

PAR PIERRE SOLLOGOUB



directeur de recherche à la Direction de l'énergie nucléaire du CEA à Saclay. *Domaine d'activité : comportement sismique des installations et des structures ; diagnostic et réévaluation sismique des installations nucléaires et industrielles existantes en France et à l'étranger. RD sur la dynamique des structures et équipements mécaniques, s'appuyant sur des calculs et des essais. Étude globale du risque sismique. Participation à la rédaction de codes et normes nationaux et internationaux dans ce domaine*

Déterminer la **vulnérabilité** des structures aux **séismes**

Comment se protéger des séismes ? Quel état des structures peut-on considérer comme admissible après un séisme ? À l'approche déterministe historique est venue s'ajouter, depuis une vingtaine d'années, une approche probabiliste s'efforçant de décrire les séismes possibles et leurs occurrences. Les deux approches sont complémentaires.

■ Le phénomène des séismes est bien connu, de même que les zones « à risque ». Mais comment se protéger à l'avance lorsqu'il s'agit d'édifier des constructions, en particulier des centrales nucléaires ? Jusqu'à quel niveau de séisme veut-on se protéger ? Que va-t-on considérer comme état admissible après un séisme ?

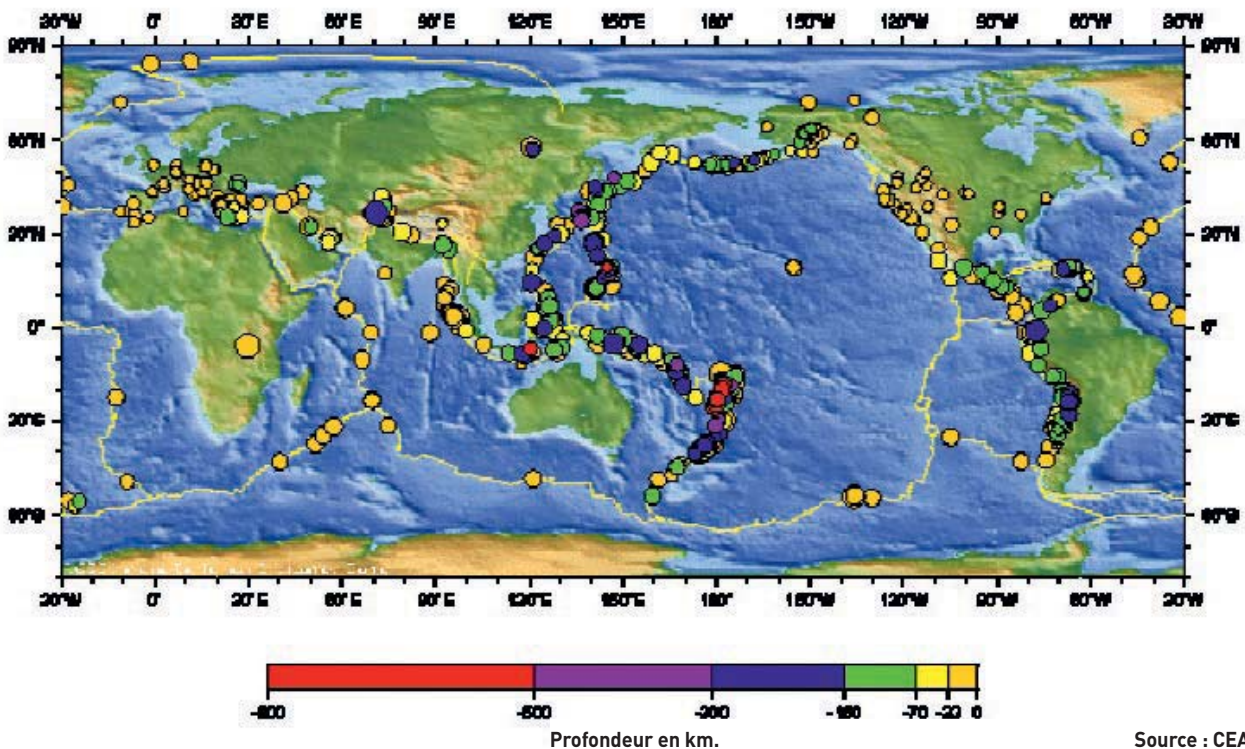
REPÈRES

On appelle « aléa sismique » la probabilité d'apparition d'un séisme. On appelle « vulnérabilité » la plus ou moins grande résistance du bâti. Le « risque » est alors la convolution de l'aléa et de la vulnérabilité.

