

# Analyses probabilistes avec Salome-Meca. Application au calcul de courbes de fragilité pour les études de sûreté sismique

I. Zentner (EDF / R&D / AMA), A.-L. Popelin (EDF / R&D / MRI)

## Contexte et objectifs

Le traitement des incertitudes est un enjeu important pour EDF, notamment dans le contexte de l'extension de la durée de fonctionnement des tranches nucléaires. Il vise en effet à évaluer les conservatismes et à maîtriser les marges.

Dans le domaine particulier du séisme, la démarche des EPS (Etudes Probabilistes de Sûreté) sismiques se situe dans ce cadre. Cette dernière a pour objectif de quantifier le risque sismique compte tenu du chargement aléatoire (séisme) et des incertitudes sur les données. L'un des points clé de la démarche consiste à calculer les courbes de fragilité, qui donnent la probabilité conditionnelle de défaillance d'une structure en fonction d'un paramètre représentatif de l'action sismique.

L'approche probabiliste implique la mise en œuvre d'un nombre important de simulations numériques. Des outils adaptés et performants sont donc nécessaires.

On souhaite en effet traiter des modèles numériques complexes, au moyen de simulations temporelles coûteuses. Celles-ci permettent de représenter de manière plus réaliste les efforts induits par le séisme mais aussi le comportement structural non-linéaire.

## Études paramétriques et analyses probabilistes avec Salome-Meca

Pour mener ce type d'analyse, l'utilisateur peut faire appel aux outils suivants :

- *Code\_Aster* avec distribution de calculs via Astk pour les études paramétriques (plans d'expérience) ;

- les logiciels OpenTURNS et *Code\_Aster* disponibles dans Salome-Meca pour les études probabilistes plus complètes.

Une étude paramétrique est associée à une étude nominale (fichier de commande unique) et à un jeu de paramètres : *Code\_Aster* va décliner l'étude nominale en plusieurs études en fonction des paramètres

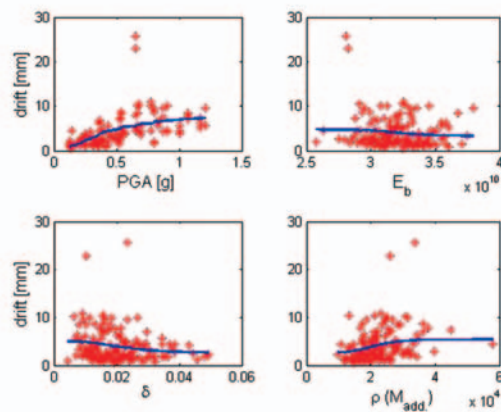


Figure 1: Évolution du drift en fonction des paramètres.

fournis, puis va exécuter chaque déclinaison en prenant en compte les ressources machine disponibles. Le nombre de calculs à réaliser peut devenir très important, jusqu'à plusieurs milliers, et leur mise en œuvre devient très fastidieuse. La gestion des études paramétriques et leur exécution distribuée est possible depuis la version 1.8 de Astk. Ce type d'analyse permet d'effectuer des études probabilistes par tirage. Le pré et le post-traitement sont alors mis en œuvre par un autre code (comme OpenTURNS).

Si le traitement des incertitudes requiert des méthodes plus sophistiquées, et pour davantage d'ergonomie, l'utilisateur peut désormais faire appel à la plate-forme Salome-Meca. La version 2011.1 de Salome-Meca est en effet diffusée depuis janvier 2011 avec le composant OpenTURNS, permettant de réaliser aisément des calculs de traitement d'incertitudes sur un cas d'étude *Code\_Aster*.

# Analyses probabilistes avec Salome-Meca. Application au calcul de courbes de fragilité pour les études de sûreté sismique

I. Zentner (EDF / R&D / AMA), A.-L. Popelin (EDF / R&D / MRI)

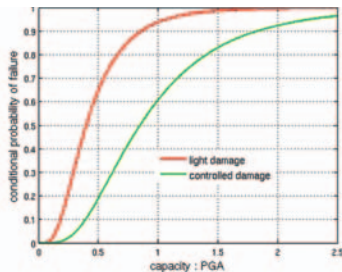


Figure 2 : Courbe de fragilité pour deux niveaux de dommage.

L'utilisation d'OpenTURNS pour les calculs probabilistes permet d'accéder à de nombreuses fonctionnalités et des méthodes avancées. L'utilisateur est aidé par le Guide Méthodologique EDF<sup>(1)</sup> dédié. Le nombre important de calculs nécessaires dans les études probabilistes requiert le besoin de les distribuer, ce qui est également proposé par l'environnement Salome-Meca.

## Application à l'analyse de fragilité sismique : benchmark SMART

Le benchmark international SMART a été lancé en 2008 par le CEA et EDF. L'objectif du benchmark consiste en la comparaison et la validation de différentes approches pour l'analyse dynamique de structures en béton armé sous séisme.



Figure 3 : Vue de la maquette SMART.

Une maquette 3D (à l'échelle 1/4) d'une structure de 3 étages en béton armé a fait l'objet d'une campagne d'essais entre juin et septembre 2008 au CEA Saclay. Lors de la première phase du benchmark, un modèle "best-estimate", recalé à partir des résultats d'essais, a été établi par EDF/SEPTEN. Ce modèle non-linéaire, tenant compte de l'endommagement, a été utilisé dans une deuxième phase du benchmark pour déterminer des courbes de fragilité.

On détermine les courbes de fragilité par simulation numérique à partir du modèle mécanique "best-estimate" et en introduisant les incertitudes liées aux paramètres mécaniques.

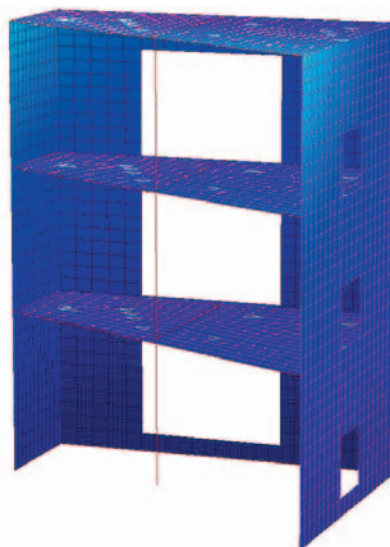


Figure 4 : Modèle aux éléments finis.

Le chargement sismique pour les analyses transitoires est donné via une base de 50 séismes artificiels associés à un scénario sismique donné.

Chaque simulation Code\_Aster best-estimate nécessite entre 4 et 7 heures de temps CPU. La mise en œuvre de calculs distribués lors de cette étude a permis de réaliser les 200 calculs nécessaires à l'élaboration de courbes de fragilité en un temps très raisonnable, en fonction bien sûr de la ressource alors disponible en processeurs. Dans le cas présent, la simulation complète a nécessité 150 heures (calculs distribués) au lieu de 1500 heures (calculs non distribués).

On présente plus en détail les courbes de fragilité numériques obtenues par deux méthodes :

- Estimation des paramètres par maximum de vraisemblance ;
- Méthode de régression.

On évalue également une méthode plus fine, basée sur la construction d'un méta-modèle. Elle permet d'évaluer directement les probabilités de défaillance (point de la courbe de fragilité) par simulation de Monte Carlo tout en gardant un coût numérique équivalent à celui des deux méthodes précédentes.

(1) Couplet M., Dutfoy Lebrun A.-H., Guide Méthodologique pour le traitement des incertitudes. Rapport EDF R&D H-T56-2009-01660, 2009.