



**COMMISSION GÉOLOGIQUE DU CANADA
DOSSIER PUBLIC 7414**

**Exercice de simulation d'urgence :
La Grande Secousse de Charlevoix 2013,
Scénario sismique de Magnitude 6.5**

J.R. Rivard, M. Nastev et M. Lamontagne

2014



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

Canada



**COMMISSION GÉOLOGIQUE DU CANADA
DOSSIER PUBLIC 7414**

**Exercice de simulation d'urgence :
La Grande Secousse de Charlevoix 2013,
Scénario sismique de Magnitude 6.5**

J.R. Rivard¹, M. Nastev¹ et M. Lamontagne²

¹ Commission géologique du Canada - Division Québec

² Commission géologique du Canada - Division Centre du Canada

2014

©Sa Majesté la Reine du chef du Canada 2014

doi:10.4095/293775

On peut télécharger cette publication gratuitement à partir de GEOSCAN (<http://geoscan.sst.rncan.gc.ca/>).

Notation bibliographique conseillée

Rivard, J.R., Nastev, M. et Lamontagne, M., 2014. Exercice de simulation d'urgence : La Grande Secousse de Charlevoix 2013, Scénario sismique de Magnitude 6.5; Commission géologique du Canada, Dossier public 7414, 63p. doi:10.4095/293775

Les publications de cette série ne sont pas révisées; elles sont publiées telles que soumises par l'auteur.

SOMMAIRE EXÉCUTIF

À partir d'un scénario de tremblement de terre de magnitude de moment sismique M6.5 se produisant dans la Zone sismique de Charlevoix-Kamouraska, les dommages et les pertes économiques et sociales potentielles ont été estimées dans la région de Charlevoix. L'étude en tant que telle a été développée dans le contexte plus large de l'exercice régional de préparation individuelle « La Grande Secousse de Charlevoix 2013 », mis sur pied par la municipalité régionale de comté de Charlevoix-Est, avec le soutien du ministère de la Sécurité publique du Québec.

Parmi toutes les conséquences qu'un séisme peut amener, seules celles causées par des secousses sismiques ont été considérées. Les effets possibles découlant de conditions spécifiquement locales, comme la liquéfaction du sol, les glissements de terrain, les ruptures de faille à la surface ou les tsunamis n'ont pas été considérés dans la modélisation du scénario de base. Un seul type de sol uniforme pour toute la région de l'étude, soit un sol dit « sol consistant » (sol de type D suivant CNRC 2010), a été présumé. Environ 27,700 personnes habitent la région d'étude qui comprend les parties les plus peuplées des municipalités régionales de comté de Charlevoix et de Charlevoix-Est, où la plus grande partie de la population se retrouve dans les villes de Baie-Saint-Paul et de La Malbaie. Seuls les bâtiments résidentiels ont été pris en considération par le modèle, et ceux-ci représentent approximativement 9,000 bâtiments répartis en différents types de constructions. Les dommages aux bâtiments d'autres types d'occupations, tels les bâtiments gouvernementaux, commerciaux, industriels ou religieux, n'ont pas été modélisés. Cependant, les bâtiments de services essentiels (17 établissements scolaires, 9 établissements de soins de santé, 13 casernes de pompiers et 2 postes de police) ont été modélisés séparément, avec leurs emplacements géographiques précis. Quant aux réseaux de transport (770 kilomètres d'autoroutes, routes et rues; 55 ponts routiers; 80 kilomètres de chemins de fer; et 9 ponts ferroviaires), ils ont été pris en considération séparément avec un scénario considérant les glissements de terrain. L'impact et les conséquences du séisme ont été modélisés à l'aide de la méthode standardisée d'estimation des pertes, Hazus, développée par l'U.S. Federal Emergency Management Agency (FEMA). Cette méthode a été récemment adaptée par Ressources naturelles Canada pour une utilisation dans le contexte canadien.

Les résultats obtenus indiquent que l'impact et les conséquences du séisme hypothétisé pour le scénario d'exercice de M6.5 devraient être significatifs à l'échelle de la région. Le modèle prédit qu'environ 3,000 bâtiments résidentiels (ou ≈33%) subirait des dommages légers ou modérés, et qu'environ 100 bâtiments (ou ≈1%) seraient sévèrement ou complètement endommagés. Les pertes économiques associées aux bâtiments résidentiels sont évaluées à près de 100 millions de dollars. Environ 130 familles, ou presque 400 personnes (1.5% de la population totale) pourraient se trouver sans abris. De celles-ci, une centaine de personnes auront besoin d'hébergement public de courte durée. Cependant, les pertes humaines seraient minimales et se chiffrent à une dizaine de blessés, et aucune perte de vie. Au total, environ 600 chargements de camions (25 tonnes/camion) pourraient s'avérer nécessaires pour l'enlèvement des débris. Les réseaux de transport subirait de pertes minimales en raison de quelques glissements de terrain, et devraient être fonctionnels le jour même où le lendemain du séisme.

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE EXÉCUTIF	I
TABLE DES MATIÈRES	II
1. LIMITES DE L'ÉTUDE	1
1.1 HYPOTHÈSES SCIENTIFIQUES	1
1.2 UTILISATION PRÉVUE.....	1
2. INTRODUCTION	2
2.1 CONTEXTE	2
2.2 ÉVALUATION DU RISQUE	2
2.3 MÉTHODE	3
2.4 CONDITIONS.....	4
3. ZONE D'ÉTUDE	5
3.1 DÉMOGRAPHIE	6
3.2 BÂTIMENTS RÉSIDENTIELS	6
3.3 BÂTIMENTS DE SERVICES ESSENTIELS.....	7
3.4 INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT.....	8
4. SÉISMICITÉ DE CHARLEVOIX	12
4.1 SCÉNARIO CONSIDÉRÉ	13
4.2 INTENSITÉ DE LA SECOUSSE	15
4.3 AUTRES EFFETS RELIÉS AUX TREMBLEMENTS DE TERRE	15
5. RÉSULTATS : IMPACTS ET CONSÉQUENCES	17
5.1 DOMMAGES PHYSIQUES.....	18
5.2 PERTES ÉCONOMIQUES	18
5.3 PERTES HUMAINES.....	19
5.4 BESOINS EN HÉBERGEMENT PUBLIC DE COURTE DURÉE	21
5.5 PRODUCTION DE DÉBRIS.....	21
6. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	22
7. REMERCIEMENTS	23
8. RÉFÉRENCES:	24
ANNEXE A : GLOSSAIRE	26
ANNEXE B : DIAGNOSTIQUE SOMMAIRE DE LA SENSIBILITÉ DU MODÈLE	28
B-1. EFFETS DE LA MAGNITUDE DU SÉISME	28
B-2. EFFETS DU TYPE DE SOL	29
B-3. EFFETS DU MODÈLE DE PRÉDICTION DE MOUVEMENT DU SOL	31
B-4. EFFETS DU POTENTIEL DE GLISSEMENTS DE TERRAIN SUR LES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT.....	32
ANNEXE C : L'INVENTAIRE DÉTAILLÉ DES BÂTIMENTS DE SERVICES ESSENTIELS	35
ANNEXE D : LE RAPPORT SOMMAIRE HAZUS	40

1. LIMITES DE L'ÉTUDE

Ressources naturelles Canada (RNCan) souhaite améliorer l'approche et le processus d'évaluation des risques d'origine naturelle sur le territoire canadien. Dans ce but, RNCan encourage le développement des compétences et du savoir-faire en évaluation des conséquences des aléas naturels, incluant les séismes. Les impacts et conséquences préliminaires d'un séisme hypothétique présentés dans ce rapport ont été obtenus à l'aide de la méthode standardisée d'estimation des pertes Hazus, développée par l'U.S. Federal Emergency Management Agency (FEMA, 2003) et adaptée récemment par RNCan pour son utilisation au Canada (Nastev, 2014).

1.1 Hypothèses scientifiques

Les impacts présentés dans ce rapport sont basés sur des hypothèses raisonnables et des simplifications qui incluent:

- Un sol en surface de type « sol consistant » et uniforme pour toute la région ;
- L'exclusion des conséquences potentielles des effets sismiques tels la liquéfaction du sol, la topographie, la structure des bassins géologiques, les tsunamis et les incendies ;
- Des informations limitées aux infrastructures du secteur résidentiel provenant de données du recensement de 2006 (Statistique Canada, « <http://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2006/index-fra.cfm> »), en tant qu'inventaire général des bâtiments ;
- Une simplification de certains aspects du code du bâtiment ne correspondant pas nécessairement à la réalité sur le terrain.

1.2 Utilisation prévue

Ce rapport présente certains résultats d'un effort de modélisation des risques sismiques en cours. Il procure un modèle d'information sur l'aléa sismique et son impact potentiel pouvant être utilisé dans des exercices de préparation face aux séismes, et offre ainsi un exemple de savoir-faire dans la communication de l'aléa et du risque sismiques. Les utilisateurs de ce rapport doivent comprendre les incertitudes et les inexactitudes associées à l'évaluation des risques naturels par la méthode Hazus. Ainsi, ce document ne peut être utilisé comme tel dans le cadre d'exercices de préparation qu'en prenant en considération son objectif premier et les limites exprimées. Les informations incluses dans ce document ne doivent pas être utilisées pour la planification de l'atténuation des risques, la planification de la réponse d'urgence, ou pour la répartition des ressources en lien avec l'assistance. Les utilisateurs de ce rapport, qu'ils soient des individus ou des institutions, doivent utiliser leur propre jugement ainsi que des sources d'information additionnelles, des expertises ou des modélisations plus détaillées et scientifiquement plus poussées, avant d'effectuer toutes prises de décision.

2. INTRODUCTION

2.1 Contexte

Le présent dossier d'exercice sismique a été développé par le Secteur des Sciences de la Terre de la Commission géologique du Canada de RNCAN, dans le cadre du programme Géosciences pour la sécurité publique. Son objectif est de répondre à des besoins en scénarios sismiques quantitatifs pouvant servir à des activités d'éducation et de préparation, provenant de diverses organisations dont Sécurité publique Canada, Sécurité publique Québec, ainsi que d'intervenants locaux concernés. Ce rapport est inspiré de rapports techniques d'exercices du type ShakeOut réalisés dans l'ouest du Canada (Wojtarowicz et al., 2013). Certains détails du scénario présenté visent à illustrer un exercice régional en Charlevoix mis sur pied par la municipalité régionale de Charlevoix-Est avec le soutien du ministère de la Sécurité publique du Québec, et intitulé « La Grande Secousse de Charlevoix 2013 ». Cet exercice-citoyen a eu lieu le 26 septembre 2013 dans la région de Charlevoix, et avait pour objectif principal la préparation individuelle. Ce document constitue une des contributions de RNCAN à ces activités. Davantage d'informations sur « La Grande Secousse de Charlevoix 2013 » sont disponibles sur le site Internet « <http://www.grandesecousse.org/charlevoix> ».

2.2 Évaluation du risque

De temps à autres des événements géologiques et météorologiques catastrophiques surviennent au Canada. Ces événements ont un effet important sur le bien-être économique et individuel, et sur la sécurité de milliers de gens. Ne pas comprendre et ne pas faire face de façon adéquate à ces événements peut se traduire en pertes humaines et économiques considérables. Nos connaissances générales de l'aléa dont le type, l'emplacement, l'intensité et la probabilité d'occurrence, en tant que telles, sont insuffisantes pour informer convenablement les preneurs de décisions. L'atténuation des risques et les mesures de réponse d'urgence doivent non seulement prendre en considération l'aléa en question, mais aussi les actifs et les populations à risque, leurs vulnérabilités respectives, et la capacité d'adaptation et de résilience des communautés et des instances gouvernementales.

L'évaluation des risques naturels représente le processus par lequel les impacts négatifs d'événements catastrophiques peuvent être mesurés en termes de probabilités et de conséquences. En particulier, les risques sismiques font référence à tous les types de dommages et de pertes économiques et sociales causés par les tremblements de terre. L'évaluation du risque sismique comprend normalement plusieurs analyses combinées portant sur a) l'aléa sismique, b) sur les éléments exposés, et c) sur leurs vulnérabilités inhérentes. L'aléa sismique est une mesure de probabilité qu'un séisme puisse survenir dans une région donnée au cours d'une période de temps donnée ; l'inventaire renvoie aux éléments exposés au danger, c'est-à-dire les infrastructures et les populations ; et la vulnérabilité fait référence au concept de susceptibilité aux dommages, aux pertes ou aux blessures. Le produit du processus d'évaluation des risques est une représentation standardisée des conséquences en termes de dommages physiques, de pertes économiques et sociales, et de leur probabilité d'occurrence. L'évaluation des risques est ainsi le pivot du processus d'atténuation des risques à long terme tout comme celui de la planification de la gestion des urgences. Une planification et une préparation adéquates avant un sinistre peuvent non seulement éviter des pertes humaines, mais aussi réduire l'impact de multiples conséquences négatives prenant place à la suite d'un sinistre.

2.3 Méthode

Les impacts et conséquences préliminaires d'un séisme hypothétique présentés dans ce rapport ont été obtenus à l'aide de la méthodologie standardisée d'estimation des pertes Hazus, développée aux États-Unis par la Federal Emergency Management Agency (FEMA, 2012a et b). Plus spécifiquement, il s'agit d'une méthode en développement continu et mise à jour depuis 1992 (Berman, 2011). Hazus utilise un système d'information géographique (SIG) pour cartographier et représenter différentes couches d'information liées aux dommages et aux pertes économiques et sociales. Cette méthode permet aux usagers d'évaluer les impacts potentiels associés à divers aléas tels que les tremblements de terre, les ouragans et les inondations. Hazus a été récemment adapté par RNCAN pour son utilisation au Canada (Nastev, 2014; Nastev et Todorov, 2013). Au Canada, Hazus est distribué gratuitement sur le site Internet « <http://hazuscanada.ca> ». Toutefois, les utilisateurs doivent posséder une licence du système d'information géographique ArcGIS (Environmental Systems Research Institute – ESRI, « <http://www.esri.com/software/arcgis> »).

Le module « tremblement de terre » de Hazus prend en considération les aléas sismiques suivants : les secousses sismiques, les glissements de terrain, la liquéfaction des sols, et les ruptures de failles en surface. La quantité de dommages et de pertes pouvant potentiellement être causés aux structures, infrastructures et aux populations est dérivée de l'intensité des secousses sismiques définies par l'accélération spectrale à 0.3 seconde (Sa0.3s) et à 1.0 seconde (Sa1.0s), par l'accélération maximale du sol, par la vitesse maximale du sol, ainsi que par l'amplitude du déplacement local qui caractérise la déformation permanente du sol.

Dans le cas d'analyses générales des risques, le secteur de recensement (en régions urbaines) et la subdivision de recensement (en régions non-urbaines) fournissent l'unité géographique de base pour l'agrégation des données de l'inventaire des actifs. L'intensité de l'aléa, les dommages et les pertes sont calculés au point centroïde pour chaque secteur ou subdivision de recensement. Un secteur/subdivision de recensement est une partition statistique qui représente un petit quartier ou une communauté rurale entre 2500 et 8000 personnes. La dimension relativement petite de ces unités, surtout en région urbaine où la plus grande partie des éléments exposés et des risques potentiels se situent, justifie leur utilisation à des fins d'analyse, de modélisation et d'agrégation des résultats. Dans le cas d'analyses détaillées des risques, en plus de l'inventaire général agrégé des actifs, les bâtiments de services essentiels et certains éléments des systèmes de transport (ponts par exemple) et des systèmes de réseaux vitaux (stations d'épuration des eaux et sous-stations électriques par exemple) sont analysés individuellement. Dans ce cas, chaque bâtiment/infrastructure peut être défini selon ses propres caractéristiques de construction et avec ses coordonnées géographiques, et peut ainsi être jumelé dans l'espace aux caractéristiques numériques locales de l'aléa sismique.

La Figure 1 présente un schéma du processus d'évaluation du risque sismique par le module « tremblement de terre » de Hazus, et ses principales composantes. Pour obtenir une description plus détaillée de la méthode d'analyse et du logiciel Hazus, le lecteur est invité à consulter « <http://fema.gov/hazus> » (FEMA, 2012a et b) et « <http://hazuscanada.ca> » pour la version canadienne (Ulmi et al., 2014).

Dans le but de réduire les incertitudes inhérentes au processus de modélisation, il est toujours recommandé d'utiliser les données d'intrants les plus précises, détaillées et complètes possibles, et que celles-ci soient régulièrement mises à jour afin de pouvoir représenter l'évolution et les changements dans la population et dans les bâtiments.

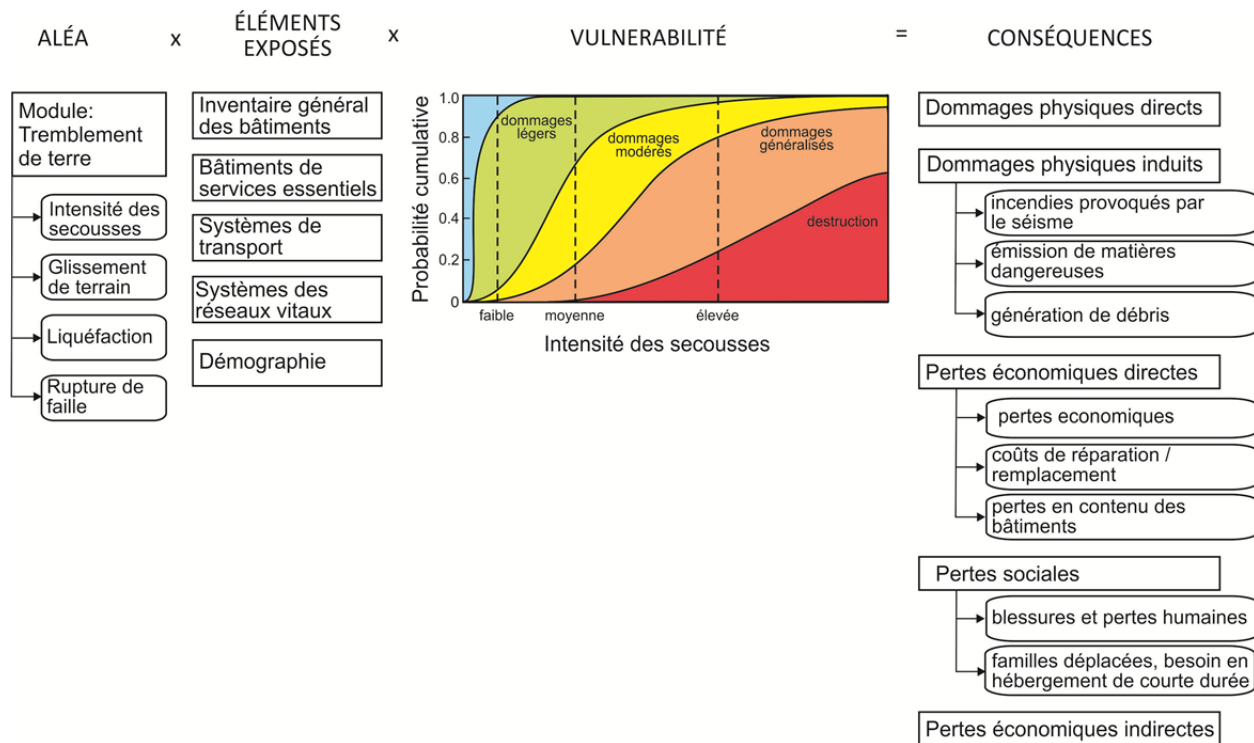


Figure 1. Représentation schématique du processus d'évaluation des risques sismiques utilisé par le module «tremblement de terre» de Hazus.

