

# Étude d'impact et des coûts d'assurance et coûts économique d'un séisme majeur en Colombie-Britannique et dans la région du Québec et de l'Ontario

Octobre 2013

Commandée par le Bureau d'assurance du Canada

## Droit d'auteur

2013 AIR Worldwide Tous droits réservés.

Les renseignements contenus dans le présent document sont assujettis à des changements sans préavis. Aucune partie du présent document ne peut être reproduite ni transmise de sous quelque forme que ce soit, à quelques fins que ce soit, sans l'autorisation expresse écrite de AIR Worldwide (AIR)

## Marques déposées

AIR Worldwide est une marque déposée dans la Communauté européenne. CATRADER est une marque déposée de AIR Worldwide. CLASIC/2 i est une marque de commerce de AIR Worldwide.

Xactware est une marque déposée de Xactware Solutions, Inc.

## Confidentialité

AIR investit des ressources importantes dans la création de ses modèles, méthodes de modélisation et bases de données. Le présent document comprend des renseignements exclusifs et confidentiels, et est à l'usage exclusif des clients de la société AIR qui sont assujettis aux restrictions prévues dans les dispositions de confidentialité énoncées dans le contrat de licence et autres ententes de non divulgation.

## Coordonnées

Si vous avez des questions au sujet du présent document, veuillez contacter :

AIR Worldwide  
131 Dartmouth Street  
Boston, MA 02116-5134  
États-Unis  
Tél. : (617) 267-6645  
Télec. : (617) 267-8284

---

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Sommaire</b>	<b>9</b>
1.1	<i>Le scénario de la zone de subduction de Cascadia dans l'Ouest</i>	11
1.2	<i>Le scénario du séisme crustal de Charlevoix dans l'Est</i>	17
<b>2</b>	<b>Introduction</b>	<b>21</b>
2.1	<i>Sommaire du projet</i>	21
2.2	<i>Développement d'une analyse probabiliste du risque</i>	21
2.3	<i>Choix des scénarios</i>	22
2.4	<i>Analyse des scénarios</i>	23
2.5	<i>Explication des risques modélisés</i>	23
2.6	<i>Tremblements de terre au Canada</i>	32
2.7	<i>Modèle AIR des séismes au Canada</i>	37
<b>3</b>	<b>Exposition au risque</b>	<b>38</b>
3.1	<i>Création de l'inventaire des biens et des infrastructures</i>	38
3.2	<i>Descriptions de l'affectation</i>	40
3.3	<i>Types de structures et hauteur des immeubles</i>	42
3.4	<i>Superficie des immeubles</i>	44
3.5	<i>Valeur selon l'affectation et le type d'assurance</i>	44
3.6	<i>Dispositions des contrats d'assurance et pénétration du marché</i>	48
3.7	<i>Résolution pour l'inventaire des immeubles et des infrastructures</i>	51
<b>4</b>	<b>Choix des scénarios</b>	<b>53</b>
<b>5</b>	<b>Analyse des scénarios</b>	<b>56</b>
5.1	<i>Considérations spéciales pour la modélisation</i>	59
<b>6</b>	<b>Le scénario de l'Ouest</b>	<b>62</b>
6.1	<i>Description de l'événement</i>	62
6.2	<i>Estimation des pertes économiques et assurées</i>	120
<b>7</b>	<b>Le scénario de l'Est</b>	<b>142</b>

7.1	<i>Description de l'événement</i>	142
7.2	<i>Estimation des pertes économiques et assurées</i>	176
<b>8</b>	<b>Méthodes d'évaluation des pertes économiques indirectes</b>	<b>197</b>
8.1	<i>Estimation des pertes économiques indirectes des dommages aux biens et aux infrastructures</i>	197
<b>9</b>	<b>Hypothèses et limitations de la sélection des scénarios et analyse</b>	<b>202</b>
9.1	<i>Hypothèses générales et sources d'incertitude pour tous les modèles</i>	202
9.2	<i>Hypothèses et limitations propres au modèle AIR des séismes au Canada</i>	205
<b>10</b>	<b>Annexe—Glossaire</b>	<b>208</b>
<b>11</b>	<b>Annexe—Collaboration</b>	<b>212</b>
11.1	<i>Notes biographiques des partenaires :</i>	212
<b>12</b>	<b>Annexe—Rapports d'évaluation des pairs</b>	<b>216</b>
12.1	<i>Notes biographiques des examinateurs :</i>	216
<b>14</b>	<b>Annexe—Exposition au risque</b>	<b>234</b>
14.1	<i>Créer une base de données de l'exposition de l'industrie au Canada</i>	234
14.2	<i>Création du type structural et de la hauteur des édifices dans la BDEI</i>	235
14.3	<i>Validation des données</i>	236
<b>15</b>	<b>Annexe—Sources des données</b>	<b>239</b>
<b>16</b>	<b>Annexe—Références</b>	<b>243</b>
<b>17</b>	<b>Au sujet d'AIR Worldwide</b>	<b>254</b>



