



CONGRÈS ANNUEL DE LA SOCIÉTÉ CANADIENNE DE
GÉNIE CIVIL 1992

1992 ANNUAL CONFERENCE OF THE CANADIAN SOCIETY
FOR CIVIL ENGINEERING

MAY 27-29 MAI, 1992, QUÉBEC, QC

MYTHES ET RÉALITÉS DU GÉNIE PARASÉISMIQUE AU QUÉBEC

Michel Bruneau, Ph.D., P.Eng.

Département de Génie Civil
Université d'Ottawa, Ottawa, Ontario, K1N 6N5

RÉSUMÉ

Cet article vise à dissiper quelques mythes, et rétablir certaines réalités du génie paraséismique propre à la région du Québec métropolitain. En particulier, (a) certaines conjectures erronées concernant les zones d'activité séismique autour de la région de Québec sont revues et corrigées par une présentation succincte des connaissances séismologiques disponibles; (b) les effets de sols et leur importance réelle pour la conception paraséismique des structures sont présentés; (c) la dépendance des structures modernes sur le développement d'une réponse séismique ductile est discutée dans le contexte des nouvelles équations récemment introduites dans le Code National du Bâtiment du Canada (CNBC); (d) l'obligation morale et légale de respecter intégralement les exigences séismiques du CNBC est renforcée; (e) et l'impossibilité de recourir à une clause de force majeure pour dégager les ingénieurs de leur responsabilité face au risque séismique est discutée. Le rôle clef des activités de sensibilisation et préparation de la population est souligné, et une liste de priorité pour l'implantation d'un programme de réduction du risque séismique est suggérée.

INTRODUCTION

Une des plus importantes zones d'activité séismique dans l'est de l'Amérique du Nord se situe au Québec, dans la région de Charlevoix-Kamouraska, à environ 100 km au nord-est de Québec. Plusieurs tremblements de terre approchant la magnitude 7 s'y sont produits par le passé, et les séismologues s'entendent pour dire qu'un événement de magnitude 7.5 y est possible, quoique de faible probabilité. En termes d'énergie, un tel séisme serait respectivement 4 fois et 500 fois plus puissant que ceux de Loma

Prieta (à 100 km au sud de San Francisco, magnitude 7) 1989 et du Saguenay (à 120 km au nord de Québec, magnitude 6) 1988 (Bruneau 1991).

Cet article vise à dissiper quelques mythes, et rétablir certaines réalités du génie paraséismique propre à la région du Québec métropolitain.

MYTHES ET RÉALITÉS

Mythe #1

Les tremblements de terre antérieurement attribués à la région de Charlevoix-Kamouraska eurent en réalité leurs épicentres proche de celui du Saguenay de novembre 1988. Conséquemment, une autre période de "dormance" séismique de 60 ans a commencé en 1988.

Réalité # 1

Cette conjecture, quoiqu'intéressante, n'est pas supportée par l'évidence. Notons d'abord que le soi-disant cycle de 60 ans, souvent cité par les médias québécois, est tout-à-fait fictif, étant une moyenne simple des intervalles entre quelques séismes importants, y compris celui de 1925, allant de dix ans à plus de cent ans.

Dans un premier temps, l'évidence la plus pertinente tirée des études sur le tremblement de terre du 28 février 1925 (1^{er} mars, heure de Greenwich), provient d'une analyse fournie récemment par Stevens (communication écrite du 6 janvier 1992). Ce tremblement de terre de magnitude 6.5 à 7.0, chiffre qui dépend des données et de l'échelle de magnitude utilisée, a été largement ressenti dans l'Est canadien et le Nord-Est américain, et enregistré par presque toutes les stations sismographiques du monde. La localisation du séisme de 1925 est donc basée sur des mesures instrumentales. Des études détaillées menées par le sismologue canadien Ernest A. Hodgson (1928, 1950) ont situé l'épicentre à 47.6°N, 70.1°O, c'est-à-dire sous le Saint-Laurent entre les communautés de La Malbaie et Rivière-Ouelle, avec une incertitude de ±40 km. Il a également démontré une bonne corrélation entre ce résultat et les observations descriptives rapportées après ce tremblement de terre et ses répliques (après chocs).