2.4 Conditions

Les conditions météorologiques ainsi que l'heure de la journée où le sinistre prend place sont des facteurs importants pour évaluer son impact. Ainsi, pendant la journée, la majeure partie de la population est présumée au travail ou à l'école, tandis que pendant la nuit, elle est présumée à la maison. En hiver, le risque social est d'autant plus augmenté quand les températures sont sous le point de congélation.

Dans le cas du présent scénario, pour la période précédant le séisme ainsi que pour les quelques jours suivants, les conditions météorologiques supposées seront typiques des moyennes saisonnières pour le secteur. Ainsi, en considérant les moyennes sur les 5 années précédentes à la station météorologique de Charlevoix, la température maximale prédite pour la journée du 26 septembre 2013 est de 14,5°C, tandis que la température minimale prédite pour la nuit est de 3,1°C (Environnement Canada, « http://climat.meteo.gc.ca/climateData/canada_f.html »). Des précipitations prévues sous forme de pluie totaliseront moins de 0,1 mm bien que davantage de précipitations soient attendues dans les semaines qui suivent.

Le levé du soleil pour le 26 septembre 2013 se fera à 6:34 HAE et le coucher du soleil à 18:31 HAE (Conseil national de recherches, « <http://www.nrc-cnrc.gc.ca/fra/services/levers/avancees.html> »). Aucun autre événement spécial d'importance n'est prévu dans la région pour la période de l'exercice, pouvant justifier des installations ou des foules inhabituelles. Aucun événement d'ordre naturel, accidentel, intentionnel ou d'urgence médicale significative n'a pris place avant l'exercice.

3. ZONE D'ÉTUDE

Les pertes et dommages estimés dans le présent scénario d'exercice sismique ont été modélisés spécifiquement pour la partie la plus peuplée des municipalités régionales de comté (MRC) de Charlevoix et de Charlevoix-Est. L'ensemble de cette région d'étude couvre une superficie d'environ 2046 km². La Figure 2 présente la zone d'étude dans son contexte régional, et les deux MRCs dans leur intégrité. Les données cartographiques utilisées pour concevoir les figures 2, 4a à 4f, 7 à 9 et B-1 proviennent des sources suivantes : CanVec version 10.0, RNCan; Données numériques d'élévation du Canada (DNEC), RNCan; Base nationale de données topographiques (BNDT), RNCan; données du recensement de 2006, Statistique Canada; et du portail « Données ouvertes » du Gouvernement du Québec pour lequel la mention suivante est affichée : « Comprends des données ouvertes octroyées sous la licence d'utilisation des données ouvertes de l'Administration gouvernementale disponible à l'adresse Web : www.donnees.gouv.qc.ca. L'octroi de la licence n'implique aucune approbation par l'Administration gouvernementale de l'utilisation des données ouvertes qui en est faite. »

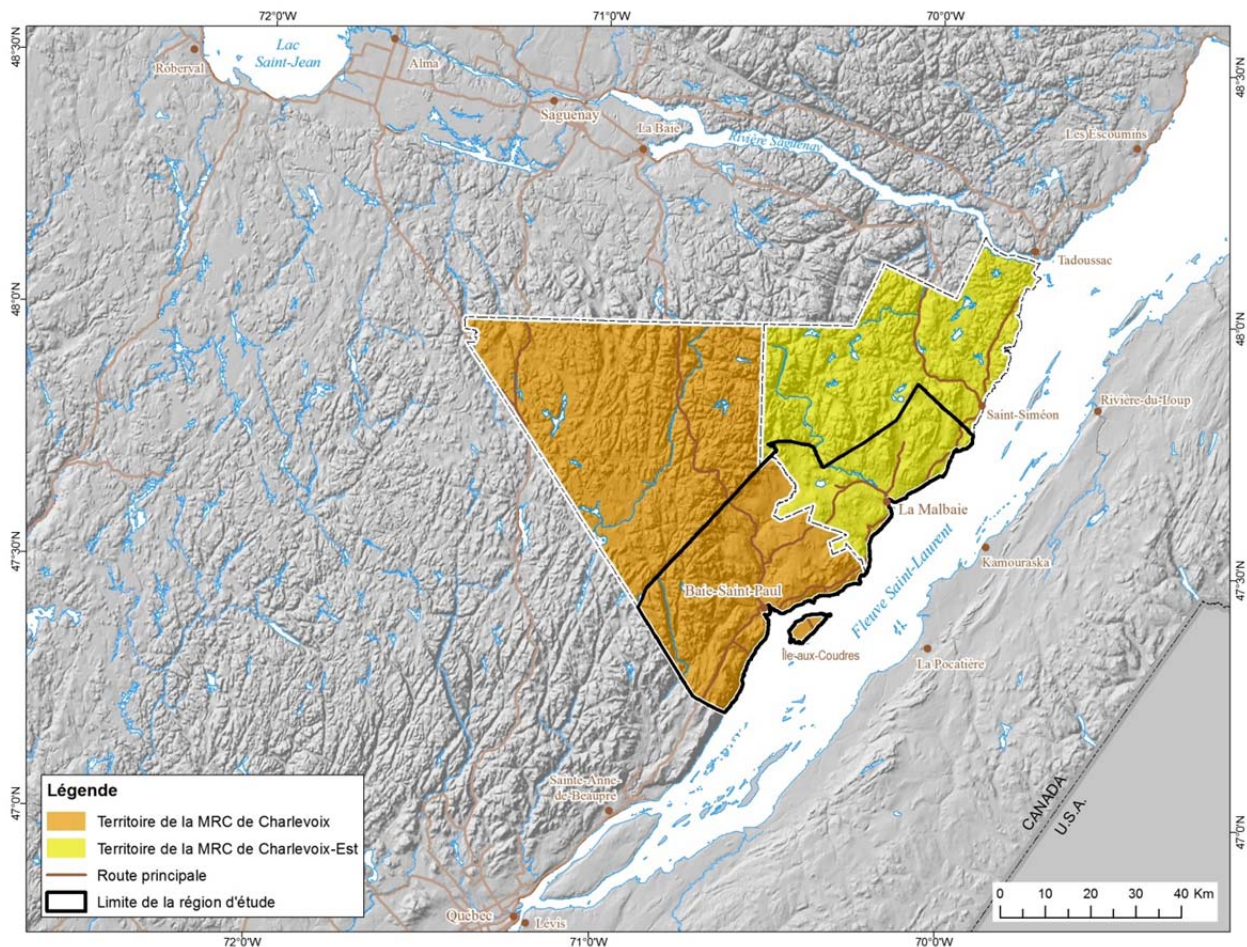


Figure 2. La zone d'étude dans le contexte régional des MRCs de Charlevoix et Charlevoix-Est.

Les inventaires des actifs et de la démographie ont été modélisés par Ressources naturelles Canada à partir principalement des données du recensement de 2006 de Statistique Canada, et de schémas cartographiques standardisés d'occupation. Ces données sont normalement

agrégées aux niveaux des secteurs (régions urbaines) et des subdivisions (régions non-urbaines) de recensement. L'inventaire des routes, chemins de fer, ponts et tunnels provient des banques de données géographiques CanVec version 10.0 (Ressources naturelles Canada, « <http://geogratis.gc.ca/geogratis/search?lang=fr> »). L'inventaire des bâtiments de services essentiels (établissements scolaires, établissements de soins de santé, casernes de pompiers et postes de police) a bénéficié d'une recherche plus poussée. Il a été construit avec des données particulièrement représentatives et détaillées provenant de diverses sources locales et disponibles publiquement. D'autres types de structures n'ont pas été compilés pour le présent scénario, dont les bâtiments industriels et commerciaux, les services d'eau et d'égout, et les structures de communication et d'électricité. Ces infrastructures peuvent aussi être modélisées avec Hazus. L'inventaire limité utilisé pour ce rapport a été sélectionné principalement à titre de démonstration.

3.1 Démographie

Selon les données de Statistique Canada de 2006, environ 27,700 personnes habitent la région, dont plus de 14,500 dans la partie de la MRC de Charlevoix-Est qui est inclus dans la région d'étude, et environ 13,200 dans celle de la MRC de Charlevoix. La Figure 4a présente la population totale de la région d'étude par subdivision de recensement. La plus grande partie de la population habite les villes de Baie-Saint-Paul, de La Malbaie, et de Clermont. Cette population serait répartie en plus de 11,000 familles. De plus, en raison du contexte de villégiature de la région, une population additionnelle parfois importante s'ajoute à la population permanente déjà mentionnée.

3.2 Bâtiments résidentiels

Les effets du séisme du scénario d'exercice seront importants sur toute la région d'étude. La secousse principale pourrait endommager sérieusement surtout les structures plus âgées ayant été construites selon des niveaux de conception parasismique moins contraignants, voire inexistantes. Les dommages calculés peuvent être structurels, non-structurels, ainsi qu'au contenu matériel des bâtiments. Aux fins de ce document, les dommages économiques calculés concernent seulement les bâtiments résidentiels. Ces derniers incluent les maisons unifamiliales, multifamiliales, les bâtiments d'un seul et de multiples étages, et les maisons mobiles. La Figure 4b présente le nombre de bâtiments résidentiels par subdivisions de recensement. Les dommages occasionnés aux bâtiments gouvernementaux, industriels et commerciaux, et certains types d'infrastructures n'ont pas été modélisés.

Les dommages aux composantes structurelles comprennent la charpente et les fondations du bâtiment. Les dommages structurels peuvent provoquer la destruction d'un bâtiment, des blessures et des pertes humaines. Les dommages aux composantes non-structurelles incluent les composantes architecturales comme les murs de partitions, les plafonds et les systèmes mécaniques et électriques. Ces éléments peuvent s'effondrer au plancher ou être projetés à travers une pièce lors d'un tremblement de terre, et peuvent causer des blessures et potentiellement des pertes de vies humaines.

Les différents types de bâtiments présents dans la région d'étude sont dérivés des données du recensement de 2006 de Statistique Canada et de certaines hypothèses permettant une catégorisation des bâtiments selon 36 types de construction pouvant être modélisés par Hazus. Le nombre d'étage, le type et matériel de la charpente, la présence de contreventements, et le type et matériel des contreventements font partie des paramètres principaux utilisés, ou possiblement inférés, servant à définir les types de bâtiments pouvant être modélisés de façon

spécifique par Hazus. Dans le cas des bâtiments résidentiels de la région d'étude, seulement huit types de bâtiments en composent l'inventaire. La Figure 3 présente la manière dont approximativement 9,000 bâtiments résidentiels présents dans la région d'étude ont été distribués en types spécifiques de bâtiments.

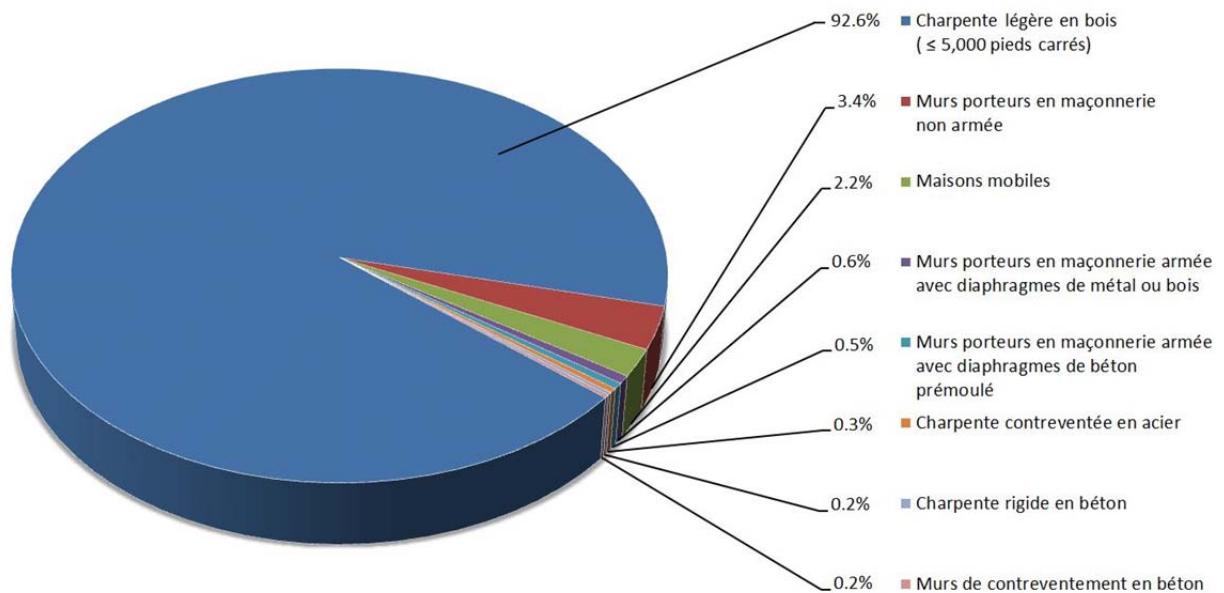


Figure 3. La distribution de l'ensemble des bâtiments résidentiels de la région d'étude en différents types génériques de bâtiments.

Hazus évalue les dommages structuraux et non-structuraux occasionnés aux bâtiments, qui peuvent varier d'aucun dommage à une destruction complète. Comme exemple, les dommages légers incluent les petites fissures aux coins des portes et des fenêtres à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments. Les dommages modérés ou moyens peuvent inclure les fissures plus larges et l'effondrement de certaines cheminées. Les dommages extensifs (ou généralisés) peuvent inclure de larges fissures diagonales dans les murs et les fondations, des dommages aux cadres des portes, des mouvements latéraux des planchers, des toits et des structures déplacés de leurs fondations, et l'effondrement partiel d'étages moins bien construits comme par exemple un garage ayant des pièces au premier étage. Les exemples de dommages complets (ou destruction) incluent des mouvements importants de structures avec effondrement partiel, imminent ou complet du bâtiment et lorsque les murs internes devront être remplacés.

Les dommages aux bâtiments peuvent être exprimés en termes de dommages physiques, ou en termes de pertes économiques.

3.3 Bâtiments de services essentiels

Selon les sources d'information disponibles, un inventaire détaillé des bâtiments de services essentiels a été complété pour la région d'étude. La compilation de cet inventaire a nécessité plusieurs hypothèses afin de quantifier certains paramètres. La plupart ont été dérivées selon les instructions disponibles dans les guides techniques et de l'utilisateur de Hazus (FEMA, 2012a et b; Ulmi *et al.*, 2014), et / ou selon le meilleur jugement des analystes. Les hypothèses utilisées pour la construction de l'inventaire sont principalement en lien avec la sélection des bâtiments devant être inclus, ainsi qu'en lien avec la quantification des paramètres nécessaires

à l'évaluation des pertes et des dommages, en fonction des données disponibles. Toutes ces hypothèses ont été documentées, et les attributs principaux de l'inventaire des bâtiments de services essentiels utilisé pour cet exercice sont présentés à l'annexe C. En somme, 17 établissements d'éducation, 2 postes de police, 9 établissements de soins de santé, et 13 casernes d'incendie ont été inclus dans l'inventaire des bâtiments de services essentiels pour l'exercice de La Grande Secousse de Charlevoix 2013. Les Figures 4c, 4d, et 4e localisent les différents bâtiments de services essentiels dans la région d'étude.

3.4 Infrastructures de transport

L'inventaire des infrastructures de transport a été dérivé des banques de données de référence CanVec de RNCan et les paramètres nécessaires ont été hypothésés selon les guides technique et de l'utilisateur de Hazus (FEMA, 2012a et 2012b; Ulmi *et al.*, 2014). Cet inventaire répertorie plus de 770 kilomètres d'autoroutes, routes et rues, 55 ponts et 2 tunnels routiers, ainsi que plus de 80 kilomètres de chemins de fer et 9 ponts ferroviaires. La Figure 4f présente la localisation des ponts routiers et ferroviaires dans la région de l'étude. Les coûts de remplacement associés à l'inventaire complet des infrastructures de transport pour la région d'étude ont été estimés à plus de 4 milliards de dollars.

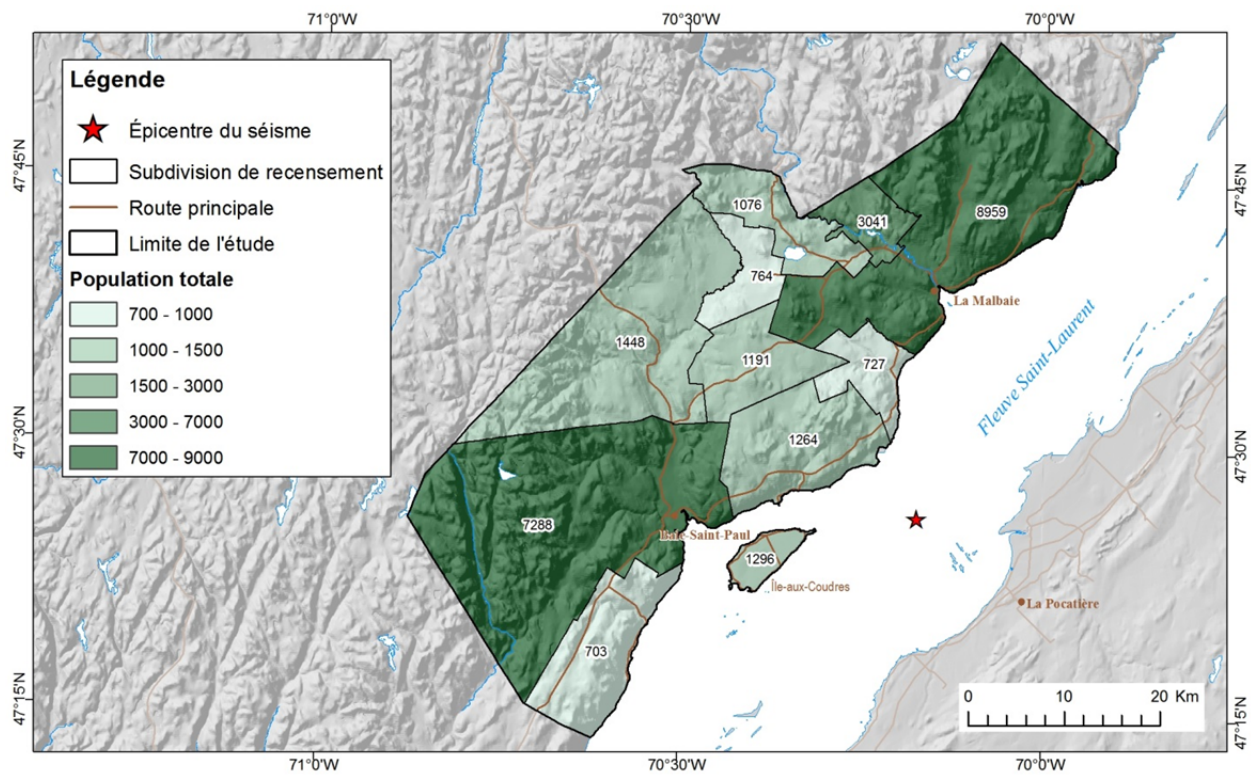


Figure 4a. La population totale par subdivision de recensement.