## Liste des illustrations

Illustration 1 : Séismes historiques importants au Canada	11
Illustration 2 : Le site de la rupture dans le scénario de l'Ouest est indiqué par les étoiles rouges sur la carte	12
Illustration 3 : Scénario de l'Ouest – pertes directes par garantie (à gauche) et par catégorie d'assurance (à droite)	16
Illustration 4 : Le site de la rupture dans le scénario de l'Est est indiqué par l'étoile rouge près du centre de la carte	17
Illustration 5 : Scénario de l'Est – pertes directes par garantie (à gauche) et par catégorie d'assurance (à droite)	20
Illustration 6 : Dommages à une structure de béton armé causés par les secousses, Chili 2010	24
Illustration 7 : Dommages subis par une structure de maçonnerie non renforcée, Christchurch, Nouvelle-Zélande, 2010	26
Illustration 8 : Signe de liquéfaction lors du tremblement de terre de 2010 à Christchurch en Nouvelle-Zélande	27
Illustration 9 : Important glissement de terrain provoqué à Beichuan en Chine par le séisme de Sichuan en 2008	29
Illustration 10 : Dommages causés par le feu suite au tremblement de terre de 2010 à Christchurch, Nouvelle-Zélande	30
Illustration 11 : Création et propagation d'un tsunami (adapté d'un document officiel du Grand Tokyo)	31
Illustration 12 : Sources de séisme dans la zone de subduction de Cascadia (United States Geological Survey)	33
Illustration 13 : Tremblements de terre de magnitude 5,0 ou plus survenus au Canada depuis l'an 1700	34
Illustration 14 : Tremblements de terre historique dans la région de Québec	35
Illustration 15 : Tremblements de terre historiques en Colombie-Britannique	36
Illustration 16 : Inventaire de tous les biens et de toutes les infrastructures	38
Illustration 17 : Le pont Lion's Gate, Vancouver (Dbrustad, Wikimedia Commons)	39
Illustration 18 : Exemple de cellule de 1 km <sup>2</sup> utilisée dans la modélisation des immeubles et des infrastructures de l'inventaire	52
Illustration 19 : Chute d'armoire et d'accessoires fixes représentant des dommages à une habitation d'intensité VI à l'échelle de MM, au Chili en 2010	58
Illustration 20 : Les principales municipalités dans le scénario de l'Ouest	62
Illustration 21 : Vancouver à partir du mont Grouse. Les installations portuaires de l'inlet de Burrard font face à une concentration d'immeubles de grande hauteur qui caractérisent la ville de Vancouver. En arrière-plan, l'aéroport international de Vancouver peut être aperçu dans le delta du fleuve Fraser (Adam Lindsay, Wikimedia Commons)	63
Illustration 22 : La région du Grand Vancouver	64
Illustration 23 : Dommages à une structure résidentielle à L'Aquila, en Italie, en 2009	66
Illustration 24 : Victoria et les environs	67
Illustration 25 : Infrastructure clé dans la ville de Vancouver	71
Illustration 26 : Dommages causés par un séisme à une route sur un pont, Chili 2010	74
Illustration 27 : L'aéroport international de Vancouver est situé sur une île dans le delta du fleuve Fraser, et est à risque de dommages de liquéfaction. Il est accessible uniquement au moyen des ponts vulnérables (Alejandro Erickson)	76
Illustration 28 : Répartition de la population dans le scénario de l'Ouest	79
Illustration 29 : Valeur de tous les biens résidentiels, scénario de l'Ouest	80
Illustration 30 : Valeur des biens assurés, scénario de l'Ouest	81
Illustration 31 : Valeur de tous les biens commerciaux et industriels, scénario de l'Ouest	82
Illustration 32 : Valeur des biens commerciaux et industriels assurés, scénario de l'Ouest	83
Illustration 33 : Valeur totale de tous les biens, scénario de l'Ouest	84

Illustration 34 : Valeur totale des biens assurés, scénario de l'Ouest	85
Illustration 35 : Carte de la valeur totale des biens assurés de Vancouver et Victoria	86
Illustration 36 : Valeur totale de l'infrastructure, scénario de l'Ouest	87
Illustration 37 : Champ d'intensité du mouvement de sol (accélération maximale du sol) du scénario de l'Ouest. Chaque étoile rouge représente le centre d'une parcelle d'une faille rupturée durant le séisme	89
Illustration 38 : Carte MM du scénario de l'Ouest. Chaque étoile rouge représente le centre d'une parcelle d'une faille rupturée durant le séisme	90
Illustration 39 : Carte de MM pour Vancouver et Victoria	92
Illustration 40 : Valeur totale de tous les biens, Vancouver et Victoria	93
Illustration 41 : Champ d'intensité du mouvement de sol (accélération maximale du sol) pour Vancouver et Victoria	94
Illustration 42 : Valeur totale de l'infrastructure, Vancouver et Victoria	95
Illustration 43 : Carte du risque de liquéfaction pour le scénario de l'Ouest	96
Illustration 44 : Carte du risque de glissement de terrain pour le scénario de l'Ouest	98
Illustration 45 : Carte du risque de glissement de terrain à Vancouver et Victoria	99
Illustration 46 : Une maison historique avec une charpente en bois à Victoria, Colombie-Britannique (World Housing Encyclopedia)	101
Illustration 47 : Un important incendie fait rage dans le port d'Odaiba à la suite du séisme et du tsunami à Sendai en 2011 au Japon (Hikosaemon)	102
Illustration 48 : Répartition du ratio de toute l'étendue des dommages moyens d'incendies post-sismiques du scénario de l'Ouest	105
Illustration 49 : Une répartition possible des dommages causés par un incendie post-sismique dans le scénario de l'Ouest	106
Illustration 50 : Ratio des dommages moyens à la suite d'incendies post-sismiques pour la région de Vancouver	107
Illustration 51 : Une répartition possible des dommages causés par un incendie post-sismique dans la région du Grand Vancouver	108
Illustration 52 : Répartition du ratio des dommages moyens à la suite d'incendies post-sismiques pour la région de Victoria	109
Illustration 53 : Une répartition possible des dommages causés par un incendie post-sismique dans la région de Victoria	110
Illustration 54 : Le déplacement d'eau initial (m) attribuable au séisme du scénario de l'Ouest et emplacement des segments de la faille (étoiles)	111
Illustration 55 : Ligne de temps du tsunami et hauteur de l'onde	113
Illustration 56 : Hauteur maximale de l'eau au-dessus de l'onde de marée de fond	114
Illustration 57 : Carte de l'aléa sismique au Canada d'après le CNB de 2010	119
Illustration 58 : Contribution de chaque garantie à toutes les pertes directes aux biens	121
Illustration 59 : Contribution de chaque catégorie d'assurance à toutes les pertes directes aux biens	122
Illustration 60 : Contribution de chaque garantie aux pertes des biens assurés	129
Illustration 61 : Contribution de chaque catégorie d'assurance aux pertes totales des biens assurés	130
Illustration 62 : Pertes commerciales assurées du scénario de l'Ouest	131
Illustration 63 : Pertes commerciales assurées dans le secteur de Vancouver	132
Illustration 64 : Pertes commerciales à Victoria	133
Illustration 65 : Pertes résidentielles du scénario de l'Ouest	134
Illustration 66 : Pertes résidentielles à Vancouver	135
Illustration 67 : Pertes résidentielles à Victoria	136
Illustration 68 : Pertes visant les infrastructures dans le scénario de l'Ouest	137
Illustration 69 : Pertes visant les infrastructures de la région du Grand Vancouver	138
Illustration 70 : Pertes visant les infrastructures de Victoria	139