Plus tard, les enregistrements sismographiques de 1925 ont été réexaminés par d'autres chercheurs, exploitant des techniques d'analyse plus sophistiquées, pour arriver à une relocalisation plus précise de l'épicentre, mais à l'intérieur des valeurs publiées par Hodgson. Par, exemple, Stevens (1980) a calculé un épicentre à 47.8°N, 69.8°O, avec une incertitude de ±15 km, résultat qui fut indépendamment confirmé par Dewey et Gordon (1984). Ceci situe l'épicentre sous le fleuve, près de l'île aux Lièvres, à environ 30 km au nord-est de l'endroit déterminé par Hodgson environ 50 ans auparavant. Ces diverses études démontrent sans équivoque que l'épicentre d'un des plus gros séismes dans l'est de l'Amérique du Nord au 20^e siècle ne se trouve pas dans

la région du Saguenay, mais bien dans celle de Charlevoix-Kamouraska, 100 km plus au sud.

Dans un deuxième temps, il faut comprendre que la micro-séismicité, c'est-à-dire l'activité séismique perceptible par l'instrumentation de haute sensibilité est un outil important pour l'étude de l'activité tectonique locale. Là où grand nombre de petits tremblements de terre se produisent, des séismes de magnitude plus importante, mais moins nombreux, pourraient aussi se produire tôt ou tard. Malheureusement, une absence de petits séismes ne garantit pas une paix séismique durable. Des aberrations, comme le séisme du Saguenay de 1988, sont évidemment toujours possibles et consistantes avec certains modèles tectoniques récents (Basham 1987) qui supposent que de tels tremblements de terre peuvent se produire, avec une faible probabilité, presque n'importe où dans l'est de l'Amérique du Nord. La séismicité récente pour une région d'environ 100,000 km² autour de la ville de Québec est présentée sur les Figures 1a et 1b pour tous les séismes ayant une magnitude supérieure à 3.0 et 2.0, respectivement, enregistrés durant la période 1970-90. L'activité dans la région Charlevoix-Kamouraska est indéniable, et n'a pas diminué après novembre 1988. De plus, il est notable que l'activité visible dans la région du Saguenay est essentiellement attribuable au séisme du Saguenay de 1988 et ses répliques.

Par conséquent, fort de l'évidence fournie par les modèles tectoniques modernes et l'activité micro-séismique respective de ces régions, il est clair que le tremblement de terre du Saguenay de 1988 n'a en rien modifié la séismicité de la région Charlevoix-Kamouraska. Le dernier séisme important dans la région de Charlevoix-Kamouraska ayant eu lieu il y a 67 années, un séisme majeur semblerait attendu prochainement, peut-être même avant la fin du siècle, quoique l'intervalle entre les séismes importants dans Charlevoix-Kamouraska (où ailleurs) est très variable et donc imprévisible. Les modèles sismologiques actuels révèlent que des séismes de magnitude ayant jusqu'à 7.5 peuvent être générés dans cette région (Basham et al. 1982).

Mythe #2

Les structures construites sur le roc sont "à l'abri" des tremblements de terre.