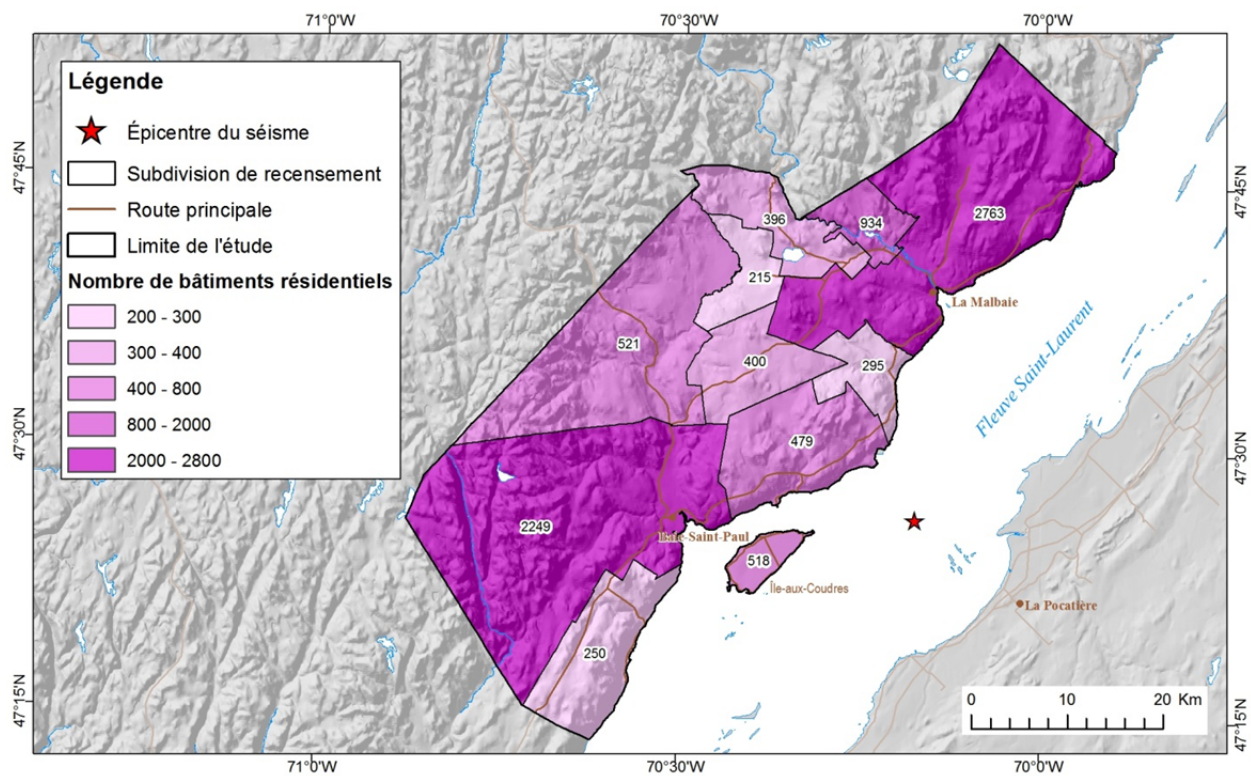


Figure 4b. Le nombre de bâtiments résidentiels par subdivision de recensement.

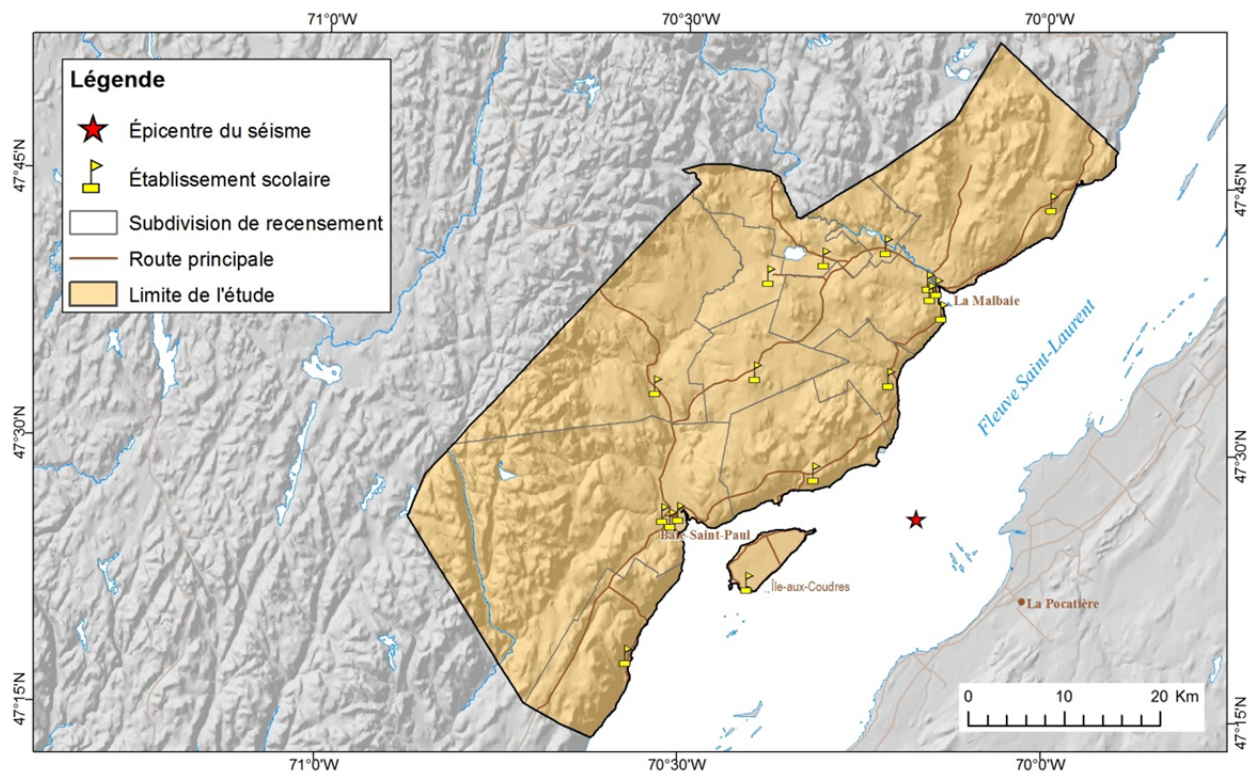


Figure 4c. La localisation des établissements scolaires.

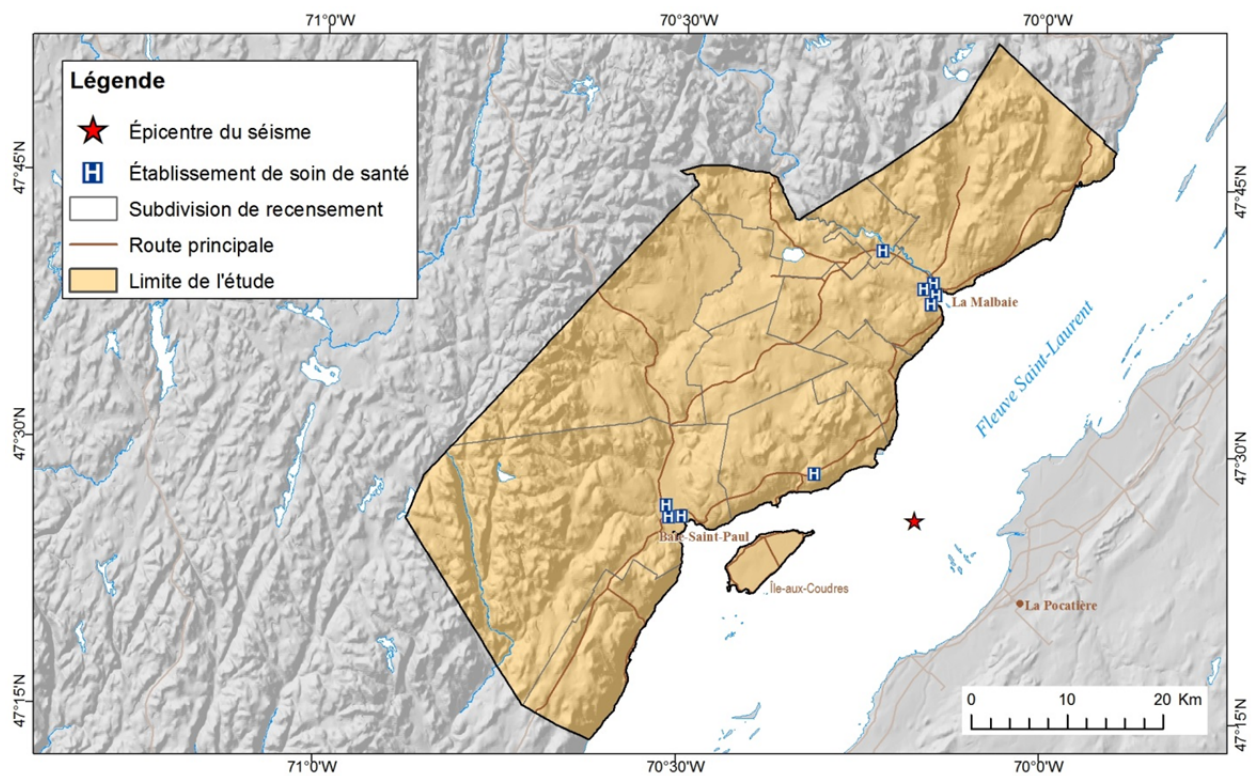


Figure 4d. La localisation des établissements de soins de santé.

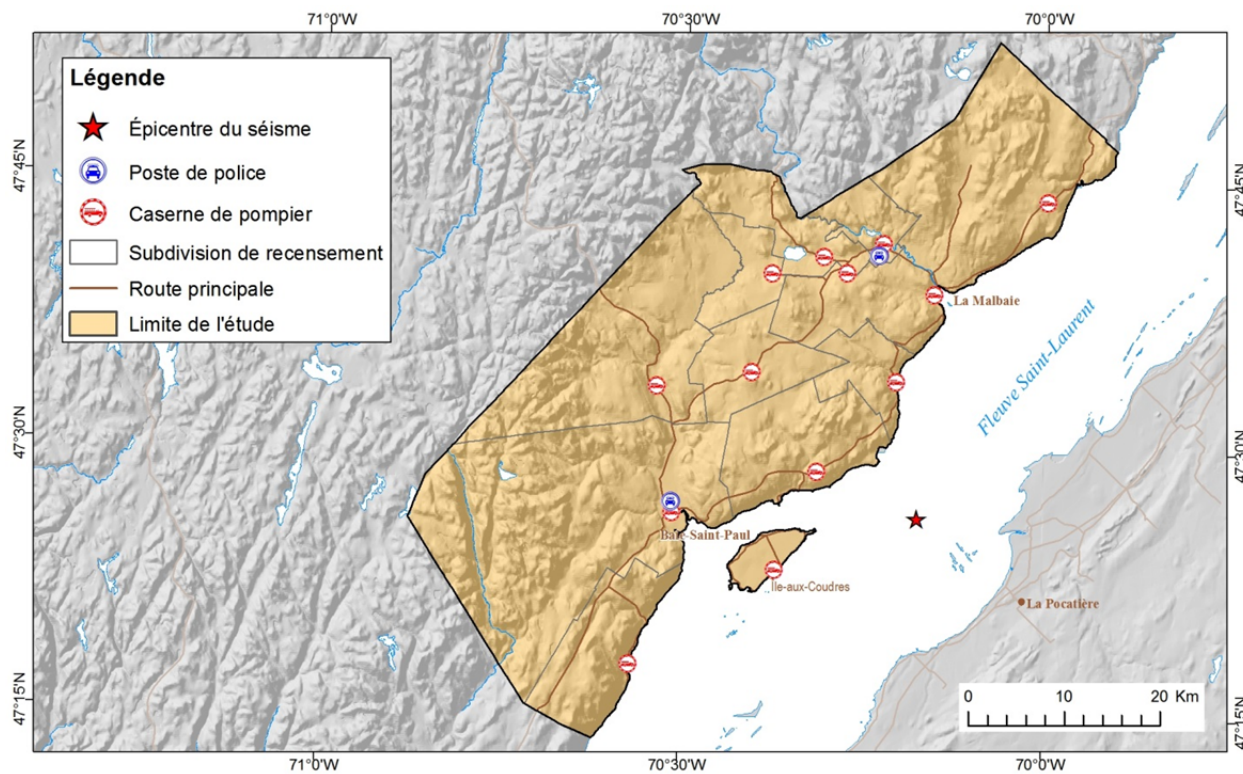


Figure 4e. La localisation des postes de police et des casernes de pompiers.

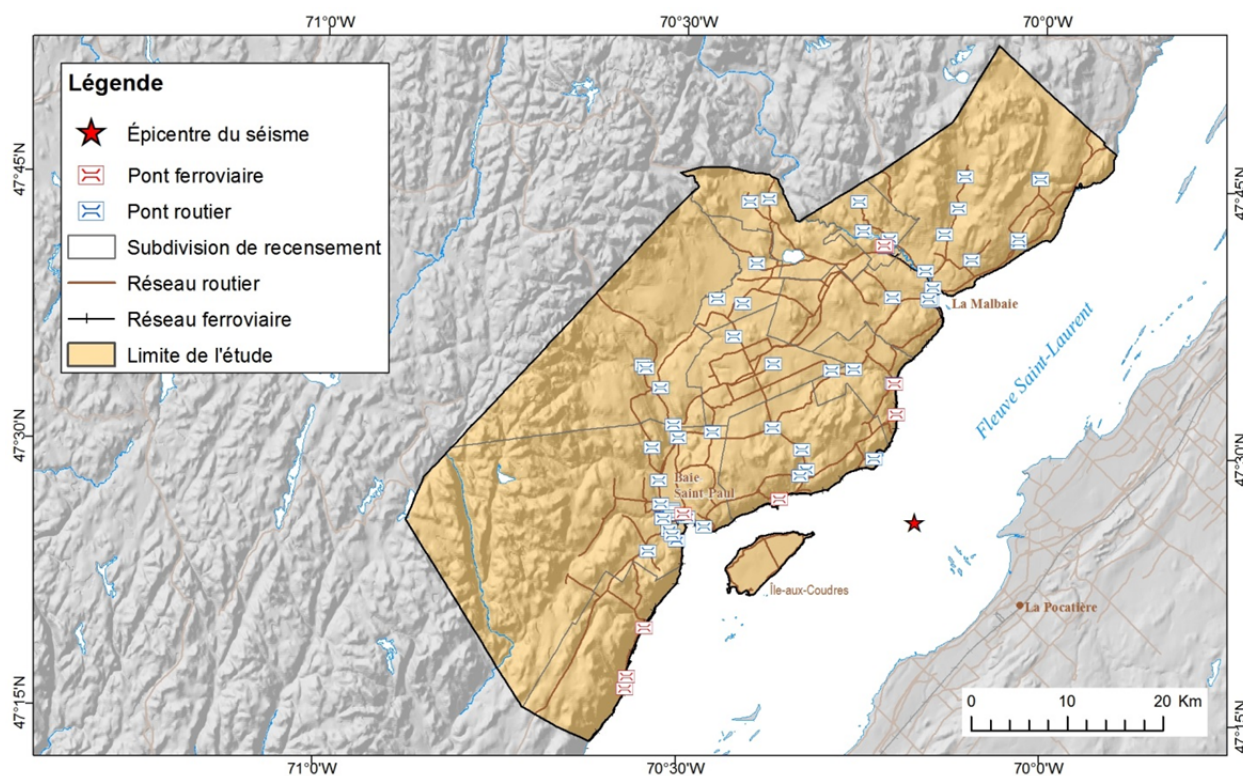


Figure 4f. La localisation des ponts routiers et ferroviaires.

4. SÉISMICITÉ DE CHARLEVOIX

La région d'étude fait partie de la Zone sismique de Charlevoix, la zone sismiquement la plus active de l'Est du Canada. Historiquement, cinq séismes importants s'y sont déroulés: en 1663 (M7); 1791 (M6); 1860 (M6); 1870 (M6 ½); et en 1925 (M6.2 ± 0.3) (RNCAN, « <http://www.seismescanada.rncan.gc.ca/zones/eastcan-fra.php> »). Chaque année, le réseau sismographique local enregistre plus de 200 séismes dont environ deux ou trois seront ressentis par la population. Le Figure 5 montre une compilation de cette activité. La plupart des séismes sont localisés sous le fleuve Saint-Laurent. Leurs hypocentres sont localisés dans le Bouclier canadien, entre la surface et une profondeur de 30 km (Lamontagne, 1999). La Figure 6 illustre cet aspect à l'aide d'un profil. L'activité sismique de la Région est reconnue dans le zonage sismique inclus dans le Code national du bâtiment du Canada.

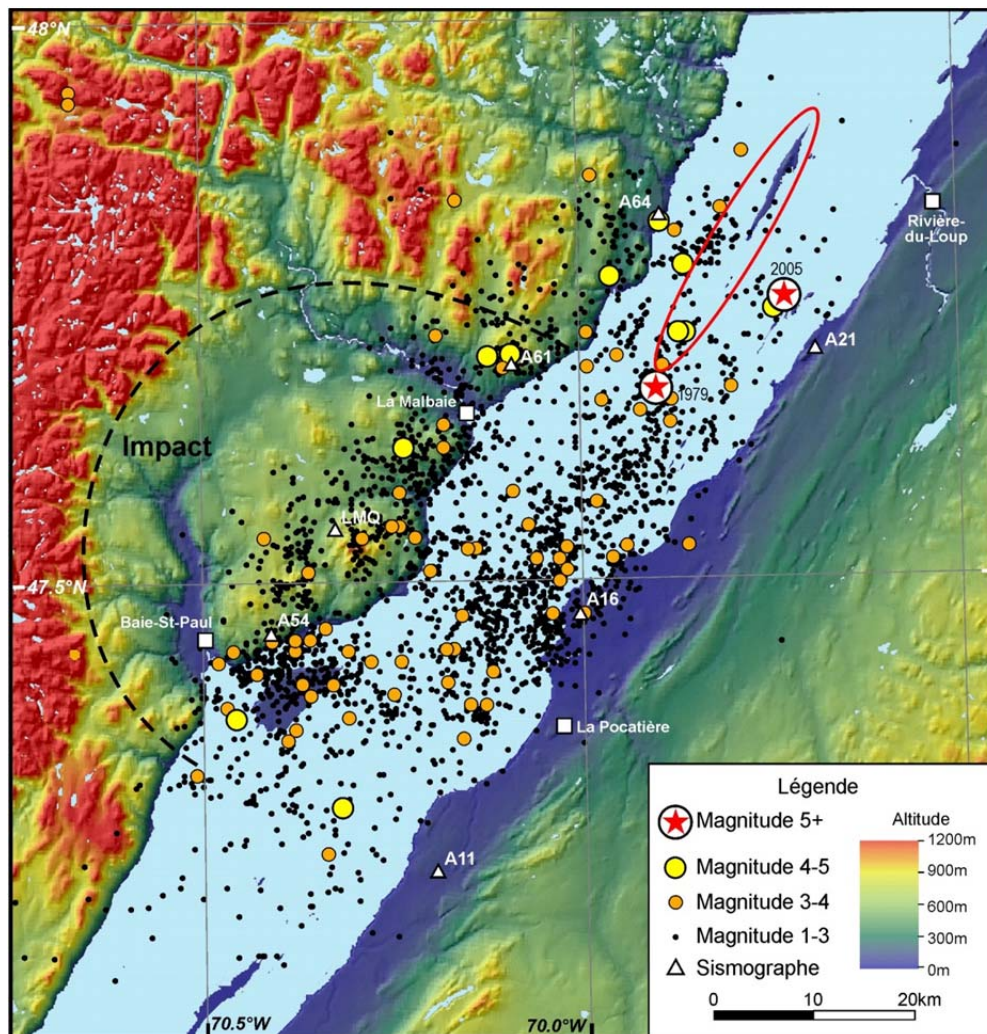


Figure 5. Carte de la position des quelque 2 600 tremblements de terre (cercles) de magnitude 1,0 et plus enregistrés entre 1978 et 2012. La position présumée du séisme de 1925 est montrée. Depuis 1978, les tremblements de terre sont surveillés par un réseau de sept sismographes (triangles blancs). Le fond de carte représente l'élévation de la surface du sol. Le cratère météoritique de Charlevoix présente une dépression bien visible sur la carte.