Illustration 71 : Contribution de chaque type d'infrastructure aux pertes totales	140
Illustration 72 : Principales municipalités incluses dans le scénario de l'Est	142
Illustration 73 : Les districts de la Haute-Ville historique et de la Basse-Ville de Québec, y compris des installations portuaires en premier plan (Datch 78, Wikimedia)	143
Illustration 74 : Dommages par séisme lorsqu'une maison n'est pas fixée à sa fondation (J.K. Nakata, U.S. Geological Survey)	145
Illustration 75 : Les communautés environnantes à Saguenay	147
Illustration 76 : La rue du Petit-Champlain, Vieux-Québec (Jeangagnon)	151
Illustration 77 : Les ponts de Québec et Pierre-Laporte, vus de la rive nord en hiver (Blanchardb à en.wikipedia)	153
Illustration 78 : Densité de population, scénario de l'Est	155
Illustration 79 : Valeur de tous les biens résidentiels, scénario de l'Est	156
Illustration 80 : Valeur des biens résidentiels assurés, scénario de l'Est	157
Illustration 81 : Valeur de tous les biens commerciaux/industriels, scénario de l'Est	168
Illustration 82 : Valeur des biens commerciaux/industriels assurés, scénario de l'Est	159
Illustration 83 : Valeur totale combinée pour le scénario de l'Est de la valeur des biens commerciaux, industriels, résidentiels, agricoles et automobiles	160
Illustration 84 : Valeur assurée totale pour le scénario de l'Est	161
Illustration 85 : Valeur totale des infrastructures, scénario de la région de l'Est	162
Illustration 86 : Secteur de la ville de Québec, valeur totale des infrastructures	163
Illustration 87 : Champ d'intensité des mouvements de sol (accélération maximale du sol) dans le scénario de l'Est L'étoile rouge représente l'épicentre du séisme	164
Illustration 88 : Champ d'intensité des mouvements de sol (accélération maximale du sol) dans la région de la ville de Québec	165
Illustration 89 : Carte MM du scénario de l'Est. L'étoile rouge représente l'épicentre du séisme	166
Illustration 90 : Champ MM pour la ville de Québec	167
Illustration 91 : Carte des risques de liquéfaction pour la région de la ville de Québec	168
Illustration 92 : La carte des risques de glissements de terrain pour le scénario de l'Est	169
Illustration 93 : Répartition du ratio moyen de dommages par incendie post-sismique pour la portée entière du scénario de l'Est	172
Illustration 94 : Répartition du ratio moyen de dommages par incendie post-sismique pour la Grande région de Québec dans le scénario de l'Est	173
Illustration 95 : Une répartition possible de dommages par incendies post-sismiques dans le scénario de l'Est	174
Illustration 96 : Carte des risques sismiques dans les codes de conception du CNB (gauche : CNB 1953; droite : CNB 2005)	175
Illustration 97 : Contribution de chaque garantie à l'ensemble des pertes de biens	177
Illustration 98 : Contribution de chaque catégorie d'assurance à l'ensemble des pertes de biens	178
Illustration 99 : Contribution de chaque garantie aux pertes de biens assurés	185
Illustration 100 : Contribution de chaque catégorie d'assurance aux pertes totales de biens assuré	186
Illustration 101 : Pertes commerciales du scénario de l'Est	187
Illustration 102 : Pertes commerciales de la ville de Québec	188
Illustration 103 : Pertes commerciales de Saguenay	189
Illustration 104 : Pertes résidentielles du scénario de l'Est	190
Illustration 105 : Pertes résidentielles dans la ville de Québec et ses environs	191
Illustration 106 : Pertes résidentielles de Saguenay	192
Illustration 107 : Pertes visant les infrastructures du scénario de l'Est	193
Illustration 108 : Pertes visant les infrastructures de la ville de Québec	194
Illustration 109 : Pertes visant les infrastructures de Saguenay	195
Illustration 110 : Contribution de chaque type d'infrastructure aux pertes totales	196