Réalité #2

Commençons d'abord par le cas des sols mous. Ces sols peuvent agir de trois façons différentes lors des tremblements de terre. Ils peuvent (a) amplifier l'intensité des ondes séismiques, (b) filtrer le contenu des fréquences de l'excitation, et (c) se liquéfier. Les cas de liquéfaction, quoique spectaculaires, nécessitent certaines conditions géotechniques spéciales pour se produire, et la discussion de ce phénomène dépasse le contexte de cet article. Pour ce qui est de l'effet de filtre, les conséquences sont également fonction de la profondeur du dépôt mou et de sa distance épicentrale. Lors du tremblement de terre du Mexique de 1985, le dépôt profond d'argile sur lequel une

partie de la ville de Mexico (distance épacentrale de 400 km) est construite transformant les ondes sismiques de courtes périodes dans le roc en une excitation quasi-parfaitement sinusoïdale et de plus longue période à la surface du sol mou. Les structures ayant leur période de vibration fondamentale proche de celle de l'excitation, dans ce cas-ci les édifices de 10 à 20 étages, entrèrent en résonance dynamique et furent sévèrement endommagés.

Cependant, l'effet le plus néfaste des sols mous demeure la capacité d'amplifier les ondes sismiques. Lors des tremblements de terre majeurs du Mexique 1985 et de Loma Prieta 1989, les amplitudes maximales enregistrées à la surface des sols mous étaient en moyenne de 2.5 et 4 fois supérieures à celles enregistrées sur le roc. Cet effet peut donc transformer un séisme, assez sérieux sur le roc, en un des plus dévastateurs à la surface d'un sol mou. Toutefois, cet effet d'amplification n'est pas linéaire et dépend de plusieurs paramètres. Des études récentes (Idriss 1990) démontrent que la valeur de cette amplification est une fonction non linéaire de l'accélération maximale sur le roc, et que pour des valeurs sur roc supérieures à 0.4g, une **dé-amplification** sur sol mou est plutôt prévue. En bref, les dangers posés par les sols mous sont bien compris et reconnus, même si certains détails restent à préciser.

Cependant, l'importance accordée par les géotechniciens aux phénomènes de sol qui se sont produits lors de séismes récents a porté certains ingénieurs à conclure erronément que les structures construites sur le roc sont à l'abri des séismes. À Québec, considérant aussi les observations faites sur l'intensité des vibrations dans la basse-ville par rapport à la haute-ville lors du tremblement de terre de 1925, cette fausse idée a eu tendance à être renforcée. De plus, dans l'interprétation des observations de 1925, il faut aussi reconnaître la distribution démographique de la ville de Québec en 1925: il existait peu de structures vulnérables à cette époque, et la basse-ville était de toute évidence moins peuplée que de nos jours.

Il est important de reconnaître que la capacité des sols mous d'amplifier l'intensité des ondes sismiques ne rend pas invulnérables les structures construites sur les sols fermes ou sur le roc. L'expérience démontre que plusieurs structures construites sur les sols fermes ou sur le roc, dans d'autres pays, furent détruites ou endommagées par des tremblements de terre par le passé. Il est raisonnable de croire que, lors d'un séisme futur, davantage de dommages seraient possibles à Québec, dans la basse-ville, la haute-ville et en banlieue notamment dans certains secteurs où les sols mous sont présents. Toutefois, les ondes sismiques, si suffisamment intenses, pourraient également solliciter sévèrement et endommager les structures construites sur le roc, surtout celles bâties et entretenues sans regard aux normes parasismiques modernes. En règle générale, l'amplitude des vibrations sismiques fortes est plus élevée sur un sol mou que sur le roc. Néanmoins, l'amplitude sur le roc n'est ni nulle, ni sans importance.

Mythe #3

Les structures modernes d'acier et de béton armé, conçues et construites selon les exigences du CNBC ne subiront pas de dommages lors d'un tremblement de terre majeur.

Réalité #3

Ceux et celles qui croient à ce mythe n'ont jamais lu le premier paragraphe du Commentaire J (Effets des séismes) du Supplément du CNBC. Il n'est généralement pas économique de construire une structure pour résister de façon élastique aux charges sismiques. Conséquemment, la ductilité des matériaux doit être mobilisée et la réponse structurale devient non linéaire inélastique. Ceci est synonyme de "dommages structuraux". La ductilité est la propriété d'un système structural d'absorber de l'énergie sans perte de capacité lorsque sollicité au-delà de sa limite élastique. Cette dépendance inévitable sur la présence de la ductilité requiert une attention particulière. Ceci nécessite la sélection d'un matériau adéquat et de détails de construction adéquats. La ductilité est également disponible seulement en dedans de certaines limites. Essentiellement, la ductilité est une forme de dommage structural acceptable, mais pas nécessairement réparable.

