

Rapport sur le mémoire d'Hideo Aochi :
Source sismique : Physique et perspective pour l'Aléa
Pour obtenir l'Habilitation à Diriger des Recherches

Par Pascal Bernard

Hideo Aochi est sismologue, actuellement Chercheur Ingénieur au BRGM, responsable de l'équipe Risque Sismique. Il a débuté une carrière académique avec une thèse de doctorat à l'Université de Tokyo, soutenue en 2000, sur la rupture des failles et la génération des séismes. Il a poursuivi son travail en postdoc à l'ENS à Paris, jusqu'en 2003, passé un an à l'IRSN (2003-2004), avant d'être recruté au BRGM. Il y poursuit ses travaux de recherche fondamentale, tout en les complétant d'une composante appliquée sur les mouvements forts et le calcul de l'aléa sismique. Il a contribué à l'encadrement de plusieurs thèses (3), et a coordonné ou coordonne plusieurs projets (2 projets ANR, 7 projets BRGM), associant de très nombreux partenaires.

Pour ce qui de ses travaux de recherche, avec ses 19 articles dans des revues à comité de lecture de rang A, dont 15 en 1^{er} auteur et 3 en 2^{eme} auteur, et 6 articles dans les deux dernières années, Hideo Aochi s'est très rapidement hissé au niveau des meilleurs spécialistes mondiaux de la modélisation de la source sismique. Une de ses principales contributions a été le développement d'une méthode numérique de calcul par équation intégrale en 3D sans singularité forte, ce qui lui a permis de traiter efficacement la modélisation de ruptures sur des failles non planaires.

Après une introduction générale, son mémoire de HDR présente de manière très didactique et bien illustrée les différents aspects de sa recherche : méthodes numériques, physique de la génération des séismes, applications à l'aléa sismique. Cette présentation montre les très nombreuses facettes de son travail, toutes nécessaires pour une approche intégrée et pertinente de ces processus. Il a pris le parti d'une présentation légère, libérée des équations qui sont au fondement de son travail (ces équations et leur traitement numérique sont bien sûr largement explicités et développés dans ses nombreux articles) pour insister plus sur le sens physique des approches considérées, et leurs conséquences pratiques, bien illustrées par des figures présentant des résultats de calculs et des comparaisons aux observations. Cette présentation est par ailleurs très structurée par de nombreuses références, tant les siennes que celles d'autres équipes, mises en regard les unes aux autres par leurs apports, leurs complémentarités, ou leurs contradictions ; il présente ainsi un panorama dynamique et évolutif de la recherche dans ce domaine depuis une dizaine d'années. Son cheminement personnel est bien explicité, très construit, et les perspectives qu'il ouvre sont bien comprises dans ce contexte.

Dans un premier temps, Hideo Aochi rappelle les différentes méthodes numériques développées pour représenter la rupture des failles et la propagation des ondes – différences finies, éléments frontières, éléments spectraux, éléments finis – dont il décrit sobrement les avantages et inconvénients par rapport au problème de la rupture et de sa radiation (conditions limites, topographie, hétérogénéité, rapidité de calcul, complexité de géométrie de faille,...). Il défend sa propre approche, basée sur les équations intégrales pour décrire la source, couplés à des codes de propagation adaptés au problème posé.

Il décrit ensuite les principaux paramètres contrôlant la physique de rupture. Il présente tout d'abord sommairement les lois de frottements, insistant sur la description d'une dépendance

de ces dernières au paramètre de glissement sur la faille, avec une distance critique dont la valeur semble dépendre de la taille du séisme. Il démontre le caractère probablement artificiel, ou effectif, de cette dépendance, résultant du caractère fractal de la géométrie des surface de rupture, constituée d'aspérités à toutes les échelles. Il démontre l'importance de la segmentation et du branchement de faille, ainsi que des hétérogénéités rhéologiques à grande échelle dans le contrôle de la propagation des ruptures, par des analyses numériques et la simulation de cas réels. Il montre les premiers résultats de modèles dynamiques incluant la sismicité d'une faille sur une longue période de temps, à partir de modèles où l'hétérogénéité est à la plus petite échelle. Enfin, il présente des simulations de grands séismes bien documentés, en jouant en particulier sur les caractéristiques géométriques de failles associées.

Il termine par un chapitre sur le calcul de l'aléa sismique, en montrant comment les modèles qu'il a développés peuvent contribuer à la définition des distributions de magnitude et à la prédiction des mouvements forts. Dans le premier cas, la propagation de la rupture et sa dimension finale dépend en particulier des contraintes (direction et amplitude), de la résistance de la faille, et du point de nucléation, pour une géométrie donnée. Une distribution de ces paramètres incertains conduit, par le calcul numérique de la dynamique, à une distribution de magnitude, et en particulier définit des probabilités d'atteindre un seuil de magnitude. Le calcul des mouvements forts, montre les effets importants de la surface libre lorsque la rupture s'en rapproche, et ceux de champ proche. La variabilité des signaux observés pourrait ainsi être pour beaucoup liés à la complexité de la source sismique, plus qu'à celle de la propagation.

Le dernier chapitre présente les perspectives scientifiques, dans le cadre de son projet de recherche au BRGM sur l'évaluation des risques sismiques. Il montre la nécessité du recours aux observations des structures (géologie, failles, sols) ainsi que des processus de déformation (GPS, accéléromètres). Il y associe le recours à la modélisation, insistant sur la nécessité de travailler avec des fonctions de Green empiriques.

Ses projets personnels de recherche sur la source sismique posent un grand nombre de questions fondamentales sur le processus de préparation des séismes et des ruptures de failles : origine du frottement, interaction de failles, déformations intersismiques, rôle des fluides, rôle des hétérogénéités...

Les perspectives se terminent sur les questions d'aléa sismique, posant le problème du transfert et de l'adaptation des outils numériques à la communauté des ingénieurs. Il s'agit de produire des sismogrammes synthétiques réalistes dans une large bande de fréquence, et en particulier de bien estimer les valeurs extrêmes possibles. Les valeurs prédites devront être intégrées dans des cartes d'aléa dont la validité pourrait être testée en quelques décennies.

Je conclurai ce rapport en soulignant le très haut niveau scientifique de Hideo Aochi, internationalement reconnu, et la pertinence de son projet tant personnel qu'en tant que chef de projet BRGM, avec une approche de recherche résolument fondamentale sur la dynamique des ruptures dont il sait tirer des développements importants pour la science appliquée des ingénieurs sur les questions d'aléa sismique. Hideo Aochi est donc tout à fait digne de soutenir son Habilitation à Diriger des Recherches.

A Paris, le 1 Février 2009



Pascal Bernard