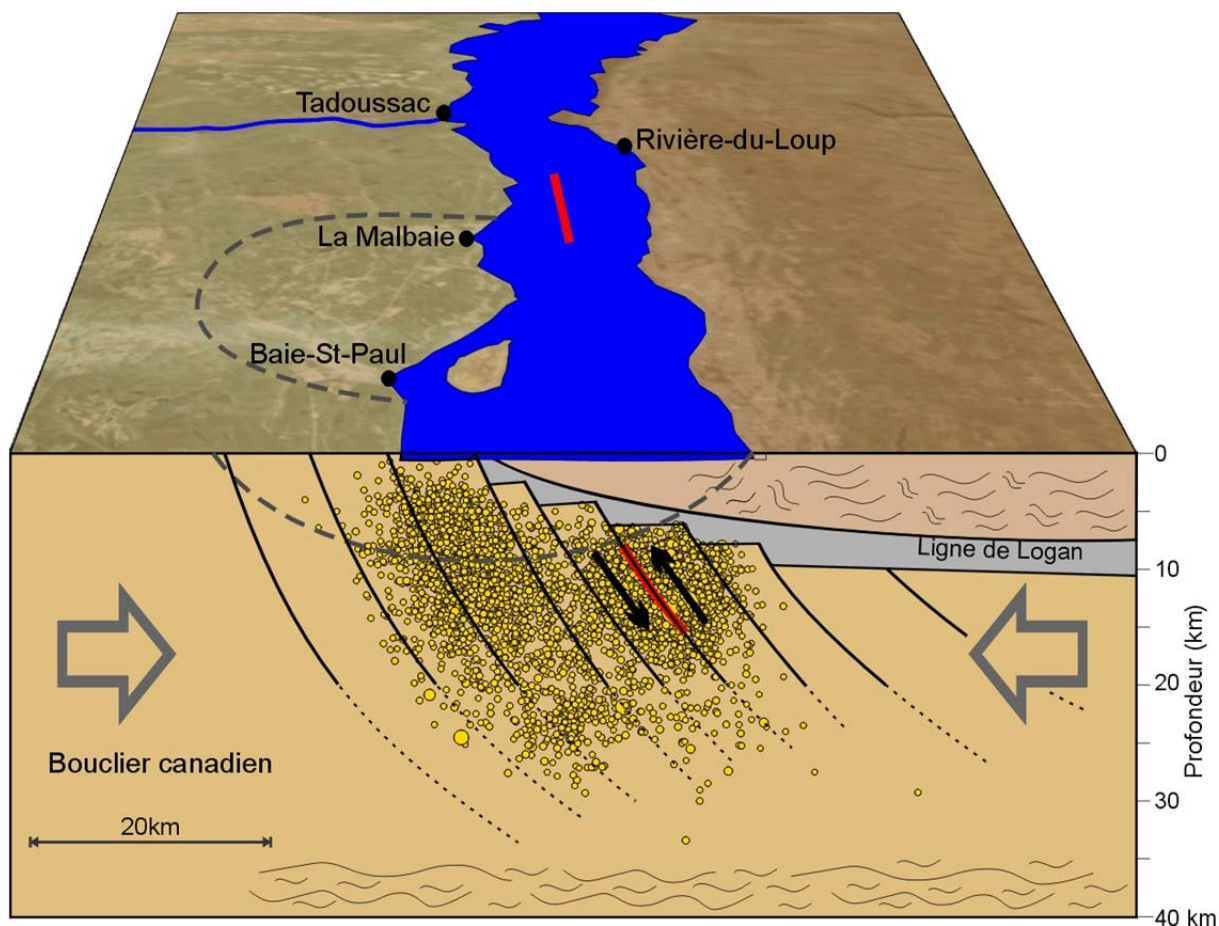


Figure 6. Vue idéalisée en trois dimensions de la position des tremblements de terre de Charlevoix. Les séismes se produisent pour la plupart entre 5 et 25 km de profondeur dans le Bouclier canadien, bien en-dessous de la Ligne de Logan qui représente la base des Appalaches. Les séismes, incluant celui de 1925 (lignes rouges et flèches), se produisent le long de failles du Bouclier canadien. La poussée venant de la ride médio-Atlantique comprime tout l'est de l'Amérique du Nord et cause des séismes dans des régions plus fragiles, comme dans Charlevoix. Au-dessous de 30 km de profondeur environ, la roche devient ductile (déformable) sans que les séismes se produisent.

Le séisme utilisé dans ce scénario n'est pas très différent de celui du 20 octobre 1870 qu'on estime à magnitude $6 \frac{1}{2}$ sur l'Échelle de Richter. D'après les dommages qui ont été constatés, on croit que l'épicentre de ce séisme était localisé près des Éboulements. Dans cette localité, plusieurs édifices ont été fortement endommagés avec quelques cas d'effondrement. Deux victimes furent identifiées, les seuls morts directement attribués à un séisme au Canada (Lamontagne, 2008). Ce séisme avait d'ailleurs causé de la liquéfaction des sols près de Baie-St-Paul.

Le séisme de 1925 s'est produit à l'extrémité nord-est de la zone sismique et pour cette raison les dommages furent plus limités qu'en 1870 mais quand même considérables dans les municipalités construites sur d'épais dépôts meubles.

4.1 Scénario considéré

Plusieurs scénarios potentiels quant au risque sismique en Charlevoix ont été étudiés par des experts de Ressources naturelles Canada, et soumis à divers processus de validation internes ainsi qu'évalués par des pairs. Par sa localisation au milieu de la zone sismique, le scénario

développé pour le présent exercice serait parmi les séismes potentiellement les plus dévastateurs possible dans cette région, en considération de son impact potentiel sur la population et les infrastructures (Lamontagne et Marceau, 2012).

Ainsi se présente le scénario de La Grande Secousse de Charlevoix 2013: le 26 septembre 2013 à 10:26 HAE, un séisme hypothétique de magnitude M6.5 sur l'échelle de Richter (échelle du moment sismique) se produit dans la région de Charlevoix. Son épicentre est localisé à 47.438° nord et 70.175° ouest, approximativement à 7 km au sud-est du Cap-aux-Oies, à une distance égale d'environ 24 km des villes de Baie-Saint-Paul et de La Malbaie. Son foyer est à 10 km de profondeur (Lamontagne et Marceau, 2012).

Ce scénario réaliste est issu du contexte sismique historique local. Des répliques sismiques accompagnent souvent un tremblement de terre majeur, mais seuls l'impact et les conséquences de la secousse principale telle que décrite précédemment ont été évalués et présentés. Néanmoins, pour un tel scénario, de nombreuses répliques sismiques seraient normalement attendues, dont possiblement plusieurs dizaines par heure. Les répliques sismiques d'une magnitude de M5.0 et plus pourraient causer des dommages supplémentaires (Lamontagne et Marceau, 2012).

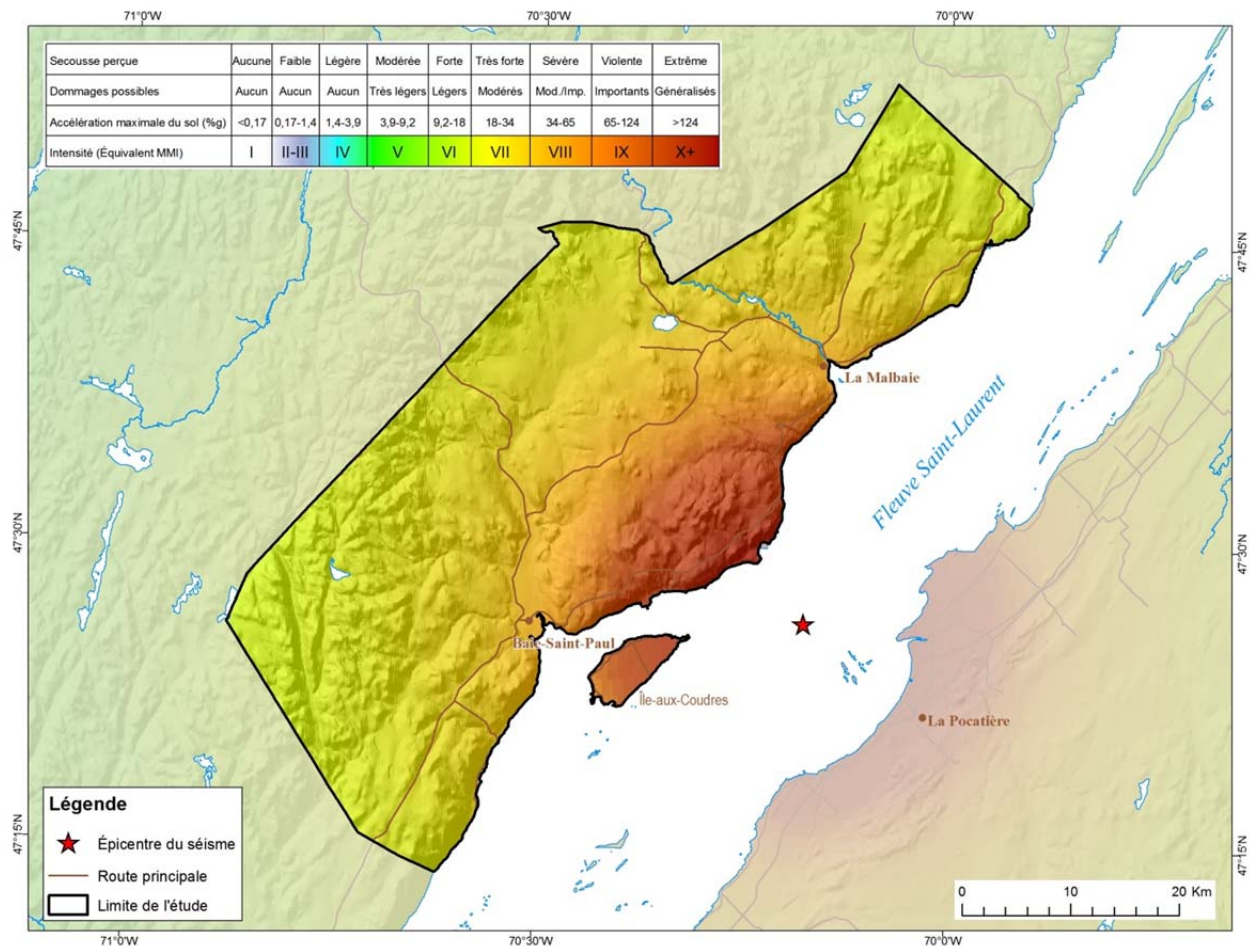


Figure 7. Carte de la distribution de l'accélération maximale du sol. Sol de type « sol consistant » présumé pour toute la région d'étude, et lois d'atténuation des mouvements du sol selon Atkinson et Boore (2011). L'accélération maximale du sol est exprimée en accélération normale de la pesanteur terrestre 'g' (9.81 m/s²).

4.2 Intensité de la secousse

L'emplacement de l'épicentre du séisme du scénario d'exercice est présenté à la Figure 7, tout comme l'intensité des secousses sismiques prédites sous la forme de l'accélération maximale du sol, pour toute la région de l'étude. Lors d'un séisme, le glissement sur la faille génère des ondes sismiques qui se propagent radialement dans le roc depuis le foyer du séisme. Au cours de ce trajet, les ondes traversent des milieux géologiques aux propriétés mécaniques variées, ce qui modifie leur contenu en fréquences et l'intensité du signal sismique. L'intensité des secousses a été évaluée au moyen d'un modèle de « prédiction élevée » du mouvement du sol au niveau du socle rocheux selon Atkinson et Boore (2011). La source des secousses a été présumée ponctuelle, alors que l'on sait que la source d'un séisme de M6+ sera plutôt linéaire et d'une longueur de plusieurs kilomètres ; donc aucun effet de directivité pouvant étendre cette source n'a été modélisé. De plus, la possibilité d'une rupture en surface n'a pas été considérée, ce qui pour un séisme de M6,5 à 10 km de profondeur, n'est pas impossible. Il faut aussi noter qu'une grande incertitude demeure en ce qui concerne l'intensité des secousses près de l'épicentre d'un séisme majeur.

4.3 Autres effets reliés aux tremblements de terre

Les couches géologiques près de la surface consistent en général de dépôts meubles caractérisés par une vitesse plus lente de propagation des ondes sismiques que celle du roc sous-jacent. L'effet de site est le terme utilisé pour décrire la modification induite par le passage des ondes sismiques du roc aux dépôts meubles. Les effets de site se traduisent fréquemment par une augmentation de l'amplitude, de la durée et par un changement des fréquences des secousses sismiques. De façon générale, il est habituellement accepté que les sols plus meubles correspondent à des zones de dommages plus marqués lors d'un séisme que les sols plus fermes.

Le microzonage sismique est une technique qui vise à représenter les effets de site. Le microzonage sismique s'appuie sur les données de classification du sol tel que défini dans le Code national du bâtiment (CNRC, 2010). En plus des cartes d'usage de la géologie et des conditions locales, les cartes correspondantes informant sur la réponse sismique locale des sols peuvent être générées pour chacun des scénarios d'aléa sismique, puis être intégrées à l'analyse sismique et à la modélisation. Toutefois, les conditions locales des sols et leur impact sur l'intensité des secousses et sur les dommages encourus n'ont pas été intégrés au scénario de la Grande Secousse de Charlevoix 2013, en raison du manque d'information sur le sujet. En conséquence, un seul type de sol distribué de façon uniforme sur la région d'étude a été présumé aux fins de la modélisation avec Hazus. C'est un type de sol de classe « D », dit « sol consistant », ayant une vitesse moyenne des ondes de cisaillement dans les premiers 30 mètres à partir de la surface (V_{s-30}) entre 180 et 360 m/sec, qui a été présumé pour l'ensemble de la région d'étude. Il est clair cependant que pour le même scénario et les mêmes hypothèses, différents types de sol produiront des estimations de pertes et de dommages bien différents. Ce point, tout comme les résultats présentés, soulignent un besoin concret quant au développement de cartes de la géologie superficielle locale, des sols, et de la réponse sismique des sols. En annexe B, un court examen de la variation du type de sol présumé, ainsi que de l'impact correspondant sur les dommages et les pertes encourus, est présenté pour quatre autres types de sol uniformes sur toute la région d'étude.

D'autres facteurs influencent aussi l'intensité de secousses localement comme les effets de bordure de bassins géologiques, ainsi que de variations dans la topographie. Dans les régions exposées aux tremblements de terre, il est aussi possible que des déformations permanentes de la surface du sol se produisent sous forme de liquéfaction des sols et de glissements de terrain en réponse aux secousses sismiques. Ces phénomènes provoqués par les secousses peuvent alors devenir une cause principale de dommages et de pertes lors d'un séisme. Une rupture de failles en surface est aussi possible. Ces facteurs, à l'exception d'un scénario exploratoire considérant la susceptibilité aux glissements de terrain et présenté en annexe B, ne font présentement pas partie des intrants pris en considération. Inclure ces facteurs pourrait faire varier la modélisation des pertes et des dommages estimés.

5. RÉSULTATS : IMPACTS ET CONSÉQUENCES

Pour construire le modèle Hazus, plusieurs hypothèses ont dû être formulées pour représenter les infrastructures et la population de la façon la plus fidèle possible, à partir des meilleures données disponibles. Les résultats du modèle sont des estimations, et les valeurs exprimées représentent davantage un ordre de grandeur possible des pertes et des dommages potentiels, et non des prédictions chiffrées exactes et exhaustives. Tous les résultats exprimés dans ce document doivent être interprétés ainsi.

Le rapport sommaire global découlant du scénario d'exercice de La Grande Secousse de Charlevoix 2013 est présenté à l'annexe D. Ce rapport issu directement de Hazus donne un aperçu des inventaires considérés et des estimations de pertes et de dommages pour un scénario donné. L'absence de données d'intrants s'y traduit généralement par des valeurs nulles à la fois en inventaire et dans les résultats. Plusieurs autres rapports visant des thèmes plus spécifiques sont aussi disponibles directement du logiciel.

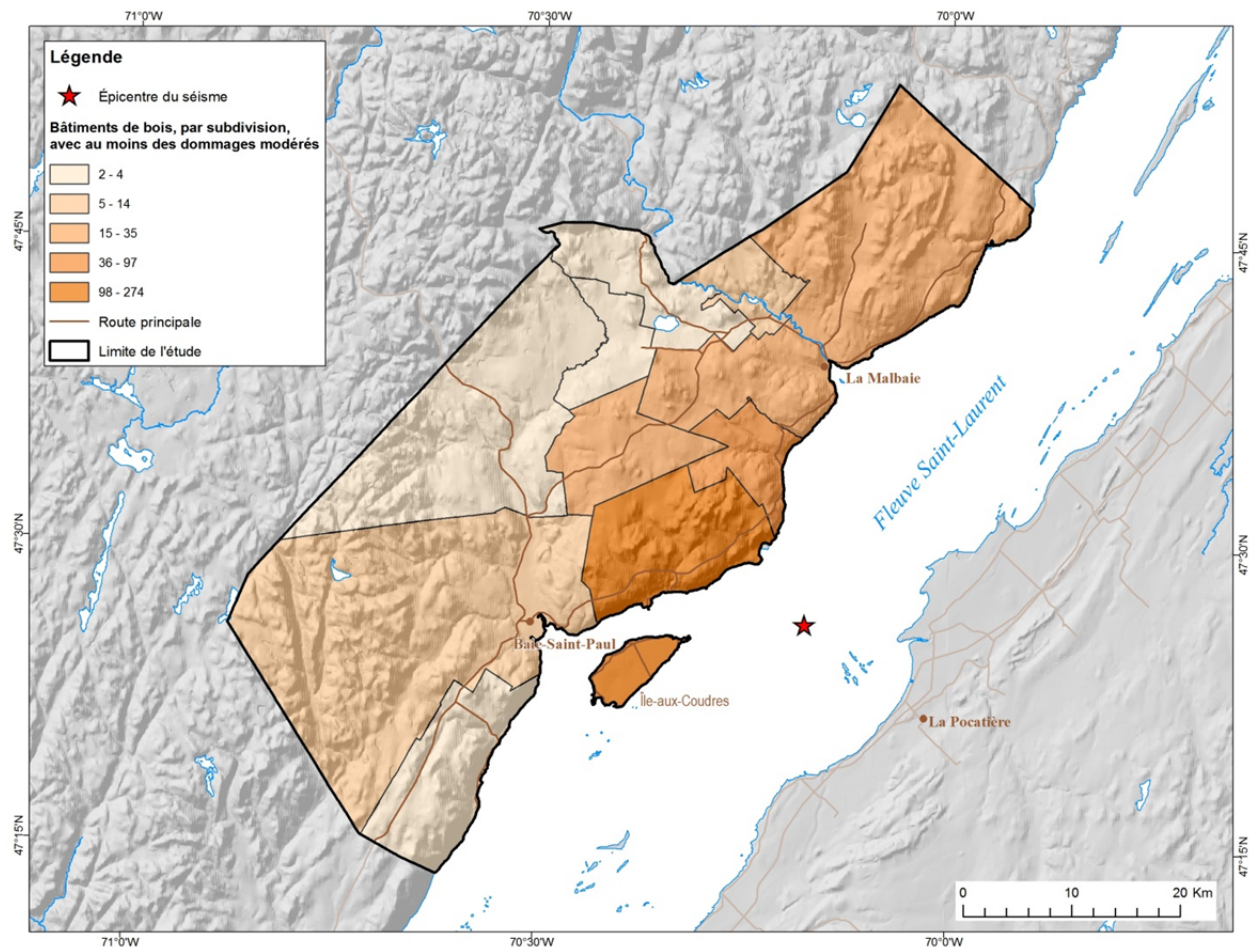


Figure 8. Le nombre de bâtiments résidentiels ayant une charpente en bois, agrégés par subdivision de recensement, pouvant subir au moins des dommages modérés, modélisés par Hazus selon le scénario d'exercice de La Grande Secousse de Charlevoix 2013.