La dépendance sur l'existence de la ductilité pour assurer la résistance sismique n'a été clairement établie que tout récemment. Une ambiguïté considérable au sujet de la réponse inélastique existait, attribuable en grande partie à la non-transparence de l'ancien facteur K; un facteur K d'approximativement 5.0 était autrefois nécessaire afin d'assurer une réponse élastique, mais plusieurs ingénieurs ignoraient cette nuance. Heureusement, cette confusion est maintenant éliminée. L'édition de 1990 du CNBC illustre explicitement le concept de ductilité. Pour la première fois, l'ingénieur peut voir clairement la force équivalente statique du cisaillement sismique qui permettrait une réponse élastique (V_e), et la comparer à celle utilisée pour le dimensionnement (V) tel que réduite par un facteur (R) qui représente essentiellement la demande en ductilité attendue.

Il est toutefois important de réaliser que pour mobiliser cette ductilité, certains comportements ultimes doivent se produire. Par exemple, dans le cas de cadres-rigides, de larges déformations latérales résulteront de la formation de rotules plastiques et pourront causer des dommages non structuraux considérables à l'enveloppe extérieure de la structure de même qu'aux partitions intérieures. Pour les structures de béton semi-ductiles, de la fissuration considérable est possible. Dans le cas de cadres à contreventement concentrique, le flambement des diagonales d'acier est prévu. La réparation de ces dommages structuraux peut être plus ou moins faisable, selon le cas. L'assurance de réparabilité n'est pas un objectif des exigences sismiques du CNBC (voir Supplément du CNBC, Commentaire J, paragraphes 1 et 2).

Mythe #4

Il est acceptable de ne pas respecter entièrement les exigences de design paraséismique du CNBC. Corollaire: Il est irréaliste et impossible de transmettre la force horizontale de cisaillement séismique au premier étage d'une structure.

Réalité #4

La sous-section 4.1.9 du CNB-1990 requiert l'utilisation d'un modèle de charges statiques latérales équivalent aux effets dynamiques d'un séisme et permettant d'obtenir un dimensionnement approximativement adéquat, qui rencontre des objectifs de ductilité bien définis pour chaque type de système structural. L'intensité des forces mandatée est essentiellement un résultat consensuel de comités d'experts suite à la revue: (a) de la performance séismique passée de divers systèmes structuraux; (b) des résultats expérimentaux obtenus de l'étude de la performance ultime de ces systèmes; (c) des résultats analytiques d'études paramétriques sur le comportement séismique; (d) d'analyses comparatives du comportement séismique relatif de divers systèmes visant à l'établissement de recommandations hiérarchiques pour rencontrer des objectifs de performance et ductilité pré-établis. De plus, le CNBC établit sans équivoque une liste d'exigences minimales qui doivent être rencontrées par l'ingénieur-concepteur en structure pour assurer la protection du public (CNBC 1990, Préface, page v et Notes aux utilisateurs du Code, page xi). Abdiquer la responsabilité de respecter ces exigences face à certaines situations d'analyse ou de dimensionnement difficiles correspond essentiellement à une faute civile d'abus-de-confiance.

À cause des fortes pressions compétitives que subit l'ingénieur, et du faible risque que le chargement séismique prévu se produise durant la vie de la structure (ou celle de l'ingénieur), il est inévitable que l'ingénieur se questionne périodiquement sur la nécessité de se conformer intégralement aux recommandations actuelles. Les nombreux changements apportés récemment aux clauses séismiques du CNBC (Tso 1991) ont sans équivoque contribué à alimenter ces tentations. Toutefois, sans le bénéfice d'études plus approfondies sur le comportement séismique, une structure doit être dimensionnée en conformité avec le CNBC. "Tricher" peut être lourd de conséquences.

