

Calcul probabiliste d'interaction sol-structure en support à une EPS sismique

P. Kœchlin, S. Ravet, B. Masson (EDF DIN/SEPTEN)

1. Le contexte: appropriation méthodologique

Une EPS sismique (Etude Probabiliste de Sûreté) a pour objectif de quantifier le risque final de fusion du cœur ou de rejet radioactif dans l'environnement, par rapport à l'événement initiateur que constitue un séisme. Elle comporte quatre étapes :

- 1. Etude probabiliste de l'aléa sismique ;
- 2. Analyse système de la centrale ;
- 3. Evaluation des courbes de fragilité des composants du système, c'est à dire établir la probabilité de rupture d'un matériel en fonction d'un paramètre caractérisant le séisme (typiquement le PGA : Peak Ground Acceleration) ;
- 4. Quantification du risque : l'ensemble des fragilités est combiné avec l'aléa sismique, pour donner finalement la probabilité de fusion du cœur.

Le SEPTEN s'approprie cette méthodologie en utilisant en

particulier Code Aster associé à Miss3D dans l'étape 3. Pour un PGA donné, on cherche à évaluer la réponse de la structure (spectres de plancher, déplacements), en prenant en compte les variabilités liées aux incertitudes du sol et de la structure. Il faut donc faire un calcul probabiliste d'interaction sol-structure.

2. La méthode probabiliste

Pour propager les incertitudes, on utilise la méthode Latin Hypercube. Elle est analogue à une méthode de Monte-Carlo simple, mais permet une accélération de la convergence pour les études linéaires. La spécificité de la méthode Latin Hypercube vient du tirage des différents échantillons de valeurs pour les paramètres, qui est orienté de manière à obtenir une bonne représentation de l'espace des paramètres, avec un nombre de tirage peu élevé. Supposons qu'il existe p paramètres considérés comme p variables aléatoires. Pour chaque paramètre, on effectue un tirage de n valeurs dans n intervalles équiprobables.

Puis ces valeurs sont assemblées en n combinaisons de p valeurs selon les principes d'un hypercube de n^p cases (voir Figure 1).

Le calcul probabiliste s'effectue donc en deux temps :

- 1. Tirage d'échantillons de valeurs pour le jeu de paramètres.
- 2. Boucle python répétant 30 calculs ISS avec Code Aster et Miss3D.

Cette séparation entre la partie tirage aléatoire et calcul déterministe permet en particulier de répéter de manière identique la boucle des 30 calculs ISS, par exemple pour déboguer un fichier de commandes ou pour compléter ou post-traiter des résultats.

Les variables aléatoires prises en compte sont le module d'Young et l'amortissement de la structure, ainsi que le module et l'amortissement du sol.

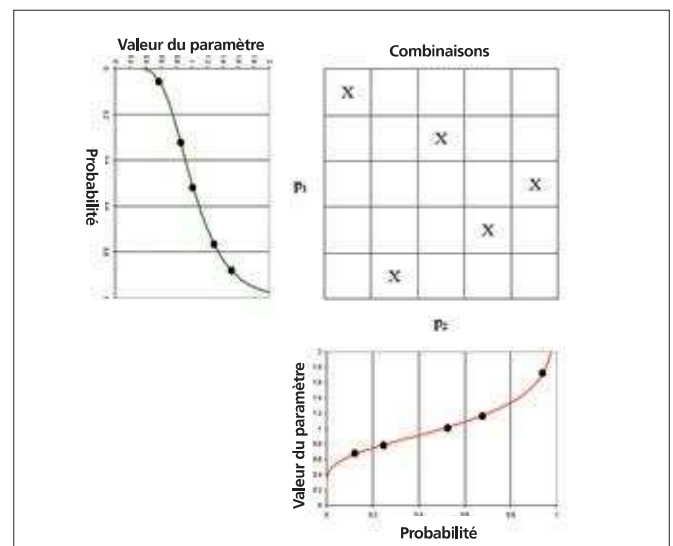


Figure 1 : Hypercube Latin (exemple pour deux paramètres)

Calcul probabiliste d'interaction sol-structure en support à une EPS sismique

P. Kœchlin, S. Ravet, B. Masson (EDF DIN/SEPTEN)

Ces quatre variables aléatoires suivent des lois lognormales. On considère de plus qu'il existe une corrélation entre le module et l'amortissement du sol.

3. Le modèle

Le calcul avec Code Aster et Miss3D est un calcul d'interaction sol-structure classique. Le bâtiment est représenté de deux manières : avec un modèle brochettes-manivelles et avec un modèle plaques, ce qui permet au passage de faire la comparaison des deux modélisations (Figure 2). En terme de temps de modélisation, la construction d'un modèle brochette prend le même temps que la construction d'un modèle plaques.

