant de comparer les études d'aléa sismique réalisées dans des pays à sismicité élevée, moyenne et faible. Les résultats des évaluations probabilistes de l'aléa sismique devraient être comparés à l'ensemble des observations disponibles, notamment pour les périodes de retour où des enregistrements sont disponibles, afin d'améliorer la confiance à l'égard des résultats. Toute activité d'évaluation probabiliste de l'aléa sismique profiterait d'un examen par l'ensemble des intéressés – propriétaires de centrales, autorités de réglementation, responsables

des EPS, spécialistes de l'analyse des systèmes et de la fragilité – sachant qu'une distorsion des valeurs d'aléa sismique peut avoir des répercussions importantes sur le coût, le risque et l'effort nécessaire à l'autorisation.

En outre, l'utilisation de l'EPS-séisme ayant progressé rapidement, un réexamen du rapport sur l'état des connaissances établi il y a dix ans par le AEN/CSIN pourrait s'imposer. La collecte d'informations auprès de sites industriels classiques qui ont été soumis à un séisme important pourrait offrir un bon moyen d'enrichir les connaissances disponibles sur la réaction des exploitants et des organismes d'intervention d'urgence en cas de séisme, et constituer un vecteur de coopération intersectorielle.

Il ressort des échanges de vues tenus lors de la séance de clôture que, de l'avis général, la réunion a pleinement atteint son objectif et s'est révélée très utile en fournissant aux participants de nouvelles informations spécifiques. Les participants ont par ailleurs préconisé que l'AEN organise plus souvent de telles manifestations consacrées à ce domaine.

À ce jour, aucune centrale nucléaire n'a subi un séisme suffisamment violent pour l'endommager. La confiance dans la sûreté sismique des centrales nucléaires passe donc par le recours à des modèles très robustes et par la réalisation d'études comme l'EPS-séisme qui confirment le caractère approprié de ces modèles, ainsi que par l'utilisation de données d'essai et de données sur les séismes réels qui proviennent d'installations non nucléaires. En effet, il ne faut pas oublier que, contrairement aux centrales nucléaires, d'autres types d'infrastructure ont eu à subir les effets de séismes. Par ailleurs, même les pays qui se caractérisent par une géologie relativement stable ne sont pas à l'abri d'une secousse. D'où l'intérêt de faire appel partout à une solide conception anti-sismique et une EPS-séisme réaliste pour prévenir les conséquences potentiellement graves d'un tremblement de terre. ■

### Références

1. AEN (2001), « Proceedings of the OECD/NEA Workshop on Seismic Risk », Rapport CSIN N° NEA/CSNI/R(99)28, [www.nea.fr/html/nsd/docs/1999/csni-r99-28.pdf](http://www.nea.fr/html/nsd/docs/1999/csni-r99-28.pdf), OCDE/AEN, Paris.
2. AEN (1998), « State-of-the-Art Report on the Current Status of Methodologies for Seismic PSA (Probabilistic Safety Assessment) », Rapport CSIN N° NEA/CSNI/R(97)22, [www.nea.fr/html/nsd/docs/1997/csni-r1997-22.pdf](http://www.nea.fr/html/nsd/docs/1997/csni-r1997-22.pdf), OCDE/AEN, Paris.
3. AEN (2002), *Avis techniques du CSIN – N° 1 : Étude probabiliste de sûreté-incendie des centrales nucléaires ; N° 2 : Étude probabiliste de sûreté-séisme des installations nucléaires*, ISBN 92-64-28490-7, [www.nea.fr/html/nsd/reports/nea3948-fire-seismic-fr.pdf](http://www.nea.fr/html/nsd/reports/nea3948-fire-seismic-fr.pdf), OCDE/AEN, Paris.