Par exemple, au premier étage d'un édifice, les demandes architecturales sont souvent incompatibles avec les principes du design paraséismique. L'architecte exerçant toutes les pressions nécessaires pour atteindre ses objectifs professionnels pourrait convaincre l'ingénieur de diminuer ses exigences structurales. Ce dernier pourrait "fermer un oeil" sur le CNBC et redimensionner ses systèmes de résistance aux charges latérales afin de pouvoir transmettre seulement une fraction, par exemple 80%, de la charge séismique statique équivalente du CNBC. Malheureusement, la relation entre le niveau de résistance aux charges latérales et la demande en ductilité n'est pas linéaire. De plus, dans ce cas particulier, à cause de la faiblesse disproportionnée qui serait introduite au premier étage, la totalité de la demande pourrait s'y concentrer, entraînant

éventuellement la ruine totale des systèmes structuraux à cet étage, et son effondrement. C'est le phénomène d'un "étage souple" bien connu des ingénieurs spécialistes en génie paraséismique. Un tel comportement structural indésirable a été relevé maintes fois lors de séismes passés et tout dernièrement lors du séisme de Loma Prieta 1989.

Mythe #5

Les ingénieurs ne peuvent pas être tenu responsables des dommages dus aux tremblements de terre: en cour, ils peuvent invoquer la clause d'un "acte de Dieu".

Réalité #5

Espérer invoquer force majeure pour s'excuser des dommages structuraux causés par un séisme est une stratégie perdante. La connaissance et la disponibilité de l'information sismologique, tel qu'intégrée dans le CNBC-1990, et les connaissances actuelles sur le génie paraséismique rendent une telle approche douteuse. Il est notable que l'industrie de l'assurance en Californie a depuis fort longtemps abandonné tout espoir de pouvoir recourir à une telle stratégie afin de se défaire de leur responsabilité. De nos jours, même les contrats d'assurance canadiens n'incluent pas les tremblements de terre dans leur liste des événements de force majeure.

De plus, il n'y a pas d'avantage pour la profession en général à vouloir nier l'existence du risque séismique. Le niveau d'avancement technologique d'une nation est souvent jugé internationalement par sa capacité à survivre sans dérangement majeur, des événements environnementaux graves. Les nations ayant besoin d'aide internationale à chaque fois qu'une tempête tropicale sévère les touche, ou n'ayant pas les ressources nécessaires pour traverser un tremblement de terre majeur sans dérangement quasi-insurmontable de leurs activités économiques vitales, n'inspirent généralement pas un grand respect, ni l'envie d'investir dans leur économie. Plus près d'ici, après le tremblement de terre de Loma Prieta en 1989, la vie économique de San Francisco avait repris son cours en moins de quelques jours, et la quasi-totalité des dommages structuraux furent réparés en moins d'un an. De l'autre côté de la baie de San Francisco, à Oakland, la plupart des dommages structuraux demeurent tels quels, plus de deux ans après le séisme. L'hôtel de ville d'Oakland est un de ces édifices encore abandonné, à un coût de dérangement énorme aux citoyens de cette ville. Ceci n'est évidemment rien pour rehausser l'image d'Oakland et la ville souffre considérablement depuis, sur tous les plans, de toute comparaison avec San Francisco.

