

# COMMENT ON PEUT FAIRE DES TREMBLEMENTS DE TERRE ARTIFICIELS

Guillaume Cyr et Paul Glover

Dans les régions montagneuses du Kirghizstan → des expériences innovatrices sont effectuées; les Russes déclenchent des tremblements de terre. Dans un projet de recherche plus près de la science-fiction que du monde réel, des scientifiques utilisent un grand générateur magnétohydrodynamique à impulsions pour injecter des milliers d'ampères de courant dans la terre. Le courant provoque des tremblements de terre jusqu'à 150 km de distance. Personne pour l'instant ne connaît le mécanisme en cause, mais il est inévitablement relié à l'injection de courant électrique. Paul Glover, le professeur de pétrophysique à l'Université Laval (Québec), a suggéré un mécanisme, mais c'est à son étudiant Guillaume Cyr que revient la tâche de modéliser le mécanisme dans le but de vérifier si l'augmentation de pression du fluide dans les pores est suffisante pour amorcer des tremblements de terre.



Les montagnes au sud de Bishkek au Kirghizstan.

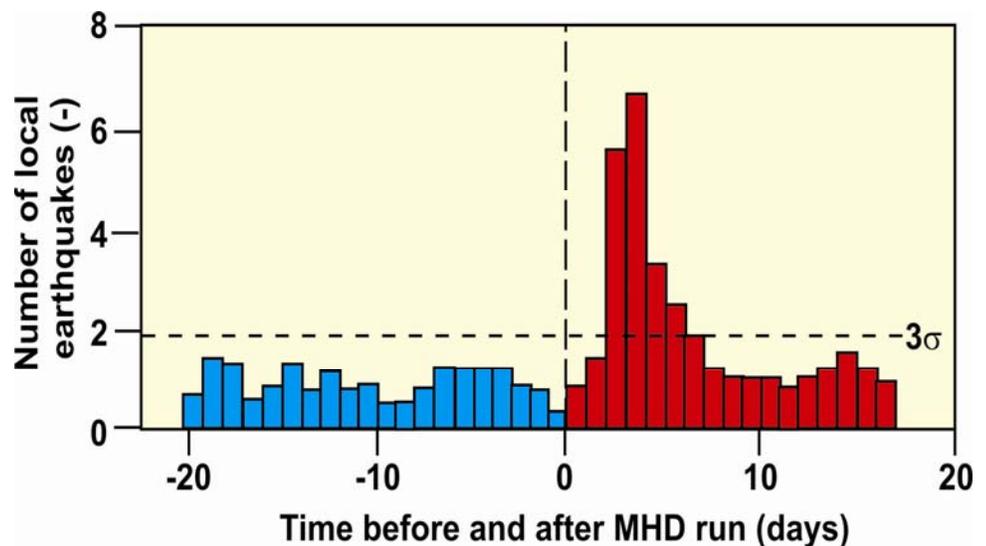


Un générateur MHD à impulsions de 1500 A situé au Kirghizstan.

Les générateurs magnétohydrodynamiques (MHD) à impulsion utilisent les forts champs magnétiques générés par un plasma en mouvement pour produire des courants électriques énormes. Les générateurs utilisés pour provoquer les secousses peuvent produire 2800 ampères à 1350 volts pendant 12.1 secondes, soient des énergies aussi grandes que 23 mégajoules. Sur l'image ←, les trois longs tubes génèrent le plasma et le propulsent dans une cavité non conductrice qui est entourée de fils électriques hébergés dans les larges enceintes circulaires. En fait, ce sont trois générateurs MHD à impulsions en parallèle. Quand le plasma se déplace à grande vitesse dans la cavité non conductrice, il génère un champ magnétique énorme perpendiculaire au mouvement. Le champ magnétique génère alors un très grand courant électrique dans les fils.

Viktor Novikov et ses collègues de l'institut des Hautes Densités d'Énergie de l'Académie des Sciences Russe ont exécuté un grand nombre d'expériences d'injections de courant utilisant un dipôle d'environ 5 km de long à sa Station de Recherche de Bishkek situé dans la vallée Chu au sein des montagnes du Kirghizstan (Tien Shan du nord). Ils ont trouvé que le nombre de séismes dans un rayon de 150 km du site d'injection augmentait par plus de 10 déviations standards ( $\sigma$ ) par rapport au bruit de fond sismique. Pour mettre cela en contexte, la statistique stipule que le nombre de séismes excéderait  $3\sigma$  seulement une fois sur 400 (99.75%) si les tremblements de terre n'étaient pas reliés aux injections de courant. La probabilité qu'un signal soit plus élevé par 10 déviations standards seulement par les fruits du hasard est si minuscule que ça surviendrait qu'une fois sur  $10^{15}$ . (i.e., seulement pour quelques microsecondes depuis le commencement de l'Univers, soit plus de 10 milliards d'années!).