5.1 Dommages physiques

Les dommages physiques sont classés selon le degré de dommages : aucun, léger, modéré, généralisé, et complètement endommagé (tels que décrits à la section 3.2). L'évaluation des dommages dépend en partie de la version du code du bâtiment selon lequel les structures ont été conçues. Pour cette étude, seuls certains détails sommaires disponibles sur la construction des structures ont pu être utilisés afin de construire l'inventaire des bâtiments. Cet état de fait a requis une simplification des détails du code du bâtiment pris en considération par le modèle, ce qui pourrait ne pas correspondre nécessairement à la situation locale. Pour cette raison, les dommages physiques estimés pourraient être améliorés ou encore validés avec l'application d'informations plus complètes en lien avec le code du bâtiment.

Des estimés préliminaires de dommages physiques (structurels et non-structurels) pour environ 9,000 bâtiments résidentiels dans la région d'étude ont été modélisés avec Hazus. De ceux-ci, presque 3,000 bâtiments (ou ≈33%) subirait des dommages légers ou modérés. Environ 100 bâtiments (ou ≈1%) seraient sévèrement ou complètement endommagés. La Figure 8 présente le nombre absolu, agrégé par subdivision de recensement, de bâtiments résidentiels construits avec une charpente légère en bois qui subirait au minimum des dommages modérés selon le scénario d'exercice de La Grande Secousse de Charlevoix 2013. On peut y constater que la distance de l'épicentre, via l'intensité des secousses, joue un rôle prépondérant quant aux dommages subis. Cet effet est partiellement dû à une source de secousses présumée ponctuelle, et à un modèle géologique présumant un seul type de sol distribué de façon uniforme sur toute la région d'étude.

5.2 Pertes économiques

Des estimations préliminaires indiquent que les pertes économiques associées aux bâtiments résidentiels de la région d'étude pourraient approcher 100 millions de dollars. Ce montant inclut les coûts de remplacement ou de réparation des dommages causés aux bâtiments et à leur contenu (≈92%), ainsi que les coûts associés aux pertes d'exploitation dont les pertes de revenus locatifs et les coûts de l'hébergement temporaire (≈8%). Des pertes additionnelles directes attribuables au séisme du scénario d'exercice pourraient s'ajouter si le modèle prenait en considération les bâtiments non résidentiels (commerciaux, industriels, gouvernementaux, etc.). Des pertes indirectes provenant de pertes d'exploitation dans des secteurs économiques qui ne sont pas directement affectés par le séisme pourraient aussi contribuer aux pertes économiques totales.

La Figure 9 présente les pertes économiques directes totales qui pourraient résulter de dommages structuraux et non-structuraux aux bâtiments résidentiels ainsi qu'à leur contenu, incluant les coûts de réinstallation et les pertes en revenu locatif. Les pertes illustrées ont été normalisées par rapport au nombre de bâtiments dans chaque subdivision de recensement afin d'éliminer l'effet de la distribution inégale des bâtiments dans des subdivisions de recensement de superficies variables. De cette manière, la représentation cartographique des pertes devient plus significative, et permet des comparaisons entre des subdivisions ayant peu de bâtiments et une grande superficie, et des subdivisions ayant beaucoup de structures dans une superficie réduite. Les pertes ainsi normalisées y sont présentées en milliers de dollars par bâtiment, pour chaque subdivision de recensement.

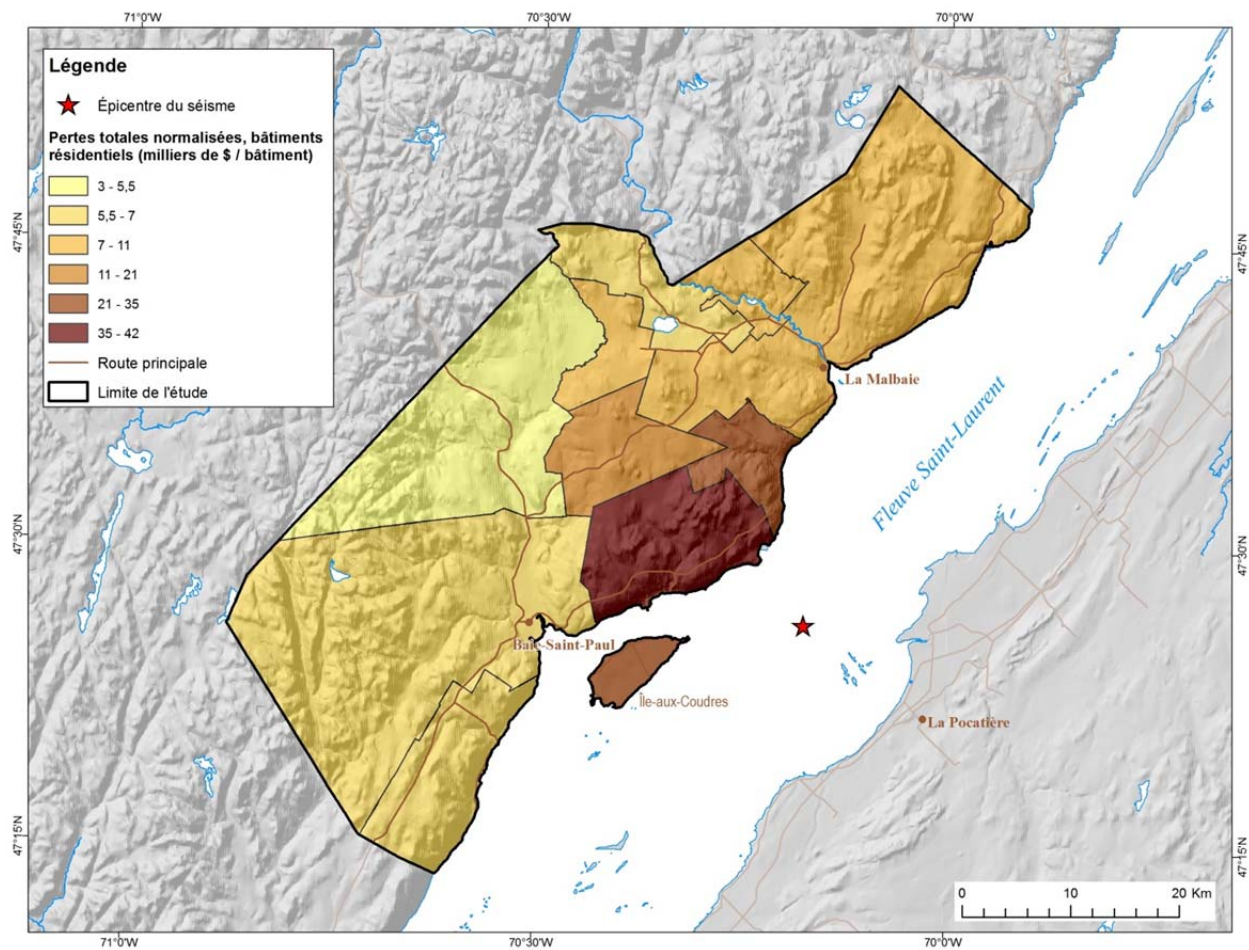


Figure 9. Les pertes économiques directes totales pour les bâtiments résidentiels, normalisées selon le nombre de bâtiments pour chaque subdivision de recensement, modélisées par Hazus selon le scénario d'exercice de La Grande Secousse de Charlevoix 2013.

Tel que prévu, les plus importantes pertes économiques provenant de dommages aux bâtiments résidentiels sont prédites pour les centres urbains de Baie-Saint-Paul et de La Malbaie, où beaucoup de bâtiments sont concentrés. Plus à l'intérieur des terres dans Charlevoix, l'intensité de l'impact du séisme et les dommages résultants s'atténuent avec une distance croissante de l'épicentre du séisme.

5.3 Pertes humaines

Les blessures occasionnées selon le présent scénario proviennent des dommages structuraux et non-structuraux associés aux bâtiments résidentiels en lien avec les secousses sismiques. Les estimations n'incluent pas les pertes humaines qui proviendraient des bâtiments gouvernementaux, industriels ou commerciaux, ni celles qui proviendraient indirectement d'incendies et de tsunamis qui pourraient suivre le séisme. Les estimations présentées sont basées sur une population totale pour la région d'étude de 27 757 habitants (recensement de 2006, Statistique Canada).

Les pertes humaines sont évaluées selon le degré de sévérité pour trois moments précis dans la journée. Le modèle utilise des mises en relations standardisées afin de déterminer le nombre

de pertes et de blessures pour chaque secteur ou subdivision de recensement, mais n'indique pas l'emplacement de celles-ci à l'intérieur du secteur ou de la subdivision de recensement.

Tableau 1. Résultats de l'évaluation des risques selon le scénario de la Grande Secousse de Charlevoix 2013 : Magnitude 6.5, profondeur 10 km, sol classe « D ».

Impacts et conséquences modélisés	Totaux des actifs de l'inventaire	Dommages et pertes
Blessés et décès (2AM)	27757	17
Blessés requérant hospitalisation (sévérité 2, 3) à 2AM	27757	2
Blessés totaux (2PM)	27757	4
Blessés requérant hospitalisation (sévérité 2, 3) à 2PM	27757	0
Blessés totaux (5PM)	27757	7
Blessés requérant hospitalisation (sévérité 2, 3) à 5PM	27757	1
Familles déplacées	9250 (3 pers./famille)	136
Individus requérant un abri public temporaire	27757	74
Bâtiments sans dommages	9021	5782
Bâtiments endommagés légèrement	9021	2328
Bâtiments endommagés modérément	9021	826
Bâtiments endommagés sévèrement	9021	78
Bâtiments complètement endommagés	9021	6
Pertes reliées aux dommages structuraux et non-structuraux aux bâtiments des bâtiments (millions de CAD\$)	1843	91.83
Pertes reliées à l'exploitation des bâtiments (millions de CAD\$)	s.o.	7.78
Pertes totales reliées aux bâtiments (millions de CAD\$)	s.o.	99.61
Débris totaux (millions de tonnes)	s.o.	0.02
Camions de débris requis (25 tonnes par camion)	s.o.	600
Casernes de pompier au moins modérément endommagées	13	3
Établissements scolaires au moins modérément endommagés	17	6
Hôpitaux au moins modérément endommagés	9	5
Stations de police au moins modérément endommagés	2	0

Le scénario d'exercice précise que le séisme survient à 10:26 HAE, ce qui présume que la plupart des gens se trouveraient dans leurs lieux de travail plutôt qu'à la maison ou en déplacement. Le Tableau 1 présente les pertes et les blessures qui pourraient survenir selon le scénario de la Grande Secousse de Charlevoix 2013, au milieu de la journée. Les estimations en pertes humaines calculées dans le cas d'un séisme identique, mais prenant place pendant la nuit quand la plupart des gens se trouveraient à la maison, y sont aussi présentées. En ce qui concerne les bâtiments résidentiels, les estimations en pertes et blessures pour un séisme de nuit peuvent s'avérer plusieurs fois supérieures à celles calculées pour un séisme de jour. De la même façon, Hazus peut aussi calculer les pertes humaines quand les gens seraient surtout en déplacement entre leurs lieux de travail et leurs résidences (vers 17:00 heures), ce qui normalement produirait des estimations intermédiaires entre celles du jour et de la nuit.

5.4 Besoins en hébergement public de courte durée

L'impact du séisme sur les bâtiments résidentiels pourrait faire en sorte que 136 familles soient sans logis à la suite du tremblement de terre, soit près de 400 individus ou environ 1,5% de la population totale de la région d'étude, si on présume 3 personnes par famille. De ce nombre, 74 individus auront besoin d'hébergement public de courte durée, ne pouvant se reloger d'eux-mêmes rapidement. Ce nombre prend en considération l'âge, le revenu et la propriété au niveau de chaque subdivision ou secteur de recensement.

5.5 Production de débris

Les estimations de quantité de débris engendrés selon le présent scénario incluent seulement les débris provenant des bâtiments résidentiels et de leur contenu. Ces estimés n'incluent pas les débris provenant des autres types de construction tels les bâtiments commerciaux, industriels et de services essentiels, ni les débris provenant des infrastructures telles les routes, les chemins de fer et les réseaux de services comme l'eau potable, les égouts, l'électricité et les communications. De même, les débris calculés n'incluent pas ceux provenant de séismes secondaires ni ceux provenant d'autres effets comme les incendies et les dommages causés par l'eau à la suite du séisme.

Ainsi, environ 15 000 tonnes de débris seraient générées par le séisme de notre scénario. Le modèle fait une distinction entre les débris constitués de briques et de bois, et les débris constitués d'acier et de béton armé, car ces deux types nécessitent différentes méthodes de manutention. Dans le cas du présent scénario, environ 50% des débris seraient constitués de briques et de bois, et environ 50% des débris seraient constitués d'acier et de béton armé, le tout requérant approximativement 600 chargements de camions pour leur enlèvement.

6. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Une évaluation préliminaire des risques sismiques pour un scénario de tremblement de terre de M6.5 a été effectuée pour la région méridionale des MRCs de Charlevoix et Charlevoix-Est. Il apparaît clairement à l'issue de cette étude que les chiffres avancés le sont seulement à titre indicatif, et qu'ils pourraient varier de façon marquée selon un inventaire des actifs construit avec davantage de détails. Les résultats présentés pourraient aussi varier significativement par rapport aux pertes réelles qui découleraient d'un séisme spécifique. Le scénario d'exercice en risque sismique hypothétique de cette étude ne constitue ni une prédiction de séisme, ni une prédiction de dommages encourus ou de pertes. Néanmoins, avec l'aide de quelques hypothèses sur l'emplacement et l'intensité d'un tremblement de terre, ainsi que sur le type de sol et sur l'environnement construit à risque, ce scénario d'exercice offre un compte-rendu plausible de ce qui pourraient se produire en Charlevoix, dans l'éventualité qu'un tel événement se produise dans le future.

Les résultats présentés dans ce document ont été produits dans le but de démontrer la capacité d'évaluer les pertes et les dommages pouvant résulter d'un tremblement de terre dans le contexte spécifique de l'Est du Canada, à l'aide du logiciel Hazus. Le processus de modélisation a fait appel nécessairement à un nombre d'hypothèses afin de pouvoir tenir compte des données manquantes.

Les preneurs de décisions, tant à la planification du développement qu'à la réponse d'urgence, ont besoin de scénarios plausibles d'événements sismiques et d'outils de quantification des risques. Dans le but de leur fournir des estimations de pertes et de dommages plus utiles et robustes, certaines améliorations techniques sont ici avancées pour guider les travaux à venir. Ces améliorations peuvent s'étendre à une gamme d'aléas, de scénarios et de risques afin de mieux comprendre la vulnérabilité et les incertitudes inhérentes à chaque scénario. Par exemple, les scénarios futurs pourraient considérer :

- les multiples endroits possibles où pourrait se situer l'épicentre d'un séisme hypothétique, tout comme la profondeur de son foyer, par rapport aux centres de population de Charlevoix;
- la réponse dynamique des différents types de sols présents dans la zone d'étude;
- les autres effets de site tels la topographie ou la bordure de bassins géologiques;
- le potentiel de glissement de terrain et de liquéfaction des sols évalués de façon précise;
- la définition détaillée des composantes de l'inventaire des actifs, structures et infrastructures; et
- les effets d'un raffinement des hypothèses liées au code du bâtiment en lien avec les données disponibles de l'inventaire des actifs.

7. REMERCIEMENTS

La production de ce document a été financée en partie par le Programme canadien pour la sûreté et la sécurité administré par Recherche et développement pour la défense Canada. Des contributions de nature scientifique ou générale ont aussi été généreusement offertes pour la production de ce document, dont celles de membres de l'équipe de Ressources naturelles Canada travaillant au Programme Géosciences pour la sécurité publique, ainsi qu'au Laboratoire de cartographie numérique et de photogrammétrie de la Commission géologique du Canada à Québec. Nous remercions en particulier Dr. A. Bent et Dr. J. Cassidy de la Commission géologique du Canada, Dr. M.-J. Nollet de l'École de technologie supérieure à Montréal, et Dr. P. Marceau du ministère de la Sécurité publique du Québec pour leurs suggestions constructives visant à améliorer la qualité de ce document.

8. RÉFÉRENCES:

Atkinson, G.M. et Boore, D.M., 2011. *Modifications to Existing Ground-Motion Prediction Equations in Light of New Data*. Bull. Seism. Soc. Am. 101, 1121-1135.

Berman, E., 2011. *FEMA's Hazus Program. Technical Feature*. December 2011. ACSM Bull. 254: 33-34.

BGC Engineering Inc., 2011. *Landslide Susceptibility in Sensitive Clay in Eastern Canada*. Report prepared for Transportation Development Centre of transport Canada, 52p. + annexes.

Conseil national de recherches Canada - CNRC, 2010. *Code national du bâtiment Canada - CNBC 2010*. Ottawa (ON).

Conseil national de recherches Canada, 2013. *Options avancées et directions du Soleil*. « <http://www.nrc-cnrc.gc.ca/fra/services/levers/avancees.html> », consulté le 14 mars 2013.

Environmental Systems Research Institute - ESRI, s.d. *ArcGIS : Mapping & Analysis for Understanding Our World*. « <http://www.esri.com/software/arcgis> », consulté le 7 mai 2013.

Environnement Canada, 2013. *Archives nationales d'information et de données climatologiques*. « http://climat.meteo.gc.ca/climateData/canada_f.html », consulté le 14 mars 2013.

Federal Emergency Management Agency FEMA 2012a. *Hazus®-MH 2.1 – Earthquake Model Technical Manual*. Washington, D.C., 718 p.

Federal Emergency Management Agency FEMA 2012b. *Hazus®-MH 2.1 – Earthquake Model User Manual*. Washington, D.C., 863 p.

Futura-Sciences 2013. *Définition Aléas sismique*. Magazine Futura Terre. Port Fréjus, France. « www.futura-sciences.com/magazines/terre/infos/dico/d/geologie-alea-sismique-4974 », consulté le 29 août 2013.

Lamontagne, M., 1999. *Rheological and Geological Constraints on the Earthquake Distribution in the Charlevoix Seismic Zone*. Thèse de doctorat, Carleton University, Dossier public D-3778 de la Commission géologique du Canada, Ressources naturelles Canada.

Lamontagne, M., 2008. *Casualties directly caused by an earthquake in Canada: first contemporaneous written accounts from the M6.5 Charlevoix, Quebec, earthquake of 20 October 1870*. Bull. Seism. Soc. Am. 98 :1602-1606.

Lamontagne, M. et Marceau, P., 2012. *Scénario d'illustration pour la Grande Secousse de Charlevoix – 2013*. Rapport interne. Commission géologique du Canada, Ressources naturelles Canada, et ministère de la Sécurité publique du Québec. 3 p.