RÉDUCTION DU RISQUE SÉISMIQUE

La population de la ville de Québec est probablement une des moins bien préparées au Canada, compte tenu du haut niveau de risque séismique auquel elle est exposée. Selon les cartes probabilistiques du CNBC sur le risque séismique, la ville de Québec est exposée à un risque quasi-identique à celui de Vancouver. Peu de Québécois sont au

courant de ce fait. La majorité ne savent pas qu'ils pourraient (et devraient) agir pour réduire le danger séismique. Pour remédier à ce problème, un programme **coordonné** de réduction du risque séismique est essentiel pour la ville de Québec et ses environs. Son implantation pourrait procéder comme suit:

- Évaluation des effets globaux sur la ville de Québec et sur les communautés environnantes d'un tremblement de terre majeur (magnitude = 7) situé à 100 km, ou moins, de distance; évaluation préparée par les organismes de protection civile avec l'aide, au besoin, de leurs homologues provinciaux; évaluation adressant la gamme de scénarios possibles - par exemple, séisme se produisant en plein hiver (grand froid, neige abondante) ou pendant des périodes d'achalandage touristique.
- Communication de cette évaluation aux autorités et à la population générale, en y incluant des projections réalistes du nombre de blessés et de morts, des coûts attendus des dommages et des pertes économiques conjointes, et des périodes probables avant le retour aux activités normales dans les zones affectées, pour chacun des divers scénarios établis précédemment.
- Éducation et sensibilisation de la population générale, comprenant évidemment les ingénieurs, les fonctionnaires municipaux et provinciaux responsables de la planification gouvernementale, les politiciens et autres membres du corps décisionnel des gouvernements municipaux et provinciaux.
- Formation d'une volonté populaire, et, subséquemment, d'une volonté politique. Sans cet appui, tout effort vers la mitigation des dangers séismiques ne peut procéder plus loin.
- Mise en place d'un programme de réduction du danger séismique, dont la phase principale (exigeant la compétence des ingénieurs structuraux) consiste à identifier et évaluer le niveau de risque aux bâtiments et aux diverses infrastructures (transports, communication, etc.), et identifiant clairement la responsabilité propre à chaque participant (population, municipalités, province) et son rôle à jouer afin d'assurer avec succès l'implantation de ce programme.
- Suite à cet exercice d'identification, les options politiques possibles seraient tout simplement l'action ou l'inaction, en fonction des fonds disponibles et du sérieux de la volonté politique identifiée précédemment.

L'implantation d'au moins une de ces étapes serait déjà une amélioration considérable de la situation actuelle, ce qui pourrait se transmettre en des économies humaines ou monétaires importantes lorsqu'un séisme majeur se produira.

CONCLUSIONS

L'évidence pour le risque séismique imputable à la région de Charlevoix-Kamouraska a été démontré. Il est indéniable que le tremblement de terre de 1925 a eu son épicerne dans cette région. Le séisme du Saguenay 1988 n'a eu aucun effet sur le taux de l'activité séismique dans la région de Charlevoix-Kamouraska, et un événement majeur

y est toujours attendu. Il est aussi notoire que les structures construites sur le roc ne sont pas à l'abri des séismes, quoique généralement sujettes à une intensité moindre d'excitation séismique. La résistance séismique des structures modernes requiert le développement d'une réponse ductile: dans certains cas, ceci est synonyme d'un développement de dommages structuraux et non structuraux. L'ingénieur a une responsabilité morale et légale de dimensionner intégralement les structures pour satisfaire à la totalité des exigences séismiques du CNBC 1990. Un programme coordonné d'évaluation et de réduction du risque séismique est essentiel afin de sensibiliser et éduquer la population de façon rationnelle aux dangers existants. Il est essentiel de se débarrasser de mythes dangereux et faire face à la réalité du risque séismique au Québec.

REMERCIEMENTS

L'auteur remercie le Dr. Anne Stevens (Division de la géophysique, Commission géologique du Canada) pour son assistance considérable afin d'établir l'épicentre du tremblement de terre de Charlevoix-Kamouraska de 1925, de même que pour avoir généré et permis la présentation dans cet article des figures de séismicité récente dans la région de Québec.