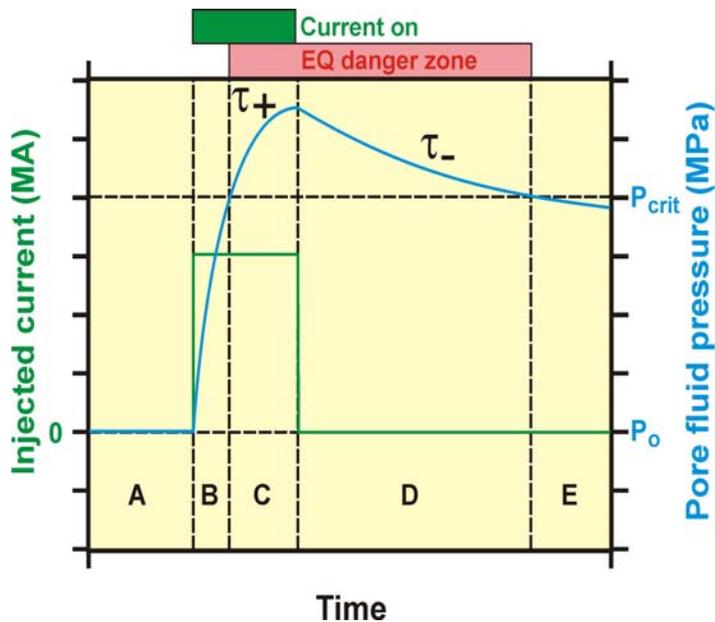
L'augmentation dans les tremblements de terre commence quelques jours après chaque injection et continue pendant environ 5 jours →. Les tremblements de terre surviennent généralement le long des zones de failles connues. Ce qui montre que l'injection de courant amorce le glissement aux endroits où il y a déjà de l'énergie de tension d'accumulée. Où les secousses ne sont pas distribuées le long de zones de failles connues, de nouvelles zones de failles peuvent être cartographiées. Les tremblements de terre artificiels ont des magnitudes allant jusqu'à  $m_b = 5$  sur l'échelle de Guttenberg-Richter.



The smoking gun ! Les tremblements de terre surviennent 2 à 7 jours après l'injection de courant.

Quelles sont les applications des tremblements de terre artificiels ? Chaque fois qu'un séisme survient, de l'énergie de tension accumulée est déchargée. Donc, si de petits tremblements de terre contrôlés peuvent être générés, l'accumulation de tension peut être allégée, rendant ainsi la survenance de gros tremblements destructeurs moins probable. Ceci est analogue à une vaccination : la génération artificielle atténue les tremblements de terre et nous protège contre les gros de la même façon qu'une forme affaiblie d'un virus permet au corps de développer des anticorps pour combattre l'attaque d'un dangereux virus. La différence est qu'ici on vaccine la terre ! Toutefois, la nature logarithmique de l'échelle des tremblements de terre implique qu'il faudrait 172 000 séismes artificiels de magnitude 5 pour en prévenir un de magnitude 7, et ceci est clairement impraticable. Peut-être qu'alors la technique pourrait être utilisée pour amorcer une large secousse donnant au moins l'avantage de connaître quand le tremblement de terre va survenir. Malheureusement, cette application est probablement politiquement impossible. L'avantage réel de la technique peut se trouver à plus petite échelle pour la cartographie des zones de failles ou le déclenchement de glissements de terrain qui sinon représenteraient un danger. Et bien sûr, cela peut également servir à la compréhension des tremblements de terre dans sa généralité.