LeBoeuf, D., 2011. *États des connaissances: Cartographie régionale des effets de site d'origine sismique dans la vallée du St-Laurent, Québec*. Rapport interne, Université Laval. 116 p.

Ministère de la Sécurité publique, s.d. *Casernes incendie*. Banque de données. Direction des opérations, DGSCSI, Gouvernement du Québec.

« <http://www.donnees.gouv.qc.ca/?node=/donnees-details&id=b35193d7-b32d-456e-8e3a-61f9dfdde5ae> », consulté le 28 août 2012.

Ministère de la Sécurité publique, 2008. *Gestion des risques en sécurité civile*. ISBN 978-2-550-54258-2. Gouvernement du Québec, Québec. 66 p.

Nastev, M., 2014. *Adapting Hazus for seismic risk assessment in Canada*. Revue canadienne de géotechnique, 51, 1-6.

Nastev, M. et Todorov, N., 2013. *Hazus: A standardized methodology for flood risk assessment in Canada*. Revue canadienne des ressources hydriques, 38(3), 223-231.

Pelletier, G., 2008. *Analyse sismique des bâtiments des hôpitaux de La Malbaie et de Baie-Saint-Paul*. Rapport technique pour le Centre de santé et services sociaux de Charlevoix, EMS ingénierie et Claude Lelièvre Consultant, 16 p. + annexes.

Ressources naturelles Canada, 2013a. *Géogratias*. Banque de données.
« <http://geogratias.gc.ca/geogratias/search?lang=fr> », consulté le 7 mai 2013.

Ressources naturelles Canada, 2013b. *Les zones sismiques dans l'Est du Canada*.
« http://www.seismescanada.rncan.gc.ca/zones/eastcan_f.php », consulté le 14 mars 2013.

Statistique Canada, 2008. *Recensement de la population de 2006*. Banque de données.
« <http://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2006/index-fra.cfm> », consulté le 7 mai 2013.

Ulmi, M., Wagner, C., Wojtarowicz, M., Bancroft, J., Hastings, N., Chow, W., Rivard, J.R., Prieto, J., Journeay, M., Struik, B. et Nastev, M. 2014 (en préparation). *Hazus Canada User and Technical Manual*. Commission géologique du Canada, DP 7474. Ressources naturelles Canada.

Wojtarowicz, M., Hastings, N., Van Brabant, R., Chow, W. et Wagner, C., 2013. *Emergency exercise scenario : magnitude 7.3 Georgia Strait earthquake*. Programme Géosciences pour la sécurité publique et Service canadien d'information sur les risques, Commission géologique du Canada, 2012. Rapport interne 2012-01-REV1. Ressources naturelles Canada. 31 p.

ANNEXE A : GLOSSAIRE

Les définitions présentées ci-bas proviennent de LeBoeuf (2011) et du Ministère de la Sécurité publique du Québec (2008), à moins qu'il en soit indiqué autrement.

ACCÉLÉRATION MAXIMALE : La valeur de pointe de l'accélération du mouvement du sol obtenue sur un enregistrement dans une direction donnée (horizontale ou verticale). L'accélération maximale donne une indication sur la force du signal sismique dans les hautes fréquences.

ACCÉLÉRATION SPECTRALE : La valeur de l'accélération du spectre de réponse à différentes périodes (Sa0.3s, Sa1.0s) et pour un niveau d'amortissement donné (5%).

ALÉA SISMIQUE : La probabilité qu'un séisme ou tremblement de terre d'une certaine magnitude, puisse affecter une région durant une période donnée. La notion de risque sismique intègre à la fois la notion d'aléa et la perte probable en biens et activités productives ainsi qu'en vies humaines (Futura-Sciences, 2013).

ANALYSE DES RISQUES : Processus systématique qui vise à estimer le niveau de risque par l'analyse des probabilités d'occurrence des aléas et des conséquences potentielles pouvant résulter de leur manifestation.

CONSÉQUENCE : Atteinte ou dommage porté aux populations, aux biens et aux autres éléments d'un milieu touché par la manifestation d'un aléa.

DÉPLACEMENTS PERMANENTS DES SOLS : Les déplacements regroupant les cas de rupture de sol par rupture de faille à la surface, liquéfaction ou glissements de terrain, de même que les problèmes de tassements et de fissurations.

DÉPLACEMENTS TRANSITOIRES DES SOLS : Les déplacements impliquant les modifications des ondes sismiques (amplification ou atténuation de l'amplitude) généralement reliées aux contrastes d'impédance du milieu. Dans le contexte de textes réglementaires, les déplacements transitoires se caractérisent ultimement par la détermination des facteurs d'amplification pour les différentes plages fréquentielles.

ÉLÉMENT EXPOSÉ : Élément tangible ou intangible d'un milieu, susceptible d'être affecté par un aléa naturel ou anthropique et de subir des préjudices ou des dommages.

ÉVALUATION DES RISQUES NATURELS : Processus systématique par lequel les impacts négatifs d'événements catastrophiques d'origine naturelle peuvent être mesurés en termes de probabilités et de conséquences.

FACTEUR DE VULNÉRABILITÉ : Caractéristique sociale, économique, physique (matérielle) ou naturelle susceptible de rendre une collectivité ou un élément exposé plus vulnérable à la manifestation d'un ou de plusieurs aléas.

FRÉQUENCE DE RETOUR : Le nombre de tremblements de terre causant, par unité de temps, un mouvement au sol supérieur ou égal à une valeur spécifique, à un site particulier.

GESTION DES RISQUES : Approche adoptée par une collectivité ou une organisation, visant la réduction des risques et misant sur la prise en compte constante et systématique des risques

dans ses décisions administratives, dans la gestion de ses ressources ainsi que dans la façon dont elle assume ses responsabilités.

IDENTIFICATION DES RISQUES : Processus qui consiste à recueillir de façon systématique des informations sur le milieu, les aléas et la vulnérabilité afin de déterminer les risques auxquels une collectivité ou une organisation est exposée.

INTERVENTION : Ensemble des mesures prises immédiatement avant, pendant ou immédiatement après un sinistre pour protéger les personnes, assurer leurs besoins essentiels et sauvegarder les biens et l'environnement.

PRÉPARATION : Ensemble des activités et des mesures destinées à renforcer les capacités de réponse aux sinistres.

PRÉVENTION : Ensemble des mesures établies sur une base permanente qui concourent à éliminer les risques, à réduire les probabilités d'occurrence des aléas ou à atténuer leurs effets potentiels.

PÉRIODE PRÉDOMINANTE : La période de vibrations des sols correspondant à la période maximale du spectre de Fourier. Certains ingénieurs préfèrent utiliser un spectre lissé de Fourier pour identifier la partie la plus forte du spectre.

PROBABILITÉ DE DÉPASSEMENT : La probabilité qu'un niveau spécifique de mouvement du sol, ou de conséquences socio-économiques des tremblements de terre, sera dépassé sur un site ou dans une région, pendant un temps d'exposition déterminé.

RISQUE SISMIQUE : Combinaison de la probabilité d'occurrence d'un aléa sismique et des conséquences pouvant en résulter: dommages physiques et les pertes socio-économiques. Il est le produit de l'aléa et la vulnérabilité sismique.

VITESSE MAXIMALE : La valeur de pointe de la vitesse du mouvement du sol obtenue sur un enregistrement dans une direction donnée (horizontale ou verticale). La vitesse maximale donne une indication sur la force du signal sismique dans les fréquences intermédiaires. Elle montre une meilleure corrélation avec les dommages observés lors d'un séisme.

VULNÉRABILITÉ : Condition résultant de facteurs physiques, sociaux, économiques ou environnementaux, qui prédispose les éléments exposés à la manifestation d'un aléa à subir des préjudices ou des dommages.

ANNEXE B : DIAGNOSTIQUE SOMMAIRE DE LA SENSIBILITÉ DU MODÈLE

L'exercice de simulation d'urgence La Grande Secousse de Charlevoix 2013 a fait appel à une mise en situation basée sur le développement d'un scénario de séisme particulier, ou « scénario de base », ayant les caractéristiques suivantes : magnitude M6.5, profondeur du foyer à 10km, épicentre localisé à 70.175 de longitude ouest et 47.438 de latitude nord, sol uniforme de type "D" pour toute la région d'étude, et absence de potentiel de glissement de terrain.

Dans le cadre de l'exercice, des variations au scénario de base ont aussi été modélisées pour mieux examiner la sensibilité du modèle Hazus dans son évaluation des risques. À cette fin, quatre thèmes ont été considérés de façon indépendante les uns des autres: la magnitude du séisme, le type de sol uniforme présumé, le modèle de prédiction de mouvement du sol et le potentiel de glissement de terrain. Ceux-ci sont présentés plus bas, avec des estimations de risques modélisées selon une ou plusieurs variations aux intrants du modèle pour chaque thème, afin de distinguer les résultats complémentaires des scénarios de variations de ceux issus du scénario de base. Les différents résultats de modélisation sont présentés aux Tableaux B-1, B-2 et B-3. Ces résultats devraient permettre des comparaisons sommaires pouvant contribuer à un aperçu diagnostique de la sensibilité du modèle.

B-1. Effets de la magnitude du séisme

Il est entendu que l'intensité de la secousse principale d'un tremblement de terre soit un facteur majeur quant aux pertes et aux dommages qui peuvent en résulter. Le scénario d'exercice de La Grande Secousse de Charlevoix 2013 avance l'hypothèse d'une intensité de magnitude M6.5. L'impact et les conséquences d'une telle magnitude de tremblement de terre devraient être considérés parmi les pires éventualités sismiques pour la région d'étude.

Pour mieux cerner les effets de la magnitude du séisme, trois variations de magnitude pour la secousse principale ont été modélisées, sans changement aux autres paramètres. Trois scénarios alternatifs correspondants ont été développés pour des séismes de magnitude M5.5, M6.0 et M7.0, en plus du scénario de base avec une magnitude de M6.5. Les résultats du modèle pour le scénario de base et pour les variations sont présentés au Tableau B-1. Ils indiquent de façon générale qu'une magnitude plus grande pour un séisme devrait entraîner des dommages plus grands aux bâtiments et infrastructures, et davantage de pertes sociales et économiques.

Tableau B-1. Tableau comparatif des variations de la magnitude du séisme.

Impacts et conséquences modélisés	sol type "D" : Variations de la magnitude			
	M5.5	M6.0	M6.5*	M7.0
Blessés et décès (2AM)	0	2	17	116
Blessés requérant hospitalisation (sévérité 2, 3) à 2AM	0	0	2	20
Blessés totaux (2PM)	0	1	4	30
Blessés requérant hospitalisation (sévérité 2, 3) à 2PM	0	0	0	6
Blessés totaux (5PM)	0	1	7	52
Blessés requérant hospitalisation (sévérité 2, 3) à 5PM	0	0	1	12
Familles déplacées	0	9	136	866
Individus requérant un abri public temporaire	0	5	74	471
Bâtiments sans dommages	8921	7975	5782	2146
Bâtiments endommagés légèrement	95	928	2328	3859
Bâtiments endommagés modérément	4	114	826	2070
Bâtiments endommagés sévèrement	0	3	78	783
Bâtiments complètement endommagés	0	0	6	162
Pertes totales pour les bâtiments (millions de CAD\$)	6.63	31.18	99.61	310.67
Pertes reliées à l'exploitation des bâtiments (millions de CAD\$)	0.04	0.97	7.78	36.76
Déchets totaux (millions de tonnes)	0.00	0.00	0.02	0.08
Camions de déchets requis (25 tonnes par camion)	0	80	600	3160
Casernes de pompier au moins modérément endommagées	0	0	3	13
Établissements scolaires au moins modérément endommagés	0	0	6	17
Hôpitaux au moins modérément endommagés	0	0	5	6
Stations de police au moins modérément endommagés	0	0	0	0

*scénario de base

B-2. Effets du type de sol

L'épaisseur du sol et la cohésion des matériaux composant le sol sont des facteurs importants pour déterminer l'impact local d'un séisme. En l'absence de données sur la géologie locale dont les différents types de dépôts superficiels, et en particulier sur la réponse sismique des sols, un type de sol unique et uniforme sur l'ensemble de la région a été présumé. Dans le cas du scénario de base de La Grande Secousse de Charlevoix 2013, c'est un sol de classe « D », dit « sol consistant », avec une vitesse moyenne des ondes de cisaillement dans les premiers 30 mètres à partir de la surface (V_{s-30}) entre 180 et 360 m/sec (Code national du bâtiment, Conseil national de recherches Canada, 2010) qui a été choisi.

Tableau B-2. Tableau comparatif des variations des classes de sol.

Impacts et conséquences modélisés	M6.5 : Variations des classes de sols				
	sol A	sol B	sol C	sol D*	sol E
Blessés et décès (2AM)	1	4	8	17	52
Blessés requérant hospitalisation (sévérité 2, 3) à 2AM	0	0	1	2	8
Blessés totaux (2PM)	0	1	2	4	13
Blessés requérant hospitalisation (sévérité 2, 3) à 2PM	0	0	0	0	2
Blessés totaux (5PM)	1	1	3	7	23
Blessés requérant hospitalisation (sévérité 2, 3) à 5PM	0	0	0	1	5
Familles déplacées	5	16	46	136	439
Individus requérant un abri public temporaire	3	9	25	74	239
Bâtiments sans dommages	8366	7601	6874	5782	4010
Bâtiments endommagés légèrement	594	1230	1728	2328	3144
Bâtiments endommagés modérément	58	182	397	826	1454
Bâtiments endommagés sévèrement	2	6	20	78	366
Bâtiments complètement endommagés	0	0	1	6	47
Pertes totales pour les bâtiments (millions de CAD\$)	30.85	44.93	63.72	99.61	179.61
Pertes reliées à l'exploitation des bâtiments (millions de CAD\$)	0.51	1.54	3.38	7.78	19.63
Débris totaux (millions de tonnes)	0.00	0.00	0.01	0.02	0.04
Camions de débris requis (25 tonnes par camion)	40	120	240	600	1640
Casernes de pompier au moins modérément endommagées	0	1	3	3	12
Établissements scolaires au moins modérément endommagés	0	1	1	6	15
Hôpitaux au moins modérément endommagés	0	0	1	5	6
Stations de police au moins modérément endommagés	0	0	0	0	0

*scénario de base

Dans le but de mieux cerner les effets du type de sol, quatre scénarios alternatifs ont été construits en plus du scénario de base. Les variations correspondantes prennent en considération : un sol de classe A dit « roche dure » avec V_{s-30} plus grand que 1500 m/s; un sol de classe B, dit « roche » avec V_{s-30} entre 760 et 1500 m/sec; un sol de classe C, dit « roche tendre ou sol très dense » avec V_{s-30} entre 360 et 760 m/sec; et un sol de classe E dit « sol meuble » avec V_{s-30} plus petit que 180 m/s. Tous les autres paramètres restent inchangés. Les quatre scénarios considèrent également que toute la région d'étude est constituée d'un seul et unique type de sol. Les estimations de pertes et de dommages pour le scénario de base et pour les quatre variations sont présentées au Tableau B-2. De façon générale, les résultats indiquent qu'un sol plus mou peut induire davantage de dommages et de pertes qu'un sol plus dur, dans les mêmes conditions.

B-3. Effets du modèle de prédiction de mouvement du sol

Dans les scénarios précédents, l'intensité des secousses a été évaluée au moyen du modèle de «prédiction élevée» de mouvement du sol au niveau du socle rocheux selon Atkinson et Boore (2011). Ce modèle de prédiction a été sélectionné car il donne des résultats plus conservateurs. Afin de mieux cerner les effets du modèle de prédiction de mouvement du sol, deux autres scénarios ont été développés utilisant des modèles de prédiction «médiane» et «basse» pour le scénario de base, c.à.d. avec magnitude 6.5 et sol de classe D. Le modèle médian représente l'estimation centrale de la valeur en question pour quatre paramètres : l'accélération spectrale à 0.3 seconde (Sa0.3s) et à 1.0 seconde (Sa1.0s), l'accélération maximale du sol, et la vitesse maximale du sol. Les modèles de prédiction « élevée » et « basse » correspondent respectivement aux valeurs médianes+1 σ (probabilité de dépassement de 15.9%) et médianes-1 σ (probabilité de dépassement de 84.1%), où σ représente l'écart type et sert à mesurer la dispersion de l'ensemble de données pour une période spectrale ou un paramètre donné.

Les estimations de pertes et de dommages pour le scénario de base et pour les deux variations sont présentées au Tableau B-3. Tel que prévu, les résultats des impacts et conséquences augmentent avec l'intensité des secousses.

Tableau B-3. Tableau comparatif des variations relatives au modèle de prédiction de mouvement du sol.

Impacts et conséquences modélisés	sol type "D" : Variations du modèle de prédiction		
	M6.5 basse	M6.5 médiane	M6.5* élevée
Blessés et décès (2AM)	1	4	17
Blessés requérant hospitalisation (sévérité 2, 3) à 2AM	0	0	2
Blessés totaux (2PM)	0	1	4
Blessés requérant hospitalisation (sévérité 2, 3) à 2PM	0	0	0
Blessés totaux (5PM)	0	1	7
Blessés requérant hospitalisation (sévérité 2, 3) à 5PM	0	0	1
Familles déplacées	1	19	136
Individus requérant un abri public temporaire	0	10	74
Bâtiments sans dommages (nombre total)	8545	7475	5782
Bâtiments endommagés légèrement	445	1330	2328
Bâtiments endommagés modérément	29	208	826
Bâtiments endommagés sévèrement	1	7	78
Bâtiments complètement endommagés	0	0	6
Pertes totales pour les bâtiments (millions de CAD\$)	11.71	36.85	99.61
Pertes reliées à l'exploitation des bâtiments (millions de CAD\$)	0.27	1.75	7.78
Débris totaux (millions de tonnes)	0.00	0.00	0.02
Camions de débris requis (25 tonnes par camion)	40	160	600

Casernes de pompier au moins modérément endommagées	0	1	3
Établissements scolaires au moins modérément endommagés	0	1	6
Hôpitaux au moins modérément endommagés	0	0	5
Stations de police au moins modérément endommagés	0	0	0

*scénario de base

B-4. Effets du potentiel de glissements de terrain sur les infrastructures de transport

Des glissements de terrain peuvent produire des altérations permanentes de la surface du sol en réponse aux secousses sismiques, et contribuer significativement aux dommages pouvant survenir lors d'un séisme. De dimensions variables, les glissements sont relativement fréquents dans plusieurs zones sédimentaires du sud du Québec, incluant certaines vallées de la région d'étude en Charlevoix. Plusieurs facteurs dont les types de matériaux, la saturation du sol en eau (indirectement la saison) et la topographie se superposent pour déterminer localement la susceptibilité aux glissements de terrain. La Figure B-1 présente la carte de susceptibilité aux glissements de terrain (BGC Engineering Inc., 2011) ayant été intégrée à une variation du scénario de base, et modélisée avec Hazus pour explorer l'impact de cette éventualité sur les résultats déjà modélisés dans le cadre de l'exercice de La Grande Secousse de Charlevoix 2013.

