

LES RÉPLIQUES

Après un séisme important, il n'est pas rare de constater que de nombreux séismes de plus faible magnitude se produisent dans la zone de l'épicentre. Leur nombre et la durée de la séquence sismique varient d'un séisme à l'autre mais ils peuvent continuer à endommager les structures déjà fragilisées par le séisme principal. Surtout, ils maintiennent les personnes déjà affectées dans un état d'inquiétude constante, les fragilisant psychologiquement. Anticiper les répliques est une activité difficile sur laquelle de nombreux chercheurs se penchent.

UNE SÉQUENCE SISMIQUE

Un tremblement de terre se décompose souvent en une séquence de trois étapes successives :

Les précurseurs – Avant le séisme principal, on voit parfois se produire des séismes annonciateurs : **les précurseurs**. Ceux-ci sont habituellement peu nombreux, pas toujours ressentis par la population et ils couvrent généralement une période située immédiatement avant le séisme principal. On considère qu'environ 40% et 70% des séquences sismiques ont des précurseurs, respectivement pour des séismes modérés à forts et des séismes de magnitude supérieure à 7.

Il est difficile d'identifier parmi l'activité sismique moyenne les séismes précurseurs, ces derniers sont généralement identifiés a posteriori.

En combinant de nombreuses observations, on constate que les précurseurs font partie de la **phase de préparation de la nucléation du séisme principal**. La nucléation correspond à un changement des conditions au niveau d'une faille, aboutissant à l'apparition d'un tremblement de terre. Le point de nucléation correspond à l'endroit sur la faille où commence le séisme, en réaction à une augmentation des contraintes présentes dans la croûte terrestre.

Le séisme principal – La deuxième étape couvre un temps court, caractérisée par le séisme ayant la plus forte magnitude de la séquence. D'origine tectonique, il correspond à une **décharge de l'énergie accumulée dans la croûte, capable de produire une rupture le long d'une faille**.

La durée du séisme principal correspond au temps nécessaire à la rupture pour se développer. Elle dépend de la magnitude du séisme et les vibrations associées vont aussi dépendre de la distance à laquelle nous nous situons par rapport à l'épicentre. Généralement, cette séquence s'étale sur plusieurs dizaines de secondes, atteignant parfois quelques minutes pour les plus fortes magnitudes.

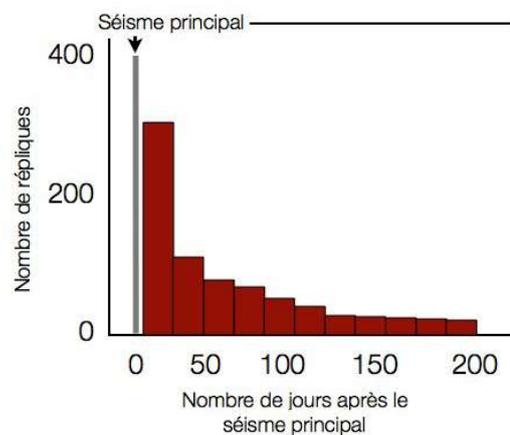
C'est au cours de cette séquence que se produisent généralement les plus fortes conséquences, économiques et humaines.

Les répliques – Enfin la troisième étape couvre celle des répliques, c'est-à-dire la période durant laquelle **des centaines, voire des milliers de séismes se produisent en réaction au tremblement de terre principal**. En général, leur nombre varie avec la magnitude et la nature du séisme principal.

Leur magnitude est toujours inférieure à celle du séisme principal. En général la réplique la plus forte a une magnitude inférieure de 1.1 à 1.2 par rapport à celle du séisme principal selon la loi proposée par Markus Bath en 1965.

Les répliques se localisent essentiellement sur le plan de faille du séisme principal ou sur des failles proches situées dans les zones mises en charge par le séisme principal. Elles couvrent ainsi une région proche de la zone de l'épicentre, de l'ordre de la longueur de la faille ayant rompu. Les répliques peuvent s'étaler sur un temps très long, avec **des conséquences importantes sur les personnes et les structures déjà fortement fragilisées par le séisme principal**.

Pour mieux les interpréter, des réseaux d'intervention post-sismique sont généralement déployés rapidement après le séisme principal, afin de mieux identifier la faille qui a rompu, les mécanismes des séismes, les processus en jeu, etc.



Décroissance du nombre de séismes dans la région du séisme de Maule (Chili, 2010) en fonction du temps écoulé depuis la date du séisme. Ces répliques ont été enregistrées par le réseau temporaire d'intervention post-sismique du CNRS/INSU, installé une semaine après le séisme principal. (Données RESIF-DC).

L'organisation d'une séquence sismique suit en général cette structuration mais bien évidemment il est possible de voir des séquences s'éloignant plus ou moins de ce modèle général. Cependant, on constate dans la nature que ce modèle représente la grande majorité des séquences sismiques observées.

COMMENT GÉRER LA PÉRIODE DES RÉPLIQUES ?