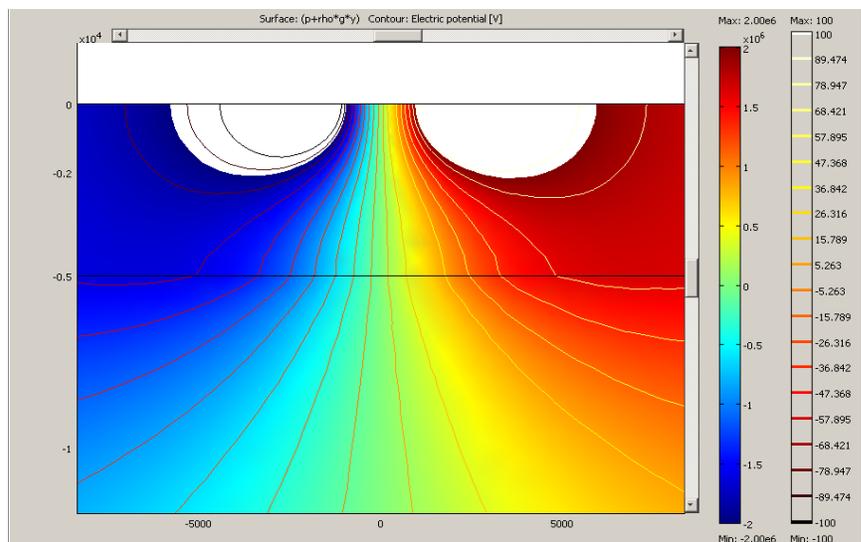
Au moins, cela donnerait un aperçu des processus reliés aux tremblements de terre si on pouvait connaître le mécanisme qui cause ceux qui sont artificiels.



La variation théorique de la variation de pression du fluide dans les pores causée par l'injection de courant.

Le professeur Paul Glover de l'Université Laval de Québec a suggéré qu'un mécanisme électrocinétique pouvait être le lien causal manquant. Dans cette théorie, le courant injecté crée un champ électrique à trois dimensions sous la surface. Le mécanisme de l'électrocinétique utilise le champ électrique pour faire circuler le fluide des pores en profondeur. Si le fluide des pores s'écoule dans une zone de failles, il peut s'y accumuler et faire augmenter la pression. Il est connu qu'une augmentation de pression au-delà de la pression critique de 0.05 mégapascal (MPa) est suffisante pour amorcer un tremblement de terre si la faille a accumulé suffisamment de tension. Sur le graphique de la pression du fluide par rapport au temps ← la pression augmente très rapidement à un taux  $\tau_+$  parce que poussé par la force électrocinétique, et alors diminue plus lentement à un taux  $\tau_-$  parce que la pression se dissipe passivement. Les tremblements de terre sont possibles lorsque la pression du fluide dans les pores est au dessus de la pression critique.

Bien que la force électrocinétique a été confirmée dans le Laboratoire de Pétrophysique de l'Université Laval et quelques autres laboratoires à travers le monde, il est incertain que le mécanisme peut faire augmenter suffisamment la pression pour amorcer des secousses jusqu'à 150 km du point d'injection. Guillaume Cyr, un étudiant de l'Université Laval, a modélisé le processus numériquement. Son modèle à deux dimensions a été créé avec le logiciel Comsol Multiphysics →.



Modèle montrant qu'une augmentation de pression de 2 MPa (rouge) est générée à la droite de la première couche (5 km d'épaisseur). Les aires en blanc ont des variations de pression plus grande que 2 MPa et entourent chaque électrode du dipôle d'injection.

Après avoir défini la structure du modèle, il a été capable de résoudre les équations différentielles qui décrivent l'écoulement du fluide, le flux électrique, le couplage électrocinétique, la conservation de masse et les effets thermiques en parallèle sur une grille à éléments finis. La modélisation est toujours en cours. Toutefois, des solutions préliminaires de l'état stationnaire sur un sol formé de couches horizontales montrent qu'une augmentation de pression de 3 MPa peut facilement être atteinte avec une injection de courant de 1500 ampères et que la pression reste plus grande que la pression critique de 0.05 MPa jusqu'à 150 km du point d'injection.

Nous savons maintenant que des pressions de fluide suffisantes peuvent être générées utilisant l'état stationnaire des équations différentielles. À ce jour, la modélisation ne fournit pas d'information sur la façon que la pression du fluide varie avec le temps. Ceci est particulièrement important puisqu'il pourrait arriver qu'activer le générateur pendant seulement 10 secondes soit insuffisant pour obtenir les valeurs de l'état stationnaire. Résoudre ces équations différentielles complexes en fonction de l'espace et du temps est une tâche extrêmement complexe et représente la prochaine étape pour M. Cyr. Il est souhaité que nous aurons des résultats en décembre 2009.

En attendant ce moment, nous pouvons confirmer que brancher votre électricité domestique dans votre jardin est non seulement très dangereux, mais qu'il ne causera pas de tremblements de terre également - S'il vous plait, ne pas essayer cela à la maison.