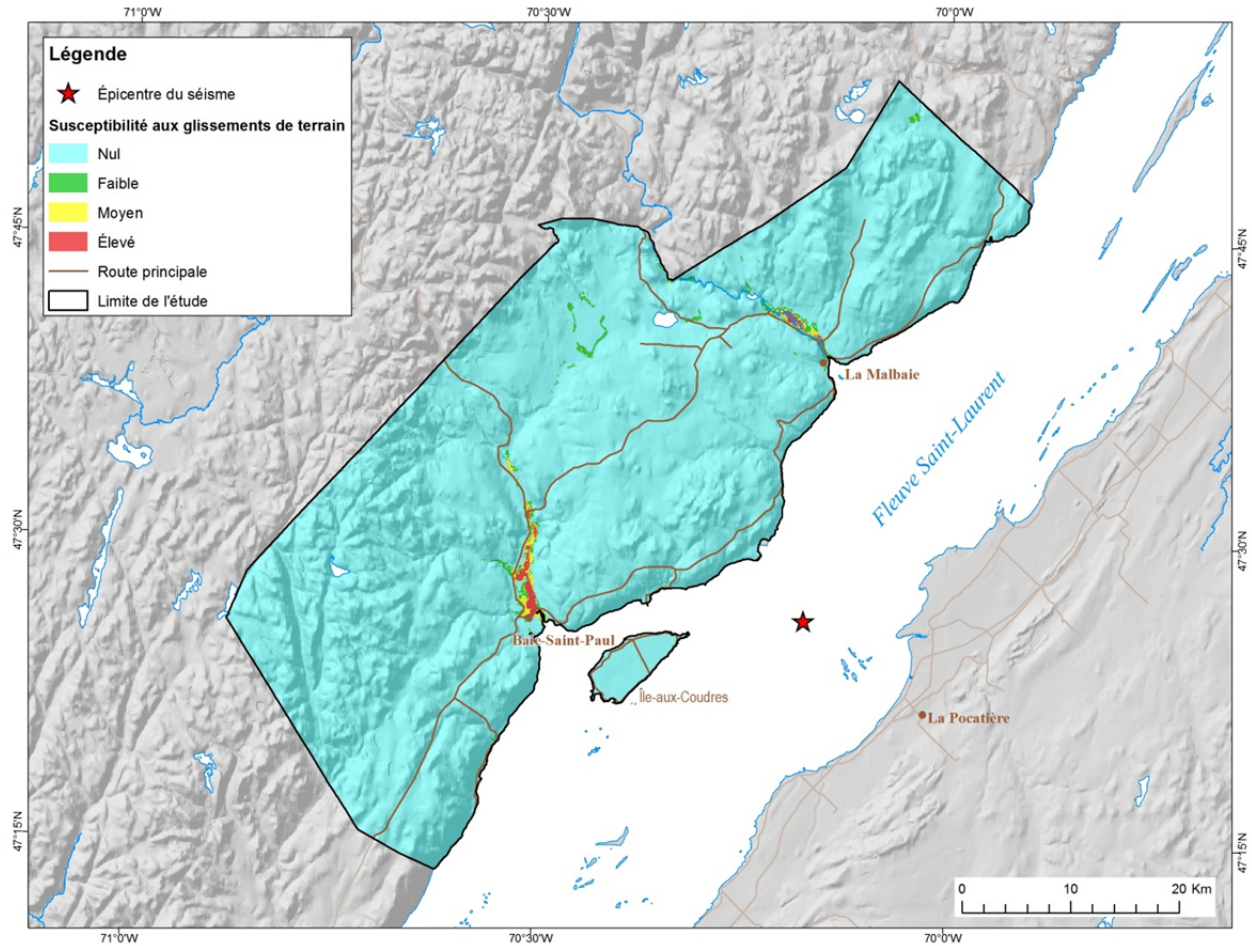


Figure B-1. Carte présentant des catégories de susceptibilité de glissement de terrain pour la région d'étude en Charlevoix (BGC Engineering Inc., 2011).

Dans Hazus, les infrastructures de transport linéaires, tels les routes et chemins de fer, sont vulnérables aux mouvements permanents du sol. Les bâtiments et les infrastructures hors terre, tels les ponts, sont vulnérables à la fois aux mouvements permanents du sol et aux mouvements transitoires du sol (secousses sismiques). De plus, les ponts sont souvent construits selon les codes du génie parasismique. Afin de mieux cerner la vulnérabilité des infrastructures de transport, un scénario de base M6.5 avec un sol uniforme de classe D a été réalisé en incluant la susceptibilité aux glissements de terrain, pour définir les pertes économiques et les dommages potentiels aux routes et chemins de fer. Le modèle de « prédiction élevée » de mouvement du sol a été utilisé.

Les résultats du scénario considéré sont présentés au Tableau B-4. De façon générale, les glissements de terrain peuvent toucher sérieusement certaines composantes des réseaux de transport, de communications et des réseaux vitaux (électricité, eau potable et eaux usées) qui ont normalement une bonne tolérance aux secousses sismiques seules. Dans le scénario considéré, quelques glissements de terrain ont causé des dommages à certains segments de route, et quelques ponts plus près de l'épicentre ont aussi été légèrement endommagés.

Tableau B-4. Résultats présentant les coûts économiques potentiels associés aux infrastructures de transport (million de dollars).

Impacts et conséquences modélisés		M6.5, sol type «D», avec susceptibilité aux glissements de terrain		
Réseau de transport	Composante	Valeur inventoriée	Coûts économiques	Rapport des pertes (%)
Route	Segments	4 048.48	11.46	0.28
	Ponts	91.00	0.95	1.05
Chemin de fer	Segments	120.48	0.00	0.00
	Ponts	45.00	0.55	1.21

ANNEXE C : L'INVENTAIRE DÉTAILLÉ DES BÂTIMENTS DE SERVICES ESSENTIELS

Les principaux attributs des bâtiments de services essentiels ayant été considérés dans la présente étude pour l'estimation des pertes et de dommages potentiels sont présentés dans cette annexe. L'inventaire en question a été compilé à partir des sources d'information disponibles, dont l'Internet, et sans vérification sur le terrain ou auprès des responsables des différents services essentiels.

Dans le cas des casernes de pompiers, un seul type de bâtiment a été présumé pour les 13 casernes, soit un bâtiment de faible hauteur avec « charpente contreventée en acier et murs de remplissage en maçonnerie non armée – S5L », et un code de design sismique moyen. Le Tableau C-1 présente les détails de l'inventaire des établissements de soins de santé, des établissements d'éducation, et des postes de police. La compilation de l'inventaire qui suit a nécessité plusieurs hypothèses afin de quantifier certains paramètres. La plupart ont été dérivées selon les instructions disponibles dans les guides techniques et de l'utilisateur de Hazus (FEMA, 2012a et b; Ulmi *et al.*, 2013), et / ou selon le meilleur jugement des analystes. Voici quelques exemples d'hypothèses:

- les établissements de soins de santé, les hôpitaux et les cliniques médicales privées ont été inventoriées, mais pas les CLSC (Centre local de services communautaires), les CRDI (Centre de réadaptation en déficience intellectuelle) et les centres d'hébergement;
- le coût de remplacement d'une clinique médicale partageant un édifice avec d'autres types d'occupation a été basé sur une évaluation visuelle du pourcentage des lieux occupés, à partir de photographies;
- la superficie et le nombre d'étages représentant certains bâtiments ont été évalués sommairement à partir d'images satellitaires et de photographies;
- les différents pavillons des centres hospitaliers ont été représentés par différents buildings d'après le type et l'âge de leur construction (Pelletier, 2008);
- le nombre de lits dans les bâtiments hospitaliers a été déduit de façon proportionnelle à la superficie occupée par un bâtiment par rapport celle du centre hospitalier en entier;
- dans le cas des établissements d'éducation, les centres spécialisés de formation n'ont pas été inclus à l'inventaire; et
- le nombre de places d'hébergement public temporaire disponibles dans les écoles à la suite d'un sinistre a été évalué sommairement à partir de photographies.

Tableau C-1. Les principaux attributs des bâtiments de services essentiels ayant servi à la modélisation. La détermination de ces attributs a nécessité l'utilisation de plusieurs hypothèses (expliquées dans le texte).

Nom de l'établissement de services essentiels	Adresse civique	Ville	Année de construction	Nombre d'étages	Type de construction	Code de design sismique	Catégorie Hazus d'installation essentielle	Sources
Établissements scolaires								
Centre éducatif Saint-Aubin	50, rue Racine	Baie Saint-Paul	1974	2	C1L	MC	EFS1	http://www.cscharlevoix.qc.ca/index.php ; http://www.saint-aubin.net/?lang=fr ; Google Earth
École Sir-Rodolphe-Forget	7, rue Forget	Baie Saint-Paul	1968	1	W2	LC	EFS1	http://www.cscharlevoix.qc.ca/index.php ; Google Earth
École St-François	9, rue du Couvent	Petite-Rivière-Saint-François	1965	2	C1L	LC	EFS1	http://www.cscharlevoix.qc.ca/index.php ; Google Earth; http://www.petitriverie.com/services.html
École Félix-Antoine-Savard	250, rue Saint-Étienne	La Malbaie	1947	3	S5L	PC	EFS1	http://www.cscharlevoix.qc.ca/index.php ; Google Earth; http://www.ville.lamalbaie.qc.ca/fr/lamalbaie_presentation/histoire/batiments.html
École Fernand-Saindon	85, rue Notre-Dame	Notre-Dame-des-Monts	1960	2	C1L	LC	EFS1	http://www.cscharlevoix.qc.ca/index.php ; Google Earth ; http://www.cibgm.ca/role/role.php?id=8503 ; http://www.notredamedesmonts.com/autres_services.html ; http://picasaweb.google.com/lh/photo/1OCggOTPOVdpnDGxkQin8Q pour photo: Olivier Fortin © Réseau CACI de Charlevoix
École St-Pierre	1955, chemin des Coudriers	Isle-aux-Coudres	1961	2	C1L	LC	EFS1	http://www.municipaliteiac.ca/vie/education ; http://www.cscharlevoix.qc.ca/index.php ; Google Earth
École Thomas-Tremblay	27, rue Ambroise Fafard	Baie Saint-Paul	1950	3	C1L	PC	EFS1	http://www.cscharlevoix.qc.ca/index.php ; Google Earth
École Dominique-Savio	373, rue Sainte-Claire	Saint-Urbain	1963	2	C1L	LC	EFS1	http://www.cscharlevoix.qc.ca/index.php ; Google Earth; http://www.sainturbain.qc.ca/historique6.html
École Léonce-Boivin	250, rue du Village	Les Éboulements	1958	3	C1L	LC	EFS1	http://www.cscharlevoix.qc.ca/index.php ; Google Earth

Tableau C-1 (suite). Les principaux attributs des bâtiments de services essentiels ayant servi à la modélisation. La détermination de ces attributs a nécessité l'utilisation de plusieurs hypothèses (expliquées dans le texte).

Nom de l'établissement de services essentiels	Adresse civique	Ville	Année de construction	Nombre d'étages	Type de construction	Code de design sismique	Catégorie Hazus d'installation essentielle	Sources
Établissements scolaires								
École Notre-Dame-de-Lorette	136, rue Principale	Saint-Irénée	1953	3	W2	LC	EFS1	http://www.cscharlevoix.qc.ca/index.php ; Google Earth; http://www.saintirenee.ca/servicesmun.html
Centre d'études collégiales en Charlevoix	855, rue Richelieu	La Malbaie	1975	2	C1L	MC	EFS2	http://ceccharlevoix.qc.ca/general/ ; Google Earth
École Notre-Dame Du Bon Conseil	2750, boulevard Malcolm-Fraser	La Malbaie	1960	2	C1L	LC	EFS1	http://www.cscharlevoix.qc.ca/index.php ; Google Earth
École Marie-Reine	247, rue Principale	Saint-Hilarion	1956	3	W2	LC	EFS1	http://www.cscharlevoix.qc.ca/index.php ; Google Earth; www.quoi-faire-dans-charlevoix.com ; http://www.sainthilarion.ca/index.html
École secondaire du Plateau	88, rue des Cimes	La Malbaie	1971	2	C2L	MC	EFS1	http://www.cscharlevoix.qc.ca/index.php ; Google Earth; http://www.ville.lamalbaie.qc.ca/fr/lamalbaie_presentation/histoire/batiments.html
École Beau-Soleil	99, rue Principale	Saint-Aimé-des-Lacs	1953	2	W2	LC	EFS1	http://www.cscharlevoix.qc.ca/index.php ; Google Earth ; http://www.cibgm.ca/role/role.php?id=25684 ; http://www.saintaimedeslacs.ca/index3.html ; http://www.saintaimedeslacs.ca/blog/uploaded_images/sex9456-791390.JPG
École Marguerite d'Youville	309, rue Saint-Etienne	La Malbaie	1956	3	C1L	LC	EFS1	http://www.cscharlevoix.qc.ca/index.php ; Google Earth; http://www.ville.lamalbaie.qc.ca/lamalbaie_presentation/histoire/esquisse.html
École Laure-Gaudreault	19, rue Saint-Philippe	Clermont	1949	3	C1L	PC	EFS1	http://www.cscharlevoix.qc.ca/index.php ; Google Earth ; http://http://picasaweb.google.com/lh/photo/FnLlsKAMoftDcTbuLa6T7Q pour photo: Olivier Fortin © Réseau CACI de Charlevoix
Postes de police								
Sûreté du Québec, poste de la MRC de Charlevoix	16, rue du Moulin	Baie-Saint-Paul	1990	2	C2L	HC	EFPS	Google Earth; Google Maps; http://www.sq.gouv.qc.ca/poste-mrc-de-charlevoix/index.jsp

Tableau C-1 (suite). Les principaux attributs des bâtiments de services essentiels ayant servi à la modélisation. La détermination de ces attributs a nécessité l'utilisation de plusieurs hypothèses (expliquées dans le texte).

Nom de l'établissement de services essentiels	Adresse civique	Ville	Année de construction	Nombre d'étages	Type de construction	Code de design sismique	Catégorie Hazus d'installation essentielle	Sources
Postes de police								
Sûreté du Québec, poste de la MRC de Charlevoix-Est	168, boulevard Notre-Dame	Clermont	1980	2	C2L	HC	EFPS	Google Earth; Google Maps; http://www.sq.gouv.qc.ca/poste-mrc-de-charlevoix-est/index.jsp
Établissements de soins de santé								
Hôpital de Baie-Saint-Paul, ailes A et B	74, rue Ambroise-Fafard	Baie-Saint-Paul	1926	6	URMM	PC	EFHM	http://www.cssscharlevoix.qc.ca ; Google Earth ; http://www.baiesaintpaul.com ; http://www.rrsss03.gouv.qc.ca/documents/Rap_complet_decembre2008_000.pdf ; http://www.rrsss03.gouv.qc.ca/pdf/RESUME%20-%20PLAN%20CLINIQUE%20-%20CSSS%20CHARL%20-%20version%201.2%20%202011-06-03.pdf
Hôpital de Baie-Saint-Paul, ailes C et D	74, rue Ambroise-Fafard	Baie-Saint-Paul	1958	6	C1M	LC	EFHM	http://www.cssscharlevoix.qc.ca ; Google Earth ; http://www.baiesaintpaul.com ; http://www.rrsss03.gouv.qc.ca/documents/Rap_complet_decembre2008_000.pdf ; http://www.rrsss03.gouv.qc.ca/pdf/RESUME%20-%20PLAN%20CLINIQUE%20-%20CSSS%20CHARL%20-%20version%201.2%20%202011-06-03.pdf
Hôpital de La Malbaie, bâtiment A	303, rue Saint-Etienne	La Malbaie	1942	5	URMM	PC	EFHM	http://www.cssscharlevoix.qc.ca ; Google Earth ; http://www.ville.lamalbaie.qc.ca ; http://www.rrsss03.gouv.qc.ca/documents/Rap_complet_decembre2008_000.pdf ; http://www.rrsss03.gouv.qc.ca/pdf/RESUME%20-%20PLAN%20CLINIQUE%20-%20CSSS%20CHARL%20-%20version%201.2%20%202011-06-03.pdf
Hôpital de La Malbaie, bâtiment B	303, rue Saint-Etienne	La Malbaie	1942	4	URMM	PC	EFHS	http://www.cssscharlevoix.qc.ca ; Google Earth ; http://www.ville.lamalbaie.qc.ca ; http://www.rrsss03.gouv.qc.ca/documents/Rap_complet_decembre2008_000.pdf ; http://www.rrsss03.gouv.qc.ca/pdf/RESUME%20-%20PLAN%20CLINIQUE%20-%20CSSS%20CHARL%20-%20version%201.2%20%202011-06-03.pdf

Tableau C-1 (suite). Les principaux attributs des bâtiments de services essentiels ayant servi à la modélisation. La détermination de ces attributs a nécessité l'utilisation de plusieurs hypothèses (expliquées dans le texte).

Nom de l'établissement de services essentiels	Adresse civique	Ville	Année de construction	Nombre d'étages	Type de construction	Code de design sismique	Catégorie Hazus d'installation essentielle	Sources
Établissements de soins de santé								
Hôpital de La Malbaie, bâtiment C	303, rue Saint-Étienne	La Malbaie	1997	3	C3L	LC	EFHS	http://www.cssscharlevoix.qc.ca ; Google Earth ; http://www.ville.lamalbaie.qc.ca ; http://www.rrsss03.gouv.qc.ca/documents/Rap_complet_decembre2008_000.pdf ; http://www.rrsss03.gouv.qc.ca/pdf/RESUME%20-%20PLAN%20CLINIQUE%20-%20CSSS%20CHARL%20-%20version%201.2%20%202011-06-03.pdf
Clinique de Médecine familiale de La Malbaie	515, rue Saint-Étienne	La Malbaie	1960	1	W1	MC	EFMC	Google Earth ; Google Maps ; http://santecapitalenationale.gouv.qc.ca/acces-sante/trouver-un-service/ressource/clinique-de-medecine-familiale-de-la-malbaie-gmf/?tx_strepertoireressources_pi1[returnId]=139
Clinique Médecine Santé du Village	294D, rue du Village	Les Éboulements	1900	3	W1	PC	EFMC	Google Earth ; Google Maps ; http://santecapitalenationale.gouv.qc.ca/acces-sante/trouver-un-service/ressource/clinique-medecine-sante-du-village-gmf/?tx_strepertoireressources_pi1[returnId]=139 ; appel téléphonique au (418) 635-1226 de la pharmacie Simard Turcotte et Villeneuve (voisins)
Clinique de Médecine familiale de Clermont	106, boulevard Notre-Dame, local 500	Clermont	1970	1	W1	MC	EFMC	Google Earth ; Google Maps ; http://santecapitalenationale.gouv.qc.ca/acces-sante/trouver-un-service/ressource/clinique-de-medecine-familiale-de-clermont-gmf/?tx_strepertoireressources_pi1[returnId]=139
Clinique médicale Baie-Saint-Paul	4, rue du Moulin, local 101	Baie-Saint-Paul	1990	2	S1L	HC	EFMC	Google Earth ; Google Maps ; http://santecapitalenationale.gouv.qc.ca/acces-sante/trouver-un-service/ressource/clinique-medecale-baie-saint-paul-gmf/

ANNEXE D : LE RAPPORT SOMMAIRE HAZUS

Dans les pages qui suivent, le rapport sommaire global du scénario d'exercice sismique de La Grande Secousse de Charlevoix 2013 est présenté intégralement. Ce rapport est un extrait du modèle Hazus parmi plusieurs autres rapports disponibles, et a été créé de façon standardisée par le logiciel. Il est présenté ici à titre de démonstration, et ne doit pas être utilisé hors du contexte pour lequel il a été produit, ainsi que sous toutes réserves décrites à la section 1 « Limites de l'étude » de ce document.

