

# *Contribution à l'évaluation probabiliste de la fragilité sismique des installations industrielles*

## **Contexte général**

Dans le cadre de l'évaluation de la sûreté sismique des installations nucléaires, qui fait partie intégrante des Études Probabilistes de Sûreté menées sur ces installations, on est amené à caractériser la fragilité des structures de Génie Civil et des équipements. Cette caractérisation se traduit souvent sous la forme de courbes ou surfaces de fragilité, lesquelles représentent la probabilité conditionnelle de défaillance de l'entité d'intérêt en fonction d'un ou plusieurs paramètres représentatifs du niveau de l'excitation sismique. Dans l'absolu, ces courbes (ou surfaces) sont sensées intégrer l'ensemble des incertitudes liées à la fois au chargement sismique (aléa sismique), aux comportements des structures et aux méthodes de dimensionnement (critères, etc.). Elles peuvent être évaluées par simulations numériques en propageant les incertitudes via un code aux éléments finis ou bien de manière empirique par les biais des résultats d'essais sur table vibrante et/ou du retour d'expérience post-sismique. Des méthodes simplifiées, basées sur le retour d'expérience et le jugement d'expert sont également disponibles et très utilisées en ingénierie nucléaire [4].

Quelle que soit la méthode mise en œuvre, l'élaboration d'une courbe de fragilité nécessite une bonne connaissance du comportement « ultime » des structures qui est, dans la majorité des cas, un comportement non-linéaire. D'un point de vue numérique, la complexité des modèles mécaniques provient donc de l'interaction sol-structure, des non-linéarités comportementales (endommagement) et structurales (par exemple le contact-frottement). En outre, pour les essais comme pour les calculs numériques temporels, il est nécessaire de disposer d'accélérogrammes qui peuvent être réels (mesurés sur site) ou bien générés de manière artificielle (modélisation du séisme par des processus stochastiques non stationnaires).

Dans le cadre de ce travail de thèse, on souhaite développer des méthodologies d'évaluation des courbes ou surfaces de fragilité qui puissent à la fois intégrer le retour d'expérience (essais ou post-sismique), le jugement d'expert ainsi que les résultats numériques de Monte Carlo qui offrent l'avantage de pouvoir être obtenus en plus grand nombre. In fine, ces méthodologies doivent permettre d'obtenir des estimations pertinentes des courbes de fragilité, en proposant une mise en œuvre compatible avec un cadre industriel qui requiert, à l'échelle d'une installation nucléaire, d'évaluer ce type de courbes sur un nombre significatif de composants.

## **Déroulement**

Pour satisfaire à l'objectif global défini ci-dessus, le travail de thèse peut se décliner en plusieurs étapes.

La première étape est liée aux simulations numériques de Monte Carlo proprement dites. Elle vise à proposer des méthodes qui permettent l'amélioration de la performance et de la robustesse des simulations (études des méthodes de propagation avancées et potentiellement plus efficaces que le Monte Carlo standard [1], de simulation de variables aléatoires corrélées pour les propriétés du sol par exemple, etc.). Dans ce cadre, on pourra également s'intéresser aux méthodes de hiérarchisation des incertitudes par rapport à des événements seuil (critère de défaillance) tels qu'on les rencontre dans les Études Probabilistes de Sûreté.

La deuxième étape consiste à faire le point sur l'intérêt de partager les incertitudes liées au manque de connaissance (incertitudes épistémiques) et les incertitudes liées à l'aléa sismique comme cela est proposé dans certaines méthodologies ([3], [4] et [5]). Le cas échéant, une partie du travail pourrait consister à proposer une méthodologie de prise en compte de ce partage, lorsque l'on détermine une courbe de fragilité à partir de simulations de Monte Carlo.

La troisième étape concerne l'étude des méthodes d'actualisation des courbes de fragilité à partir de résultats d'essais ou du retour d'expérience (REX). Les approches bayésiennes permettent de traiter ce problème ([7]). On souhaiterait, dans ce travail de thèse, faire le point sur ces méthodes et développer des méthodologies adaptées aux courbes de fragilité qui permettent d'utiliser, de la meilleure manière, toute l'information disponible, à savoir essais, REX, jugement d'experts et simulation. Dans ce contexte, on pourra également étudier de quelle manière ces méthodes peuvent aider à réduire les incertitudes épistémiques et donner des indications sur l'orientation de futurs essais afin d'optimiser le gain d'information.

Concernant les résultats d'essais et le retour d'expérience post-sismique, on pourra travailler, d'une part, avec les résultats d'essais menés au CEA, et, d'autre part, à partir du retour d'expérience du séisme de Kashiwazaki-Kariwa survenu en 2007 au Japon.

## Références bibliographiques

- [1] Helton J.C., Davis, F.J., Latin Hypercube Sampling and the propagation of uncertainty in the analyses of complex models. *Reliability Engineering & System Safety* (81), 2003.
- [2] Zentner I., Nadjarian A., Humbert N., Viallet E., *Numerical calculation of fragility curves for seismic probabilistic risk assessment*. World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, 2008.
- [3] Kennedy R.P., Cornell C.A., Campbell R.D., Kaplan S. and Perla H.F., Probabilistic seismic safety of an existing nuclear power plant, *Nuclear Engineering and Design*, Number 59, pp. 315-338, 1980.
- [4] Wakefield D., Ravindra M., Merz K. & Hardy, G., *Seismic Probabilistic Risk Assessment Implementation Guide*. Final Report 1002989, 2003, EPRI.
- [5] Der Kiureghian A., Ditlevsen O. Aleatory or epistemic ? Does it matter. *Structural Safety*, 2008.
- [6] Shinozuka M., Feng, Q., Lee, J. & Naganuma T., Statistical analysis of fragility curves. *J. Eng. Mech. ASCE*, (126) 12, 2000, 1224-1231.
- [7] Straub D., Der Kiureghian A., Improved seismic fragility modelling from empirical data. *Structural Safety*, 2008.

## Environnement de travail

Le thésard sera accueilli au LaMSID (Laboratoire de Mécanique des Structures Industrielles Durables, Unité Mixte de Recherche CNRS/EDF R&D ; <http://www.lamsid.cnrs-bellevue.fr>), et au CEA Saclay.

## Informations pratiques

**Lieu de travail principal:** LaMSID, 1 avenue du Général de Gaulle, 92141 CLAMART

**Partenariat et financement:** co-financement CNRS et CEA-EDF-AREVA envisagé

**Directeur de thèse envisagé :** Michel FOGLI (Lami, Université Blaise Pascal de Clermont Ferrand)

### Contacts :

- Irmela ZENTNER [irmela.zentner@edf.fr](mailto:irmela.zentner@edf.fr)
- Cyril FEAU [cyril.feau@cea.fr](mailto:cyril.feau@cea.fr)
- Jean-Michel THIRY [jeanmichel.thiry@areva.com](mailto:jeanmichel.thiry@areva.com)