Illustration 153 : Processus de création de la BDEI	234
Illustration 154 : Création du type structural et de la hauteur des édifices dans la BDEI	236

## List des tableaux

Tableau 1 : Sommaire des pertes subies dans le scénario de l'Ouest	15
Tableau 2 : Scénario de l'Ouest – pertes indirectes de diverses sources visant les infrastructures	16
Tableau 3 : Sommaire des pertes subies dans le scénario de l'Est	19
Tableau 4 : Scénario de l'Est – pertes indirectes de diverses sources visant les infrastructures	20
Tableau 5 : Types de biens	40
Tableau 6 : Types d'infrastructures	41
Tableau 7 : Répartition des immeubles selon la hauteur et le type de matériaux – Colombie-Britannique	42
Tableau 8 : Répartition des immeubles selon la hauteur et le type de matériaux – Québec	43
Tableau 9 : Superficie des immeubles résidentiels	44
Tableau 10 : Valeurs de tous les biens en Colombie-Britannique*	46
Tableau 11 : Valeurs de tous les biens au Québec*	47
Tableau 12 : Valeurs de toutes les infrastructures en Colombie-Britannique	47
Tableau 13 : Valeurs de toutes les infrastructures au Québec	47
Tableau 14 : Dispositions contractuelles	49
Tableau 15 : Taux de pénétration du marché par province et par catégorie générale de biens	50
Tableau 16 : Une description abrégée de l'échelle de Mercalli modifiée	57
Tableau 17 : Paramètres détaillés de la rupture pour le scénario de l'Ouest	88
Tableau 18 : Ligne de temps des ignitions d'incendie	103
Tableau 19 : Sommaire de toutes les pertes directes aux biens par garantie	120
Tableau 20 : Sommaire de toutes les pertes directes aux biens par catégorie d'assurance	121
Tableau 21 : Sommaire de toutes les pertes visant les infrastructures par catégorie	122
Tableau 22 : Pertes indirectes visant les infrastructures de diverses sources	124
Tableau 23 : Pertes indirectes sectorielles par source d'impact sans résilience	125
Tableau 24 : Pertes indirectes sectorielles par source d'impact avec résilience	126
Tableau 25 : Sommaire des pertes visant les biens assurés selon le risque et la garantie	129
Tableau 26 : Sommaire des pertes visant les biens assurés par catégorie d'assurance	130
Tableau 27 : Sommaires des sinistres automobiles assurés par assureur	131
Tableau 28 : Contribution de chaque type d'infrastructure aux pertes totales	140
Tableau 29 : Perte nette totale aux édifices publics	141
Tableau 30 : Paramètres détaillés de rupture pour le scénario de l'Est	163
Tableau 31 : Ligne de temps des ignitions d'incendie	170
Tableau 32 : Sommaire de toutes les pertes directes des biens par secteur d'activité	177
Tableau 33 : Sommaire de toutes les pertes visant les biens par catégorie d'assurance	178
Tableau 34 : Sommaire de toutes les pertes d'infrastructure par catégorie	179
Tableau 35 : Pertes indirectes d'infrastructure de diverses sources	180
Tableau 36 : Pertes indirectes sectorielles par diverses sources d'impact sans résilience	181
Tableau 37 : Pertes indirectes sectorielles par diverses sources d'impact avec résilience	182
Tableau 38 : Sommaire des pertes assurées selon le risque et la garantie	185
Tableau 39 : Sommaire des pertes de biens assurés par catégorie d'assurance	186
Tableau 40 : Contribution de chaque type d'infrastructure aux pertes totales	195
Tableau 41 : Perte nette totale des édifices publics	196

# 1 Sommaire

## *Tremblement de terre au Canada, une nouvelle appréciation du risque*

Un tremblement de terre majeur touchant une région densément peuplée serait l'un des désastres naturels les plus dévastateurs que le Canada pourrait connaître. La Colombie-Britannique et la région que couvrent le Québec et l'Ontario sont particulièrement à risque en raison de leur grande densité de population et du degré élevé d'activité sismique qui les caractérise. Des événements récents, notamment les séismes catastrophiques qui ont frappé le Japon (magnitude 9,0 en 2011), le Chili (magnitude 8,8 en 2010), la Nouvelle-Zélande (magnitude 7,0 en 2010 et magnitude 6,1 en 2011), et la Turquie (magnitude 7,1 en 2011), ont fait ressortir la question du degré de préparation de l'industrie de l'assurance pour ce genre d'événements catastrophiques.

La dernière étude sur les conséquences économiques d'un tremblement de terre au Canada a été effectuée par Munich Re en 1992<sup>1</sup>. Le développement des villes et des infrastructures, la croissance économique et démographique, les progrès réalisés dans la recherche sismique et les codes du bâtiment, de même que les modifications apportées à la Insurance Act of British Columbia ces deux dernières décennies ont donné lieu à une révision de l'impact éventuel d'un tremblement de terre majeur. De plus, l'expérience récente indique que les risques que représentent les tsunamis, la liquéfaction et les pertes d'exploitation n'étaient pas nécessairement compris ni pris complètement en considération dans l'évaluation des risques liés aux tremblements de terre.