Magnitude et intensité

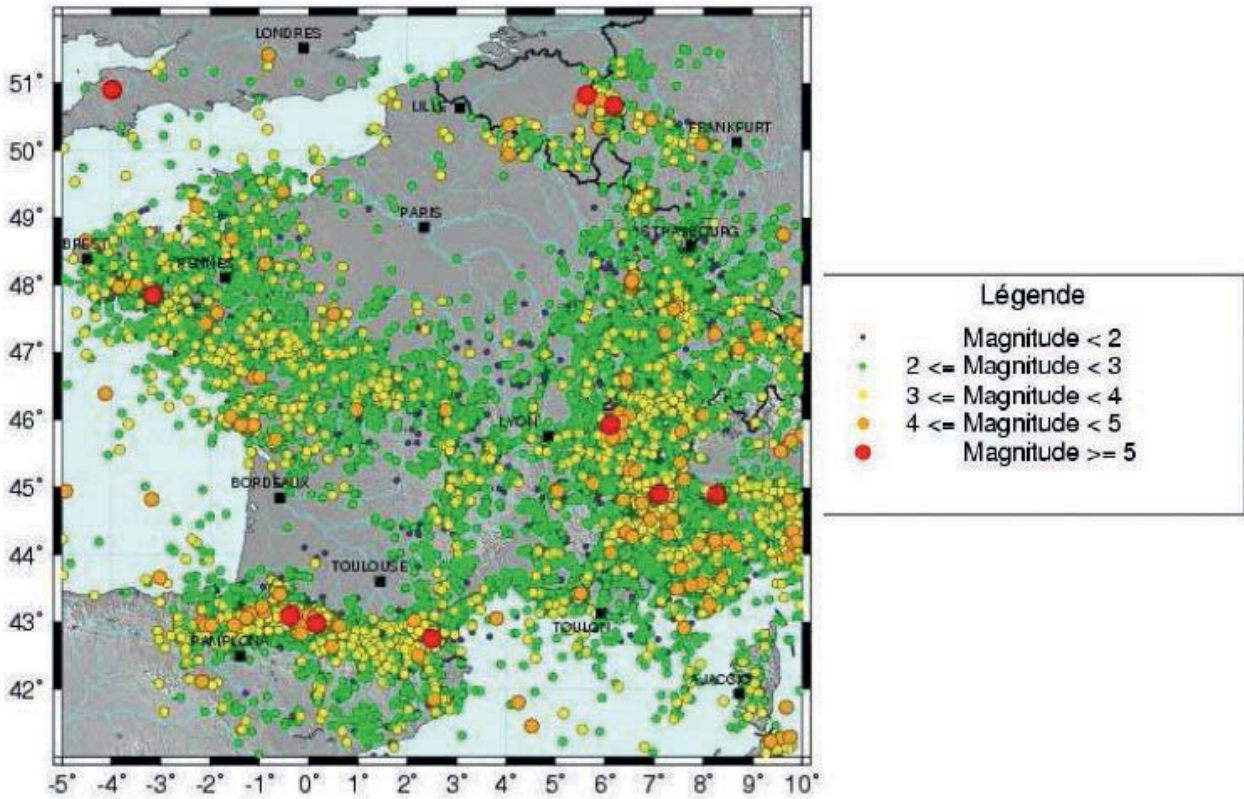
Les séismes résultent le plus souvent du déplacement et de la friction de plaques de la croûte terrestre et se localisent sur des failles dont l'emplacement est bien connu. La mesure de leur « magnitude », à partir des observations des sismographes, est courante depuis les travaux menés en 1935 par Charles Francis Richter. Chaque changement de niveau sur « l'échelle de Richter » correspond à une multiplication par dix de l'énergie libérée. En pratique, les

Sismicité dans le monde





Sismicité en France



Source : Réseau national de surveillance sismique.

Vraisemblance et sécurité

En France, on a déterminé les zones sismogènes à partir des zones de sismicité observées dans le passé. L'hypothèse est que des séismes analogues aux séismes historiques peuvent se produire à nouveau, en tout point de la zone. On définit alors un « séisme maximal historiquement vraisemblable » (SMHV), d'où l'on déduit un « séisme majoré de sécurité » (SMS) en ajoutant un degré sur l'échelle de magnitude (énergie décuplée). À partir d'une « sismothèque » (enregistrements historiques) on déduit les conséquences sur le site considéré, en particulier en termes de mouvements de terrain.

séismes observés (plus de 100 000 chaque année) sont compris entre les niveaux 1 et 10. Tout autre est la notion « d'intensité », qui se fonde sur l'observation des effets et des conséquences du séisme. L'intensité dépend évidemment de la distance du lieu d'observation à l'épicentre du séisme et de la nature des constructions.