Il doit aussi être souligné que dans le rapport sommaire global, des zéros en tant que résultats indiquent généralement que les données d'intrants correspondantes n'étaient pas disponibles, n'ont pas été incluses, ou n'ont pas été modélisées. Si un inventaire est présent (intran), et que des zéros se retrouvent en tant que résultats, ils indiquent qu'aucune perte ou dommage n'est estimé en lien avec le scénario, pour l'inventaire en question.

Hazus-MH: Earthquake Event Report

Region Name: CHX7_var1_21nov2013

Earthquake Scenario: CHX7_h65D_21nov

Print Date: November 20, 2013

Totals only reflect data for those census tracts/blocks included in the user's study region.

Disclaimer:

The estimates of social and economic impacts contained in this report were produced using Hazus loss estimation methodology software which is based on current scientific and engineering knowledge. There are uncertainties inherent in any loss estimation technique. Therefore, there may be significant differences between the modeled results contained in this report and the actual social and economic losses following a specific earthquake. These results can be improved by using enhanced inventory, geotechnical, and observed ground motion data.

Table of Contents

Section	Page #
General Description of the Region	3
Building and Lifeline Inventory	4
Building Inventory	
Critical Facility Inventory	
Transportation and Utility Lifeline Inventory	
Earthquake Scenario Parameters	6
Direct Earthquake Damage	7
Buildings Damage	
Critical Facilities Damage	
Transportation and Utility Lifeline Damage	
Induced Earthquake Damage	11
Fire Following Earthquake	
Debris Generation	
Social Impact	12
Shelter Requirements	
Casualties	
Economic Loss	13
Building Losses	
Transportation and Utility Lifeline Losses	
Long-term Indirect Economic Impacts	
Appendix A: Census Subdivision Listing for the Region	
Appendix B: Regional Population and Building Value Data	

General Description of the Region

Hazus is a regional earthquake loss estimation model that was developed by the Federal Emergency Management Agency and the National Institute of Building Sciences. The primary purpose of Hazus is to provide a methodology and software application to develop earthquake losses at a regional scale. These loss estimates would be used primarily by local, Province/Territory and regional officials to plan and stimulate efforts to reduce risks from earthquakes and to prepare for emergency response and recovery.

The earthquake loss estimates provided in this report was based on a region that includes 2 Census Subdivision(s) from the following Province(s)/Territory(ies):

Quebec

Note:

Appendix A contains a complete listing of the Census Subdivisions contained in the region.

The geographical size of the region is 802.13 square miles and contains 11 census tracts. There are over 11 thousand households in the region which has a total population of 27,757 people (2006 Canadian Census data). The distribution of population by Province/Territory and Census Subdivision is provided in Appendix B.

There are an estimated 9 thousand buildings in the region with a total building replacement value (excluding contents) of 1,843 (millions of dollars). Approximately 100.00 % of the buildings (and 100.00% of the building value) are associated with residential housing.

The replacement value of the transportation and utility lifeline systems is estimated to be 4,345 and 0 (millions of dollars), respectively.

Building and Lifeline Inventory

Building Inventory

Hazus estimates that there are 9 thousand buildings in the region which have an aggregate total replacement value of 1,843 (millions of dollars) . Appendix B provides a general distribution of the building value by Province/Territory and Census Subdivision.

In terms of building construction types found in the region, wood frame construction makes up 93% of the building inventory. The remaining percentage is distributed between the other general building types.

Critical Facility Inventory

Hazus breaks critical facilities into two (2) groups: essential facilities and high potential loss facilities (HPL). Essential facilities include hospitals, medical clinics, schools, fire stations, police stations and emergency operations facilities. High potential loss facilities include dams, levees, military installations, nuclear power plants and hazardous material sites.

For essential facilities, there are 9 hospitals in the region with a total bed capacity of 354 beds. There are 17 schools, 13 fire stations, 2 police stations and 0 emergency operation facilities. With respect to high potential loss facilities (HPL), there are 0 dams identified within the region. Of these, 0 of the dams are classified as 'high hazard'. The inventory also includes 0 hazardous material sites, 0 military installations and 0 nuclear power plants.

Transportation and Utility Lifeline Inventory

Within Hazus, the lifeline inventory is divided between transportation and utility lifeline systems. There are seven (7) transportation systems that include highways, railways, light rail, bus, ports, ferry and airports. There are six (6) utility systems that include potable water, wastewater, natural gas, crude & refined oil, electric power and communications. The lifeline inventory data are provided in Tables 1 and 2.

The total value of the lifeline inventory is over 4,345.00 (millions of dollars). This inventory includes over 772 kilometers of highways, 55 bridges, 0 kilometers of pipes.

Table 1: Transportation System Lifeline Inventory

System	Component	# Locations/ # Segments	Replacement value (millions of dollars)
Highway	Bridges	55	91.00
	Segments	1,866	4,048.60
	Tunnels	2	40.00
	Subtotal		4,179.60
Railways	Bridges	0	45.00
	Facilities	0	0.00
	Segments	35	120.50
	Tunnels	0	0.00
	Subtotal		165.50
Light Rail	Bridges	0	0.00
	Facilities	0	0.00
	Segments	0	0.00
	Tunnels	0	0.00
	Subtotal		0.00
Bus	Facilities	0	0.00
	Subtotal		0.00
Ferry	Facilities	0	0.00
	Subtotal		0.00
Port	Facilities	0	0.00
	Subtotal		0.00
Airport	Facilities	0	0.00
	Runways	0	0.00
	Subtotal		0.00
		Total	4,345.10

Table 2: Utility System Lifeline Inventory

System	Component	# Locations / Segments	Replacement value (millions of dollars)
Potable Water	Distribution Lines	NA	0.00
	Facilities	0	0.00
	Pipelines	0	0.00
	Subtotal		0.00
Waste Water	Distribution Lines	NA	0.00
	Facilities	0	0.00
	Pipelines	0	0.00
	Subtotal		0.00
Natural Gas	Distribution Lines	NA	0.00
	Facilities	0	0.00
	Pipelines	0	0.00
	Subtotal		0.00
Oil Systems	Facilities	0	0.00
	Pipelines	0	0.00
	Subtotal		0.00
Electrical Power	Facilities	0	0.00
	Subtotal		0.00
Communication	Facilities	0	0.00
	Subtotal		0.00
		Total	0.00

Earthquake Scenario

Hazus uses the following set of information to define the earthquake parameters used for the earthquake loss estimate provided in this report.

Scenario Name	CHX7_h65D_21nov
Type of Earthquake	User-defined
Fault Name	NA
Historical Epicenter ID #	NA
Probabilistic Return Period	NA
Longitude of Epicenter	NA
Latitude of Epicenter	NA
Earthquake Magnitude	6.50
Depth (Km)	NA
Rupture Length (Km)	NA
Rupture Orientation (degrees)	NA
Attenuation Function	NA

Building Damage

Building Damage

Hazus estimates that about 910 buildings will be at least moderately damaged. This is over 10.00 % of the buildings in the region. There are an estimated 6 buildings that will be damaged beyond repair. The definition of the 'damage states' is provided in Volume 1: Chapter 5 of the Hazus technical manual. Table 3 below summarizes the expected damage by general occupancy for the buildings in the region. Table 4 below summarizes the expected damage by general building type.

Table 3: Expected Building Damage by Occupancy

	None		Slight		Moderate		Extensive		Complete	
	Count	(%)	Count	(%)	Count	(%)	Count	(%)	Count	(%)
Agriculture	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Commercial	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Education	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Government	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Industrial	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Other Residential	660	11.41	334	14.35	200	24.24	32	41.66	3	56.27
Religion	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Single Family	5,122	88.59	1,994	85.65	626	75.76	46	58.34	3	43.73
Total	5,782		2,328		826		78		6	

Table 4: Expected Building Damage by Building Type (All Design Levels)

	None		Slight		Moderate		Extensive		Complete	
	Count	(%)	Count	(%)	Count	(%)	Count	(%)	Count	(%)
Wood	5,576	96.44	2112	90.73	626	75.84	39	49.45	1	8.87
Steel	14	0.24	8	0.36	7	0.89	1	1.57	0	3.39
Concrete	15	0.25	13	0.56	11	1.37	2	2.57	0	5.00
Precast	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
RM	48	0.82	22	0.96	22	2.61	4	5.68	0	4.79
URM	96	1.66	107	4.58	76	9.25	19	24.68	4	65.59
MH	34	0.58	65	2.81	83	10.03	13	16.04	1	12.37
Total	5,782		2,328		826		78		6	

*Note:

RM Reinforced Masonry
URM Unreinforced Masonry
MH Manufactured Housing

Essential Facility Damage

Before the earthquake, the region had 354 hospital beds available for use. On the day of the earthquake, the model estimates that only 96 hospital beds (27.00%) are available for use by patients already in the hospital and those injured by the earthquake. After one week, 56.00% of the beds will be back in service. By 30 days, 91.00% will be operational.

Table 5: Expected Damage to Essential Facilities

Classification	Total	# Facilities		
		At Least Moderate Damage > 50%	Complete Damage > 50%	With Functionality > 50% on day 1
Hospitals	9	5	0	3
Schools	17	6	0	4
EOCs	0	0	0	0
PoliceStations	2	0	0	2
FireStations	13	3	0	2

Transportation and Utility Lifeline Damage

Table 6 provides damage estimates for the transportation system.

Table 6: Expected Damage to the Transportation Systems

System	Component	Locations/ Segments	Number of Locations,			
			With at Least Mod. Damage	With Complete Damage	With Functionality > 50 %	
					After Day 1	After Day 7
Highway	Segments	1,866	0	0	1,866	1,866
	Bridges	55	0	0	55	55
	Tunnels	2	1	0	2	2
Railways	Segments	35	0	0	35	35
	Bridges	9	0	0	9	9
	Tunnels	0	0	0	0	0
	Facilities	0	0	0	0	0
Light Rail	Segments	0	0	0	0	0
	Bridges	0	0	0	0	0
	Tunnels	0	0	0	0	0
	Facilities	0	0	0	0	0
Bus	Facilities	0	0	0	0	0
Ferry	Facilities	0	0	0	0	0
Port	Facilities	0	0	0	0	0
Airport	Facilities	0	0	0	0	0
	Runways	0	0	0	0	0

Note: Roadway segments, railroad tracks and light rail tracks are assumed to be damaged by ground failure only. If ground failure maps are not provided, damage estimates to these components will not be computed.

Tables 7-9 provide information on the damage to the utility lifeline systems. Table 7 provides damage to the utility system facilities. Table 8 provides estimates on the number of leaks and breaks by the pipelines of the utility systems. For electric power and potable water, Hazus performs a simplified system performance analysis. Table 9 provides a summary of the system performance information.

Table 7 : Expected Utility System Facility Damage

System	# of Locations				
	Total #	With at Least Moderate Damage	With Complete Damage	with Functionality > 50 %	
				After Day 1	After Day 7
Potable Water	0	0	0	0	0
Waste Water	0	0	0	0	0
Natural Gas	0	0	0	0	0
Oil Systems	0	0	0	0	0
Electrical Power	0	0	0	0	0
Communication	0	0	0	0	0

Table 8 : Expected Utility System Pipeline Damage (Site Specific)

System	Total Pipelines Length (kms)	Number of Leaks	Number of Breaks
Potable Water	0	0	0
Waste Water	0	0	0
Natural Gas	0	0	0
Oil	0	0	0

Table 9: Expected Potable Water and Electric Power System Performance

	Total # of Households	Number of Households without Service				
		At Day 1	At Day 3	At Day 7	At Day 30	At Day 90
Potable Water	11,485	0	0	0	0	0
Electric Power		0	0	0	0	0

Induced Earthquake Damage

Fire Following Earthquake

Fires often occur after an earthquake. Because of the number of fires and the lack of water to fight the fires, they can often burn out of control. Hazus uses a Monte Carlo simulation model to estimate the number of ignitions and the amount of burnt area. For this scenario, the model estimates that there will be 0 ignitions that will burn about 0.00 sq. mi 0.00 % of the region's total area.) The model also estimates that the fires will displace about 0 people and burn about 0 (millions of dollars) of building value.

Debris Generation

Hazus estimates the amount of debris that will be generated by the earthquake. The model breaks the debris into two general categories: a) Brick/Wood and b) Reinforced Concrete/Steel. This distinction is made because of the different types of material handling equipment required to handle the debris.

The model estimates that a total of 0.02 million tons of debris will be generated. Of the total amount, Brick/Wood comprises 70.00% of the total, with the remainder being Reinforced Concrete/Steel. If the debris tonnage is converted to an estimated number of truckloads, it will require 600 truckloads (@25 tons/truck) to remove the debris generated by the earthquake.

Social Impact

Shelter Requirement

Hazus estimates the number of households that are expected to be displaced from their homes due to the earthquake and the number of displaced people that will require accommodations in temporary public shelters. The model estimates 136 households to be displaced due to the earthquake. Of these, 74 people (out of a total population of 27,757) will seek temporary shelter in public shelters.

Casualties

Hazus estimates the number of people that will be injured and killed by the earthquake. The casualties are broken down into four (4) severity levels that describe the extent of the injuries. The levels are described as follows;

- Severity Level 1: Injuries will require medical attention but hospitalization is not needed.
- Severity Level 2: Injuries will require hospitalization but are not considered life-threatening
- Severity Level 3: Injuries will require hospitalization and can become life threatening if not promptly treated.
- Severity Level 4: Victims are killed by the earthquake.

The casualty estimates are provided for three (3) times of day: 2:00 AM, 2:00 PM and 5:00 PM. These times represent the periods of the day that different sectors of the community are at their peak occupancy loads. The 2:00 AM estimate considers that the residential occupancy load is maximum, the 2:00 PM estimate considers that the educational, commercial and industrial sector loads are maximum and 5:00 PM represents peak commute time.

Table 10 provides a summary of the casualties estimated for this earthquake

Table 10: Casualty Estimates

		Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
2 AM	Commercial	0	0	0	0
	Commuting	0	0	0	0
	Educational	0	0	0	0
	Hotels	0	0	0	0
	Industrial	0	0	0	0
	Other-Residential	6	1	0	0
	Single Family	8	1	0	0
	Total	15	2	0	0
	2 PM	Commercial	0	0	0
Commuting		0	0	0	0
Educational		0	0	0	0
Hotels		0	0	0	0
Industrial		0	0	0	0
Other-Residential		2	0	0	0
Single Family		2	0	0	0
Total		4	0	0	0
5 PM		Commercial	0	0	0
	Commuting	0	0	0	0
	Educational	0	0	0	0
	Hotels	0	0	0	0
	Industrial	0	0	0	0
	Other-Residential	2	0	0	0
	Single Family	3	0	0	0
	Total	6	1	0	0

Economic Loss

The total economic loss estimated for the earthquake is 106.86 (millions of dollars), which includes building and lifeline related losses based on the region's available inventory. The following three sections provide more detailed information about these losses.

Building-Related Losses

The building losses are broken into two categories: direct building losses and business interruption losses. The direct building losses are the estimated costs to repair or replace the damage caused to the building and its contents. The business interruption losses are the losses associated with inability to operate a business because of the damage sustained during the earthquake. Business interruption losses also include the temporary living expenses for those people displaced from their homes because of the earthquake.

The total building-related losses were 99.61 (millions of dollars); 8 % of the estimated losses were related to the business interruption of the region. By far, the largest loss was sustained by the residential occupancies which made up over 100 % of the total loss. Table 11 below provides a summary of the losses associated with the building damage.

Table 11: Building-Related Economic Loss Estimates
(Millions of dollars)

Category	Area	Single Family	Other Residential	Commercial	Industrial	Others	Total
Income Losses							
	Wage	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Capital-Related	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Rental	1.03	1.51	0.00	0.00	0.00	2.54
	Relocation	3.91	1.33	0.00	0.00	0.00	5.24
	Subtotal	4.94	2.84	0.00	0.00	0.00	7.78
Capital Stock Losses							
	Structural	5.47	1.75	0.00	0.00	0.00	7.22
	Non_Structural	42.49	14.28	0.00	0.00	0.00	56.77
	Content	22.43	5.40	0.00	0.00	0.00	27.84
	Inventory	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Subtotal	70.39	21.44	0.00	0.00	0.00	91.83
	Total	75.33	24.28	0.00	0.00	0.00	99.61

Transportation and Utility Lifeline Losses

For the transportation and utility lifeline systems, Hazus computes the direct repair cost for each component only. There are no losses computed by Hazus for business interruption due to lifeline outages. Tables 12 & 13 provide a detailed breakdown in the expected lifeline losses.

Hazus estimates the long-term economic impacts to the region for 15 years after the earthquake. The model quantifies this information in terms of income and employment changes within the region. Table 14 presents the results of the region for the given earthquake.

Table 12: Transportation System Economic Losses
(Millions of dollars)

System	Component	Inventory Value	Economic Loss	Loss Ratio (%)
Highway	Segments	4,048.64	\$0.00	0.00
	Bridges	91.00	\$0.95	1.05
	Tunnels	40.00	\$5.77	14.42
	Subtotal	4179.60	6.70	
Railways	Segments	120.48	\$0.00	0.00
	Bridges	45.00	\$0.55	1.21
	Tunnels	0.00	\$0.00	0.00
	Facilities	0.00	\$0.00	0.00
	Subtotal	165.50	0.50	
Light Rail	Segments	0.00	\$0.00	0.00
	Bridges	0.00	\$0.00	0.00
	Tunnels	0.00	\$0.00	0.00
	Facilities	0.00	\$0.00	0.00
	Subtotal	0.00	0.00	
Bus	Facilities	0.00	\$0.00	0.00
	Subtotal	0.00	0.00	
Ferry	Facilities	0.00	\$0.00	0.00
	Subtotal	0.00	0.00	
Port	Facilities	0.00	\$0.00	0.00
	Subtotal	0.00	0.00	
Airport	Facilities	0.00	\$0.00	0.00
	Runways	0.00	\$0.00	0.00
	Subtotal	0.00	0.00	
	Total	4345.10	7.30	

Table 13: Utility System Economic Losses
(Millions of dollars)

System	Component	Inventory Value	Economic Loss	Loss Ratio (%)
Potable Water	Pipelines	0.00	\$0.00	0.00
	Facilities	0.00	\$0.00	0.00
	Distribution Lines	0.00	\$0.00	0.00
	Subtotal	0.00	\$0.00	
Waste Water	Pipelines	0.00	\$0.00	0.00
	Facilities	0.00	\$0.00	0.00
	Distribution Lines	0.00	\$0.00	0.00
	Subtotal	0.00	\$0.00	
Natural Gas	Pipelines	0.00	\$0.00	0.00
	Facilities	0.00	\$0.00	0.00
	Distribution Lines	0.00	\$0.00	0.00
	Subtotal	0.00	\$0.00	
Oil Systems	Pipelines	0.00	\$0.00	0.00
	Facilities	0.00	\$0.00	0.00
	Subtotal	0.00	\$0.00	
Electrical Power	Facilities	0.00	\$0.00	0.00
	Subtotal	0.00	\$0.00	
Communication	Facilities	0.00	\$0.00	0.00
	Subtotal	0.00	\$0.00	
	Total	0.00	\$0.00	

Table 14. Indirect Economic Impact with outside aid
(Employment as # of people and Income in millions of \$)

LOSS	Total	%

Appendix A: Census Subdivision Listing for the Region

Charlevoix-Est, QC

Charlevoix, QC

Appendix B: Regional Population and Building Value Data

Province/ Territory	Census Subdivision	Population	Building Value (millions of dollars)		
			Residential	Non-Residential	Total
Quebec	Charlevoix-Est	14,567	958	0	958
	Charlevoix	13,190	884	0	884
Total Province/ Territory		27,757	1,842	0	1,842
Total Region		27,757	1,842	0	1,842