## *L'étude*

Le Bureau d'assurance du Canada (BAC) a retenu les services d'AIR Worldwide (AIR) pour déterminer quels seraient l'impact, le coût économique et le coût en termes d'assurance de tremblements de terre majeurs touchant la Colombie-Britannique et la région formée par le Québec et l'Ontario. Une entreprise de cette envergure aurait été impossible sans l'aide précieuse de nombreux partenaires et des pairs qui ont effectué les contrôles. On donne à la section 11 les notes biographiques de Robert McCaffrey, Ph. D., Michael L. Lahr, Ph. D., Oh-Sung Kwon, Ph. D., Adam Rose, Ph. D. et Dan Wei, Ph. D., avec qui nous avons collaboré. La section 12 contient les notes biographiques de Keisuke Himodo, Ph. D., Stephane Mazzotti, Ph. D., Marie- Josée Nollet, et Geoff Thomas qui ont effectué les rapports d'évaluation par les pairs.

La présente étude est la plus complète en son genre jamais effectuée pour le Canada. Elle vise à sensibiliser l'industrie de l'assurance, les agences gouvernementales, les organismes de réglementation, les organismes chargés de la planification en cas de catastrophe, et le public au risque de séismes au

---

<sup>1</sup> A Study of the Economic Impact of a Severe Earthquake in the Lower Mainland of British Columbia, the Munich Reinsurance Company of Canada, 1992.

Canada, et à leur donner un outil pour planifier et atténuer le risque éventuel.

AIR a modélisé deux événements déterminés aux fins de l'étude. Tous deux sont attribuables à des sources sismiques connues et ils sont similaires à des tremblements de terre survenus dans le passé. Ce sont donc des scénarios réalistes. Après avoir établi le mouvement terrestre probable dans les régions ciblées, AIR a calculé le degré des dommages éventuels et leur coût. Dans ce rapport, nous appelons ces scénarios, le scénario de l'Ouest et le scénario de l'Est. À moins d'indication contraire, les sommes sont exprimées en dollars canadiens.

L'étude n'est pas une prédiction d'événements à venir, mais un exercice hypothétique conçu pour exprimer l'ampleur des dommages possibles si des séismes majeurs se produisaient aujourd'hui. Les paramètres de rupture sismique que nous avons utilisés dans cette analyse représentent deux possibilités parmi beaucoup d'autres qu'un cataclysme du même genre frappe ces régions un jour. Par contre, l'impact des événements retenus pour cette étude, ainsi que les projections du coût des pertes sont indicateurs des conséquences probables d'événements similaires.

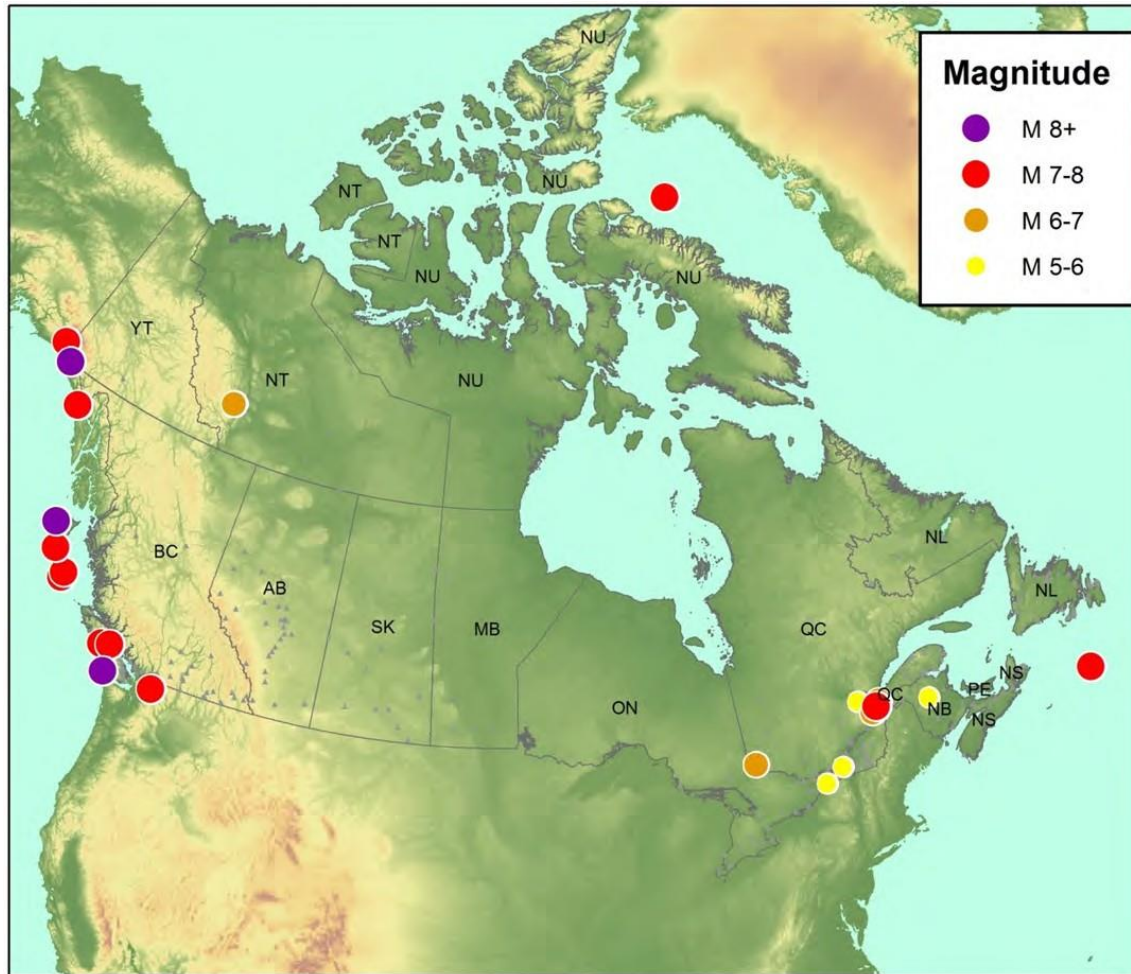
Bien que les événements modélisés constituent des possibilités réalistes pour la Colombie-Britannique ainsi que la région formée par le Québec et l'Ontario, ils ne représentent pas les pires scénarios possibles pour ces deux régions. Les tremblements de terre de la magnitude représentée dans les modèles sont des séismes à basse fréquence, qui présentent 0,2 % de probabilité de se produire dans ces endroits en toute année donnée, mais qui menacent de causer une dévastation dont l'ampleur justifie une planification et une préparation immédiates.

