

## Sujet proposé pour un début de contrat en octobre 2017

---

**TITRE du SUJET :** Qualification des mouvements sismiques 2D et 3D vis-à-vis de différentes typologies de bâtiments

Directeur (trice) :

**LYON-CAEN Hélène, DR1 CNRS, helene.lyon-caen@ens.fr**

Co-directeur (trice) / Co-encadrant(e) : *choisir éventuellement un.e co-directeur.trice avec HDR ou un.e coencadrant.e sans HDR supprimer les mots inutiles et ceux en italique*

**LANCIERI Maria, Ingénieure IRSN, maria.lancieri@irsn.fr**

Equipe d'accueil : *à préciser et supprimer la ligne inutile*

**ENS- Laboratoire de Géologie de l'ENS- UMR 8538  
IRSN - BERSSIN**

Financement : **Contrat doctoral avec ou sans mission d'enseignement**

---

*Plus de renseignement voir : <http://ed560.ipgp.fr>, Rubrique : Offres\_de\_thèse  
Il est indispensable de faire acte de candidature sur le site de l'Ecole doctorale*

---

Développement du Sujet : (1 à 2 pages)

### Contexte:

Depuis des décennies les sismologues et les ingénieurs des structures s'interrogent sur les caractéristiques qui rendent certains accélérogrammes plus ou moins endommageants pour une structure donnée : cela revient à définir des paramètres (dits de nocivité) calculés sur les accélérogrammes, qui sont corrélés à la réponse de la structure sous sollicitation sismique.

La difficulté d'une telle tâche dérive du fait que l'accélérogramme est un signal complexe caractérisé par une forte variabilité. Il contient les informations relatives à la rupture sismique sur le plan de faille, à la propagation des ondes dans le milieu crustal et aux effets liés aux propriétés des couches superficielles sous le site d'enregistrement (conditions de site). Ces trois processus sont hétérogènes et, pour un même scénario sismique décrit par la magnitude et la distance entre la source et le site d'enregistrement, les accélérations peuvent différer significativement en matière d'amplitude, ainsi que de contenu énergétique et spectral.

C'est dans ce cadre que s'inscrit ce projet de thèse qui a pour objectif de définir une méthodologie pour la qualification des accélérogrammes deux/trois-composantes fondée sur des éléments clés, facilement adaptables à plusieurs typologies de structure.

Suivant l'état de l'art, deux stratégies sont mises en œuvre pour répondre à cette question :

1. la première stratégie se fonde sur la description détaillée de la structure, notamment sur les observations des dégâts que la structure présente suite à une sollicitation sismique. Ces observations sont issues de tests sur table vibrante, de missions post-sismiques, de mesures sur sites archéologiques, ou de modélisations. Dans ce cas, la

finesse des modèles de calcul, qui traduit la complexité de la structure, entraîne des temps de calculs élevés, c'est pourquoi peu d'accélérogrammes sont employés. Ceci permet d'aboutir à une description détaillée du comportement dynamique de la structure sans pour autant identifier de corrélation entre le contenu de l'accélérogramme et le comportement de la structure ;

2. la seconde stratégie prévoit l'utilisation de modèles numériques de structures très simples, utiles pour mettre en œuvre des calculs rapides ; il est donc possible d'exécuter une grande quantité d'analyses dynamiques avec beaucoup d'accélérogrammes en donnée d'entrée. Les résultats sont décrits en termes de corrélations de nature statistique entre la réponse de la structure et l'accélérogramme dont seule la composante horizontale est utilisée.

La stratégie que nous souhaitons mettre en œuvre dans ce projet de thèse vise à établir une passerelle entre ces deux approches, en considérant à la fois la complexité de la structure et celle des accélérogrammes.

### Originalité du projet et défis scientifiques :

**Définition des modèles de structure.** Dans le but de fournir une qualification du mouvement sismique tridimensionnel indépendante des hypothèses liées à une structure particulière, les modèles structuraux seront conçus à partir de différentes structures regroupées par « typologie ». La typologie est définie comme un ensemble de structures existantes en grandes quantités et identifiées par leur conception, c'est-à-dire ayant les mêmes formes, les mêmes matériaux, les mêmes dispositions constructives.

L'identification d'une corrélation entre une caractéristique du mouvement et la réponse de la structure peut-être spécifique à la typologie étudiée. Afin de caractériser cette spécificité, différentes typologies seront étudiées.

Dans un premier temps, des modèles tridimensionnels aux éléments finis de structures récentes en béton armé seront conçus. Cette phase permettra à l'étudiant d'apprendre les bases du calcul de structure de génie civil à partir de modèles bien documentés et répertoriés. Ces modèles seront testés en vérifiant que leur comportement sous sollicitation sismique est comparable à celui obtenu avec des modèles plus détaillés.

En réalité, l'originalité de la thèse repose sur la construction de macroéléments structuraux décrivant des structures en maçonnerie relevant du bâti historique et de l'antiquité. L'intérêt de cet exercice est lié à la possibilité d'observer les dommages subis réellement par de telles structures, et donc de « valider » sur des cas réels le comportement des macroéléments.

Lors de la première année de thèse, le doctorant, avec le soutien du comité de suivi, sélectionnera des cas d'études les plus pertinents en termes de quantité et de qualité de la donnée disponible et de la typologie de construction. La base de travail pour la construction des modèles dérive des données publiées dans le cadre d'études spécifiques sur le bâti

historique (travaux de S. LAGOMARSINO, F. RAGUENEAU et FFS PINHO) et des observations issues des études d'archéosismologie.