Un scénario de séisme

La première approche, dite « déterministe », part de la connaissance historique des zones de sismicité. Le problème, pour chaque site

considéré où l'on se propose d'édifier des bâtiments, est d'essayer d'apprécier les conséquences d'un séisme donné, autrement dit des scénarios de séismes. Ceux-ci sont définis en termes de magnitude et de position par rapport au site. Reste alors à établir la loi d'atténuation qui permettra d'en déduire les répercussions sur le site, en particulier en termes de mouvements de terrain et de pics d'accélération. On en déduit alors des zones dites « sismogènes », où les conséquences d'un séisme sont homogènes. Cette déduction s'appuie sur des données géologiques, géophysiques et sismologiques. Par exemple, l'épaisseur de la croûte terrestre, l'épaisseur de la couverture sédimentaire, les déformations récentes. Sont prises en compte des mesures de contraintes *in situ* ou à partir d'observations par GPS.

Calculer l'occurrence

La deuxième approche, dite « probabiliste », est apparue il y a une vingtaine d'années. Elle consiste à considérer tous les séismes qui peuvent affecter le site et à calculer leur possible occurrence, c'est-à-dire leur taux de récurrence. L'application de lois d'atténuation permet de déterminer les mouvements attendus sur le site avec leur taux d'apparition. ➤

Approches déterministes et probabilistes sont complémentaires



Comment déterminer la réponse des structures ? Séisme de Kocaeli (Turquie) en 1999.

- En pratique, on admet que les séismes peuvent se produire de façon uniforme et l'on applique une loi d'occurrence (dite Gutenberg-Richter) et des lois d'atténuation.

Bien sûr, de nombreuses « incertitudes » affectent le processus : l'emplacement des sources de séisme (failles, aspérités) n'est pas connu avec précision, de même que les lois de propagation ou les caractéristiques propres au site ; les catalogues sismiques sont incomplets (limités dans le temps) ou même prêtent à contestation, en France en particulier ; les lois d'atténuation ne font pas l'unanimité.

En pratique, les tenants de la méthode probabiliste admettent deux types d'incertitudes : celles qui sont aléatoires et celles qui relèvent d'une connaissance imparfaite des phénomènes, sans qu'il soit toujours possible de bien distinguer les uns des autres. Ils ne manquent pas de méthodes pour tenter d'y remédier (Monte-Carlo, arbres logiques).

Des résultats controversés

Des études probabilistes complètes ont été menées aux États-Unis dans les années quatre-vingt pour la réévaluation des réacteurs nucléaires implantés à l'est des montagnes Rocheuses. À partir de données comparables ont été conduites deux études indépendantes par deux organismes différents. Les résultats ont été significativement différents, sans que les raisons de ces écarts aient été convenablement éclaircies. La définition d'une métho-

dologie dite SSHAC (Senior Seismic Hazard Analysis Committee) a été alors confiée à un Comité de sages. Une étude réalisée en Suisse sur les trois sites nucléaires de ce pays, selon la méthode SSHAC, a conduit à des résultats également très discutés.

En France, un « zonage » sismique est en cours de mise à jour. Des méthodes en cours d'élaboration définiront la durée des observations et l'indépendance des observations.

La comparaison des déclenchements prédits par différents modèles aux déclenchements effectivement observés sur les sites d'EDF et de RAP (Réseau accélérométrique permanent) montre une assez bonne corrélation. Il est toujours bon de se raccrocher aux « retours d'expérience », malgré la durée limitée des observations.

Évaluer la réponse des structures

Estimer les possibles mouvements de terrain est une chose, savoir comment les structures vont effectivement réagir en est une autre.

De même, comment décrire et définir les « risques acceptables » et comment en déduire la « vulnérabilité » des structures en question. Autant de questions qui méritent de nouveaux efforts de recherche, des comparaisons avec des pays davantage soumis que la France aux risques sismiques, des échanges plus nombreux entre spécialistes.

Approches déterministes et probabilistes sont complémentaires. Mais avant tout, restons modestes. ■