### **Les scénarios**

On recense près de 4 000 tremblements de terre au Canada chaque année. La plupart sont petits et les humains ne les sentent pas. Mais certains sont gros. Au cours des trois derniers siècles, il y a eu au moins 24 séismes importants qui ont été ressentis sur de longues distances au Canada. Dans l'illustration 1, on indique les séismes historiques d'une magnitude supérieure à 5,0 qui sont survenus au Canada. Ces séismes importants sont concentrés dans deux régions; la première sur la côte ouest de la Colombie-Britannique et l'autre dans le sud-est du Canada, principalement dans le sud du Québec et le sud-est de l'Ontario. Bien que ces deux zones sismiques ne représentent qu'une petite partie de la superficie du Canada, elles touchent environ 40 % de la population du pays.

Selon les études faites par la Commission géologique du Canada et Ressources naturelles Canada, le sud-ouest de la Colombie-Britannique, y compris Victoria, la capitale de la province, de même que la région du grand Vancouver, constitue une zone à risque élevé. Les chances qu'un séisme suffisamment fort pour causer des dommages importants frappe cette région au cours des 50 prochaines années sont d'au moins 30 %. Dans l'est, la région qui s'étend de la vallée du Saint-Laurent à la vallée de l'Outaouais, soit la région qui comprend les villes de Québec, Montréal et Ottawa, représente une autre région à risque élevé où les chances qu'un tremblement de terre puissant se produise d'ici 50 ans sont de l'ordre de 5 à 15 %.