**Contribution de l'archéosismologie.** L'application au patrimoine bâti représente un domaine riche de potentiels, grâce à l'archéosismologie, une discipline en plein développement depuis les années 1980<sup>1</sup>, qui se définit comme l'analyse, l'interprétation et la datation des traces sismiques. Récemment, le programme pluridisciplinaire mené à Pompéi depuis 2015 a déjà permis de développer trois bases de données spécifiques (ACoR : Atlas des techniques de la Construction Romaine ; OPUS : Outils pour Unités Stratigraphiques construites ; OPUR : Outils pour Unités de Réparation) et de caractériser l'évolution des techniques de construction face au risque sismique.

Un chantier possible d'application de la thèse est le site d'Izmir qui permettra d'examiner une innovation technique de l'époque romaine impériale : l'appareil maçonné à assises alternées de moellons et de terres cuites architecturales. Les conditions du développement de cette technique mériteraient d'être précisées, sa diffusion étant attestée en Italie et dans toutes les provinces romaines dès le I<sup>er</sup> siècle ap. J.-C. et s'imposant bien souvent dans les opérations de reconstruction post-sismique.

De plus des campagnes d'études stratigraphiques des élévations, d'analyses typologiques des techniques de construction et de cartographie systématique des dommages et des réparations sont en cours sur le chantier d'Izmir.

Dans le cadre particulier des édifices anciens, ces études peuvent apporter des informations qualitatives et quantitatives sur la nature des dommages sismiques et des réfections associées en analysant la probabilité pour que le dommage observé soit la conséquence d'un séisme et en datant l'événement sismique. Pour ce faire, différentes méthodes sont sollicitées: étude stratigraphique des élévations, analyse typologique des techniques de construction, cartographie systématique des dommages et des réparations. De plus, l'approche proposée dans cette thèse doit permettre à terme d'aller plus loin en proposant une meilleure compréhension de la source responsable des dommages observés.

**Qualification des accélérogrammes.** L'accélération du sol étant une quantité vectorielle, les accélérogrammes réels, enregistrés lors de séismes, le sont sur trois composantes perpendiculaires entre elles : deux composantes horizontales et une composante verticale. Néanmoins, il existe très peu d'études sur la caractérisation des trois composantes concomitantes de l'accélération.

Les études de qualification des accélérogrammes font appel à plusieurs indicateurs décrivant le pic d'amplitude, les propriétés spectrales et le contenu énergétique. La limite de ces indicateurs est de considérer l'accélération du sol comme étant unidirectionnelle, les propriétés vectorielles du signal sismique n'étant pas prises en compte.

---

1

□ Le terme « archaeosismologie » a été introduit par Karzc et al. en 1977, toutefois les premiers travaux dans le domaine ont été menés par N. Ambraseys dès le début des années 1970 (cf Ambraseys, Nature, 1971)°

Dans le cadre de ce projet de thèse des accélérogrammes réels issus des bases de données Euro-Méditerranéennes et Californiennes seront utilisés. L'utilisation de la donnée réelle permettra de disposer des trois composantes du mouvement telles qu'enregistrées à un site donné lors de l'occurrence d'un séisme. Il sera donc possible d'étudier l'influence du rapport entre les amplitudes des mouvements horizontaux et du mouvement vertical, ainsi que l'influence de la direction principale du mouvement sur la réponse de la structure. Ultérieurement, le rôle de la polarité de la composante verticale (le signe de l'accélération verticale) en correspondance des fortes amplitudes horizontales sur la réponse de la structure devrait également être étudié.

De plus, les accélérogrammes réels sont accompagnés de « métadonnées » c'est-à-dire des informations relatives aux caractéristiques de la faille qui a généré le séisme, aux conditions de sol au site d'enregistrement, à la géométrie faille-site d'enregistrement. Ces éléments constituent un premier jeu d'informations nécessaires pour décrire le processus physique qui a généré l'accélération du sol. Une telle caractérisation peut être réalisée à partir d'analyses statistiques sur les métadonnées. Dans l'idéal, des simulations numériques pourraient conforter ce type d'analyse : il est proposé ici d'ouvrir des pistes dans ce sens mais une étude exhaustive va au-delà de ce projet de thèse.

Ces recherches sont particulièrement prometteuses pour raffiner notre connaissance de la sismicité pré-instrumentale en y apportant des contraintes quantitatives, ces événements n'étant aujourd'hui connus qu'à partir d'intensités macrosismiques déterminées dans la plupart des cas à partir de témoignages écrits relatant les dommages induits sur le bâti. Ainsi, à plus long terme, ce projet pourrait avoir des retombées pour les calculs d'aléa sismique.

#### **Multidisciplinarité du projet et profil du candidat.**

Le projet de thèse proposé est transverse à la sismologie, l'ingénierie du génie civil et l'archéologie. Il se fonde sur la collaboration entre le IRSN/PRP-DGE/SCAN/BERSSIN, le IRSN/PSN-EXP/SES/BEGC et les chercheurs en sismologie et archéologie de l'Ecole Normale Supérieure (Laboratoire de Géologie et Laboratoire Archéologies et philologie d'Orient et d'Occident).

Le suivi de la thèse sera assuré par :

Maria LANCIERI (BERSSIN) et Hélène LYON-CAEN (ENS, Laboratoire de Géologie) sismologues spécialisées dans l'étude des mouvements forts et de la source sismique.

George NAHAS et Julien CLEMENT (BEGC) ingénieurs en mécanique des structures, spécialisés dans l'évaluation du comportement des ouvrages au séisme.

Hélène DESSALES (ENS, AOROC-UMR 8546), et Stéphane VERGER (EPHE, AOROC-UMR 8546), archéologues spécialistes de sites marqués par les impacts sismiques, en Italie, Turquie et Albanie.