RÉFÉRENCES

- BASHAM, P.W., 1987. Seismic hazards assessment and seismic codes for eastern Canada, Proceedings, Symposium on Seismic Hazards, Ground Motions, Soil-liquefaction and Engineering Practice in Eastern North America, National Center for Earthquake Engineering Research, pp.1-15.
- BASHAM, P.W., WEICHERT, D.H., ANGLIN, F.M., BERRY, M.J., 1982. New probabilistic strong ground motion maps of Canada: A compilation of earthquake source zones, methods and results, Earth Physics Branch Open File Number 82-33, Ottawa, Canada, 205 pp.
- BRUNEAU, M., 1991. A Canadian perspective on some lessons learned from the 1989 Loma Prieta (San Francisco) earthquake, 1991 Ann. conf. CSCE, V.III, pp.277-286.
- COMITÉ ASSOCIÉ DU CODE NATIONAL DU BÂTIMENT, 1990. Code national du bâtiment du Canada, Conseil national de recherches Canada, CNRC n° 30630.
- DEWEY, J.W., AND GORDON, D.W., 1984. Map showing recomputed hypocentres of earthquakes in the eastern and central United States and adjacent Canada, 1925-1980. U.S. Geological Survey, Misc. Field Studies Map MF-1699, 39 p. plus map.
- HODGSON, E.A., 1928. Tremblement de terre sur les rives du Saint-Laurent, le 28 février 1925 (analyse finale des données recueillies), Bulletin de la société géographique de Québec, volume 22, pp.56-64.
- HODGSON, E.A., 1950. The Saint-Lawrence earthquake, March 1, 1925. Publications of the Dominion Observatory, Ottawa, V.7, pp.361-436.
- IDRISS, I.M., 1990. Response of soft soil sites during earthquakes. Proceedings, H. Bolton Seed Memorial Symposium, Berkeley, California, V.II.

STEVENS, A.E., 1980. Reexamination of some larger La Malbaie, Québec, earthquakes (1924-1978). *Bull. Seism. Soc. Am.*, V.70, pp.529-557.

TSO, W.K., 1991. Overview of seismic provision changes in National Building Code of Canada, 1990. *Proc. 6th Can. Conf. Earthquake Engineering*, Toronto, pp.743-750.

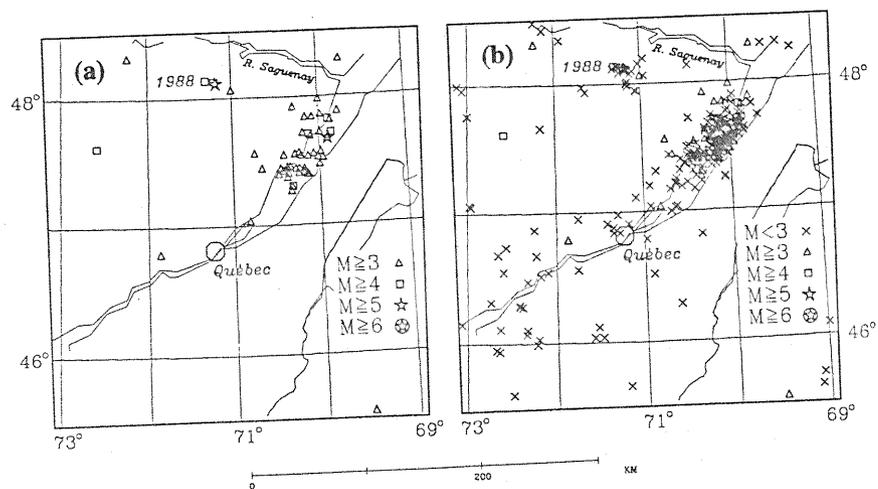


Figure 1: Séismicité récente de la région de Québec (1970-90) pour tous les séismes ayant une magnitude supérieure à: (a) 3.0; et (b) 2.0 (Division de la géophysique, Commission géologique de Canada, communication écrite du 6 janvier 1992).