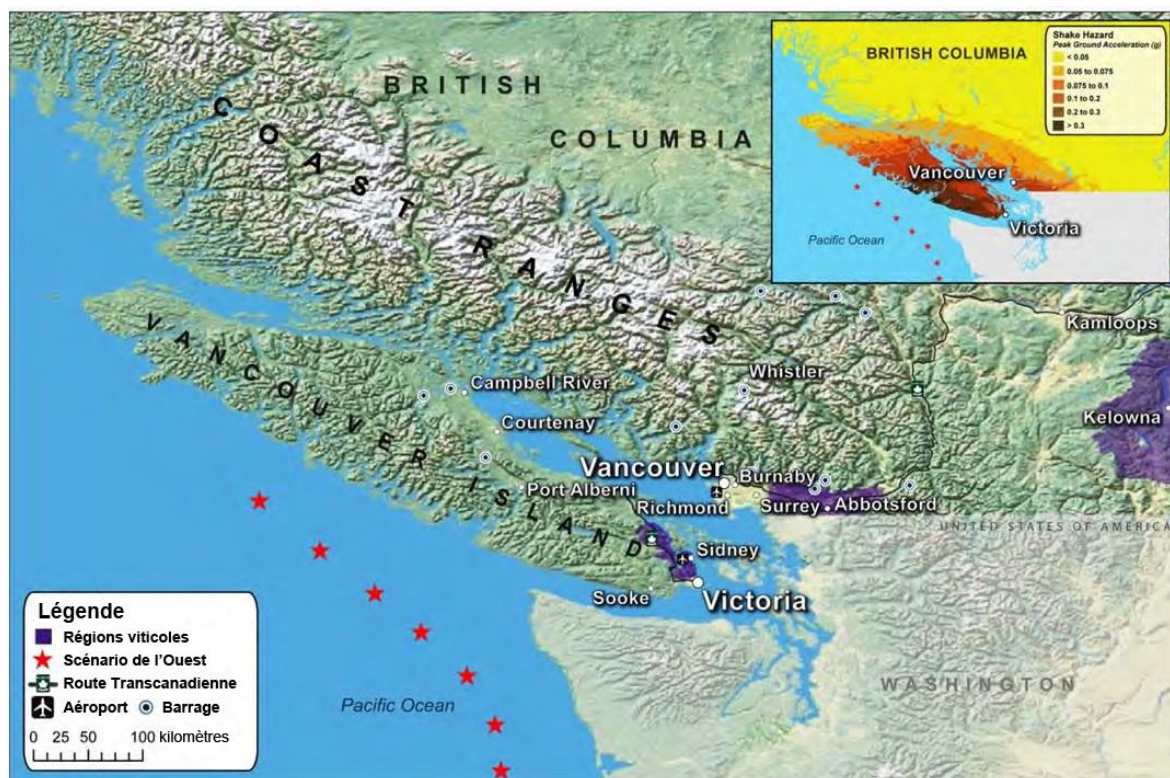


**Illustration 1 : Séismes historiques importants au Canada**

Cette étude porte sur deux scénarios de tremblement de terre, un dans chacune des zones à risque élevé. La méthode que nous avons utilisée pour choisir les scénarios est décrite à la section 2.3 de ce rapport. Le scénario retenu pour la région sismique ouest se situe dans la zone de subduction de Cascadia, une zone qui, au cours de l'histoire géologique récente, a connu plusieurs ruptures qui ont engendré des tremblements de terre majeurs, dont le dernier est survenu en 1700, un méga-séisme de magnitude de 9,0. Le scénario retenu pour la région sismique sud-est est un séisme de magnitude 7,1 dans la zone sismique de Charlevoix. On sait qu'au moins six ou sept séismes de magnitude 5 ou plus sont survenus dans la zone sismique de Charlevoix (1663, 1791, 1860, 1870 et 1925). Il s'agit d'une des zones sismiques les plus actives dans l'est de l'Amérique du Nord.

## 1.1 Le scénario de la zone de subduction de Cascadia dans l'Ouest

Le premier scénario étudié à fond est celui de la zone de subduction de Cascadia dans l'Ouest. Pour le reste du rapport, nous parlerons du *scénario de l'Ouest*. Le séisme survient un jour de semaine, vers la fin du mois de juillet. C'est un événement particulièrement puissant, de magnitude 9, qui se produit à une faible profondeur, 11 km, dans la zone de subduction de Cascadia. L'endroit de la rupture et le mouvement du sol qui lui est associé sont indiqués à l'illustration 2. L'épicentre se trouve dans l'océan Pacifique, (45,24° de latitude et -124,934° de longitude), à environ 75 km de la côte ouest de l'île de Vancouver et à près de 300 km du centre-ville de Vancouver. En raison de sa nature, de sa taille et de sa situation, l'événement produit un tsunami modeste.



**Illustration 2 : Le site de la rupture dans le scénario de l'Ouest est indiqué par les étoiles rouges sur la carte**

La force du séisme fait qu'il est ressenti dans presque toute la Colombie-Britannique et dans l'état de Washington aux États-Unis. Les deux tiers inférieurs de l'île de Vancouver se trouvant le plus près de l'épicentre connaîtraient les mouvements de terrain les plus forts, mais vu qu'à l'extérieur de Victoria, la capitale, il existe par comparaison peu de biens assurés, les pertes assurables ne seraient pas élevées. La plus forte concentration de biens vulnérables dans la région se trouve dans la région du Grand Vancouver qui subira des secousses modérées.

### **Dommages prévus**

Dans ce scénario, les secousses telluriques causent la majeure partie des pertes nettes. Toutefois, les



glissements de terrain, le tsunami et les incendies post-sismiques à la rupture contribuent également aux pertes subies. La première vague du tsunami devrait atteindre Vancouver deux heures après le tremblement de terre. À ce point-ci, la distance et l'effet des îles sur son parcours auront réduit sa hauteur au-dessus du niveau de la marée. Des incendies pourraient se déclencher peu après le tremblement de terre ou commencer plus tard à mesure que l'alimentation en électricité sera rétablie.

La nature des mouvements de terrain associés à ce type de séisme peut causer des dommages surtout aux immeubles de grande hauteur et aux ponts mal conçus, ainsi qu'aux pipelines. Les édifices de maçonnerie non renforcés sont particulièrement à risque. Par contre, les immeubles modernes bien construits subiront relativement peu de dommages.

### *Île de Vancouver*

En raison de sa situation proche de l'épicentre, le versant ouest de l'Île de Vancouver – et plus particulièrement la moitié méridionale – connaîtrait les plus forts mouvements de terrain et le plus de dommages aux immeubles et aux autres structures. Nous prévoyons des dommages importants aux immeubles ordinaires dans les régions où les secousses seront les plus violentes et des dommages graves aux structures mal construites. Les édifices de maçonnerie non renforcés seront les plus touchés et ils présenteront des dommages étendus aux cheminées et certains s'effondreront en partie. Les immeubles historiques et les édifices à valeur patrimoniale qui donnent leur cachet aux villes de Victoria et de Duncan par exemple sont particulièrement à risque. Victoria sera touchée par les incendies consécutifs au tremblement de terre et certains des immeubles résidentiels en bois près d'Esquimalt subiront d'importants dommages causés par le tsunami et les glissements de terrain. Les glissements de terrain pourraient causer des dommages considérables dans certains secteurs de Gordon Head, dans la partie nord de Victoria. On s'attend à des dommages allant d'importants à sévères dans certains secteurs longeant le détroit de Haro), notamment à Cordova Bay. Ces dommages seront dus principalement aux inondations engendrées par le tsunami. En général, on prévoit des dommages allant de légers à modérés aux immeubles industriels et commerciaux.

L'aéroport international de Victoria subira vraisemblablement des dommages allant de légers à modérés et on ne prévoit pas de perturbation importante du service. On s'attend à ce que le séisme cause des dommages allant de légers à modérés à certains éléments du Port de Victoria, notamment par suite du tassement du sol qui affectera certaines installations portuaires. Port Alberni, au début de l'inlet Alberni, sera fortement secoué par le tremblement de terre et subira des effondrements de terrain qui pourraient causer des dommages modérés aux installations portuaires. Sur la côte est de l'île, Nanaimo sera durement touchée par les secousses et l'inondation provoquée par le tsunami. Les dommages prévus seront tellement étendus que le port pourrait être hors d'état pendant de nombreux mois.