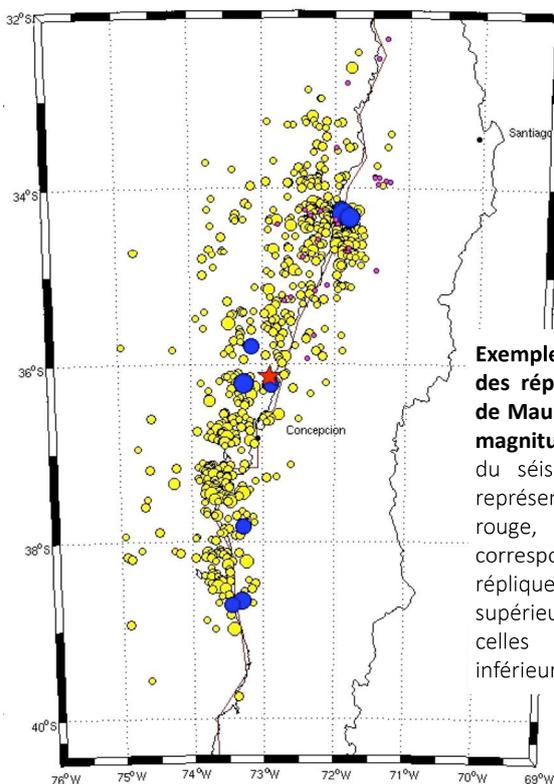
La répartition en temps des répliques

Après le séisme principal, le nombre de répliques se produisant par unité de temps (c'est-à-dire le taux par minute, heure, jour...) décroît rapidement. **Le taux de répliques est proportionnel à l'inverse du temps écoulé depuis le séisme principal.** On peut l'utiliser afin d'estimer la probabilité qu'une réplique se produise au cours du temps. Ainsi, quelle que soit la probabilité qu'une réplique se produise le premier jour, le deuxième jour la probabilité est égale à la moitié de la probabilité du premier jour et le dixième jour correspondra à environ 1/10 de la probabilité du premier jour, etc...

Cette relation empirique a été décrite pour la première fois par un sismologue japonais (Fusakichi Omori en 1894) et est connue comme la **loi d'Omori**.

Simultanément, le nombre de répliques par magnitude après un séisme principal suit une loi du type Gutenberg-Richter. En combinant ces deux lois, **il est possible de déterminer la probabilité d'avoir une réplique ainsi que sa magnitude, en fonction du temps.** Des études récentes ont montré que le régime de décroissance des répliques est fonction de la région où a lieu la séquence.

L'analyse des répliques sismiques permet d'enrichir et de compléter la connaissance du séisme principal. Néanmoins, de nombreuses interrogations restent à approfondir en ce qui concerne la distribution en temps et en espace des répliques.



Exemple de localisation des répliques du séisme de Maule (Chili, 2010) de magnitude 8.8. La position du séisme principal est représentée par l'étoile rouge, les cercles bleus correspondent aux répliques de magnitude supérieure à 6, en jaune celles de magnitude inférieure à 6.

La fragilisation des bâtiments

Au cours d'une séquence de séismes, les bâtiments sont susceptibles d'accumuler les dommages. Ils peuvent se fragiliser pendant le séisme principal, puis ne plus être capables de résister à une réplique de magnitude inférieure, pouvant entraîner leur ruine totale.

C'est la raison pour laquelle, immédiatement après un séisme, architectes et ingénieurs sont mobilisés afin d'évaluer rapidement l'intégrité des bâtiments sur lesquels ils vont appliquer un tag : vert, le bâtiment est a priori sûr ; rouge, le bâtiment doit être détruit ; orange, le bâtiment présente des faiblesses et devra être analysé plus tard. Cette classification permet de **donner l'autorisation aux populations de réintégrer leur domicile.**

Cette évaluation rapide est certes imprécise mais la pression des populations à vouloir réintégrer leur domicile impose une rapidité d'exécution. La mise en sécurité des populations est importante comme on l'a vu lors du séisme de Christchurch (Nouvelle-Zélande, 2010) au cours duquel ce sont les répliques qui ont provoqué le plus de pertes.

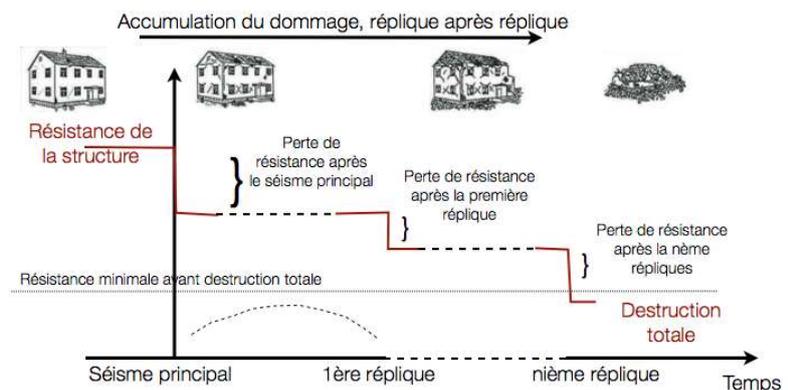


Illustration de l'accumulation du dommage, réplique après réplique. Les structures fragilisées après le séisme principal, résistent moins et peuvent continuer à s'endommager avec des séismes de plus faible magnitude qui caractérisent la séquence de répliques.

La gestion des personnes

Au cours de ces répliques, la gestion des populations est essentielle. Passé le choc psychologique du séisme principal, les répliques entretiennent un état de stress. Ce stress entraîne sur le long terme des conséquences non négligeables pour la société, et préparer les populations est également un élément du dispositif de prévention vis-à-vis du risque sismique. Des témoignages décrivent également avoir ressenti des "séismes fantômes", c'est-à-dire des secousses sans tremblements de terre, à la manière des marins qui, une fois à terre, continuent de sentir la houle.

LES RÉPLIQUES SONT DIFFICILES À GÉRER. Il est encore compliqué d'estimer quand et avec quelle magnitude une réplique va se produire, même si l'apport des nouvelles données permet une meilleure compréhension du processus. Dans une séquence sismique, la gestion de la phase des répliques est complexe pour les autorités, à cause de l'état de stress, de l'urgence et des bâtiments à évaluer. Il faut néanmoins intégrer le fait que si un séisme majeur se produit, avoir anticipé l'après permet une meilleure gestion et réduit considérablement les pertes.