L'interface sol-structure est maillée à l'aide de plaques, en prenant en compte l'enfoncement éventuel du bâtiment.

4. Le calcul et les résultats

C'est le calcul Miss3D qui prend le plus de temps. Comme le temps de calcul Miss3D dépend directement de la dimension de l'interface, l'ordre de grandeur de la durée des calculs est le même pour le modèle brochette et le modèle plaque. Pour accélérer le calcul modal, on diminue la bande de fréquence de recherche des modes et on complète la base modale par des pseudo-modes statiques calculés avec MODE STATIQUE.

Pour post-traiter les résultats, on utilise MACR SPECTRE afin d'extraire les spectres à chaque itération de la boucle python, puis ensuite CALC FONCTION avec l'option FRACTILE, pour obtenir les fractiles 50% et 84% des spectres.

Les spectres obtenus (Figure 3) permettent de quantifier en premier lieu les conservatismes entre le dimensionnement et la réponse médiane (best-estimate) de la structure. Ensuite l'écart entre la réponse médiane et la réponse à 84% permet d'évaluer les variabilités aléatoires et épistémiques dues aux incertitudes provenant des caractéristiques du sol et de la

structure. Enfin l'écart entre les deux réponses des modèles plaques et brochettes permet d'estimer la variabilité épistémique due à la méthode de calcul.

Pour obtenir les courbes de fragilité sur les équipements, l'analyse doit être complétée par une étude de la capacité du matériel lui-même.

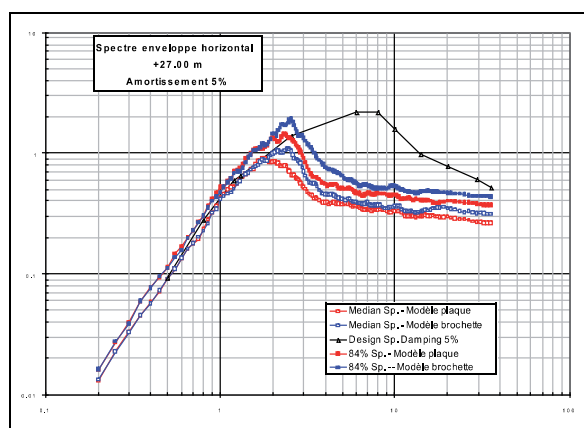


Figure 3 : Exemple de spectres de plancher

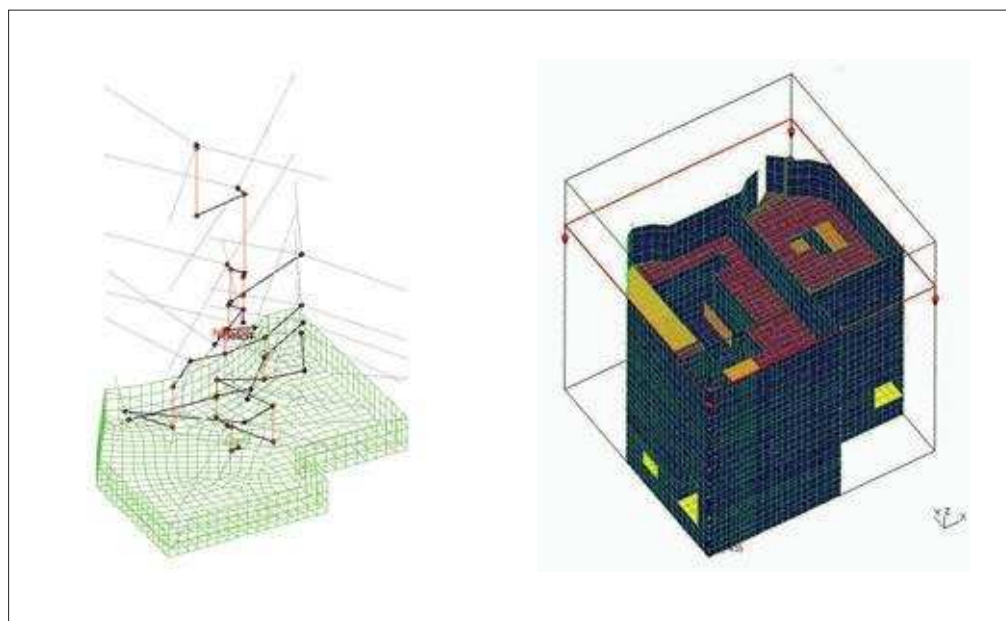


Figure 2 : Modèle brochette et modèle plaques d'un même bâtiment