### *Ville de Vancouver*

À Vancouver, les immeubles résidentiels sont généralement bas, à part quelques immeubles en copropriété de hauteur moyenne, et l'on s'attend à ce que ces immeubles ainsi que les immeubles commerciaux et

industriels subissent des dommages légers. Dans la région côtière près de l'Université de Colombie-Britannique, le tsunami pourrait être un facteur considérable aux pertes des édifices commerciaux et industriels, et les pertes d'exploitation pourraient s'étaler sur plusieurs semaines dans ce secteur. La liquéfaction pourrait causer des dommages importants dans les secteurs qui entourent le bras nord du fleuve Fraser et Sea Island.

Les immeubles commerciaux de hauteur moyenne dans le sud de New Westminster et le nord de Surrey et de Delta pourraient subir des dommages modérés qui pourraient entraîner une période d'inactivité supérieure à un mois dans certains cas. Une partie de ces dommages pourrait être attribuables à la liquéfaction. Ces communautés reposent sur des sédiments vaseux et sablonneux qui ont tendance à amplifier les ondes sismiques et, par conséquent, elles subiront des mouvements plus forts. Dans cette région, les immeubles élevés (huit étages ou plus) pourraient subir des dommages assez importants, particulièrement à l'égard des biens meubles. L'inspection et la réparation de certains de ces immeubles pourraient exiger quelques mois. Les immeubles gouvernementaux autour de l'hôtel de ville de Richmond devraient subir des dommages modérés. La plupart des immeubles résidentiels dans Richmond sont peu élevés et on prévoit des dommages modérés ici aussi. Le tsunami devrait causer des dommages importants à certains immeubles dans l'ouest de Richmond et près du fleuve Fraser. Dans les régions sud telles que Gilmore (au sud du Richmond Country Club) et Paramount (Stevenson Harbor), le tsunami devrait causer des dommages importants aux édifices commerciaux.

Les secousses telluriques et la liquéfaction endommageront certaines routes et les rendront impraticables, elles compromettront l'approvisionnement en eau et les autres services enfouis dans le sol et entraîneront la fermeture temporaire de nombreux ponts. La plupart des routes importantes à Vancouver et dans les environs ne subiront vraisemblablement que des dommages légers et ne devraient pas fermer plus de quelques heures. Par contre, les dommages subis par les ponts pourraient entraîner la fermeture de nombreuses autoroutes et voies locales et causer des détours. Au nord, l'accès routier à la ville de Vancouver par les ponts Lion's Gate et Ironworkers Memorial (Second Narrows) ne devrait pas être touché. À l'est par contre, l'accès sera entravé. Le pont Port Mann sur l'autoroute 1 par exemple devrait demeurer fonctionnel, mais avec quelques perturbations mineures – les réparations pourraient prendre quelques jours. Les déplacements par la route de Richmond à Vancouver au nord, et à Delta et Surrey au sud seront vraisemblablement perturbés. Les routes menant à l'aéroport de Vancouver seront fermées durant la période critique des premiers jours suivant le tremblement de terre car tous les ponts qui y mènent seront touchés. Il existe un risque modéré de liquéfaction sur Sea Island, où se trouve l'aéroport international de Vancouver, ce qui endommagerait vraisemblablement les pistes. Les bâtiments, notamment les aérogares, les tours et les hangars devraient subir des dommages allant de légers à modérés. L'aéroport international d'Abbotsford devrait toutefois s'en tirer avec de très légers dommages. Les dommages aux installations portuaires dans le port de Vancouver et les environs seront probablement faibles, mais les installations dans Richmond sud et au nord de Delta, de même qu'à Surrey (près du fleuve Fraser) subiront des dommages plus importants en raison de la liquéfaction et de l'inondation.

## Pertes modélisées

Pour les besoins de l'étude, nous avons modélisé les pertes économiques et les pertes assurées. Les pertes économiques totales incluent les dommages directs aux immeubles et à l'infrastructure et les pertes indirectes attribuables aux perturbations de la chaîne d'approvisionnement, du réseau d'infrastructures et aux autres problèmes découlant de l'interconnectivité de divers secteurs économiques. On donne au tableau 1 un sommaire des pertes économiques et des pertes assurées pour le scénario de l'Ouest.

**Tableau 1 : Sommaire des pertes subies dans le scénario de l'Ouest**

Pertes directes et indirectes				
Risque	Biens	Infrastructure	Biens publics	Total
Secousse	48 639	1 044	1 333	51 016
Tsunami	4 208	91	65	4 364
Incendie post-séisme	519	0	14	534
Liquéfaction et glissement de terrain	5 250	753	83	6 086
<b>Total des pertes directes</b>	<b>58 617</b>	<b>1 888</b>	<b>1 495</b>	<b>62 000</b>
Conséquences indirectes				12 744
<b>Total des pertes directes et indirectes</b>				<b>74 744</b>
Pertes assurées				
Secousse				17 078
Tsunami				1 117
Incendie post-sismique				337
Liquéfaction et glissement de terrain				1 899
<b>Total des pertes assurées</b>				<b>20 431</b>

*Tous les montants sont en millions et incluent la hausse subite de la demande et l'inflation postincident.*

*Pour la valeur des infrastructures et des biens publics, on ne fait pas de distinction entre la valeur de tous les biens et la valeur des biens assurés parce qu'il n'a pas été possible de déterminer le taux de pénétration à partir des données disponibles.*

*Pour «Conséquences indirectes», le chiffre représente la valeur médiane estimative.*

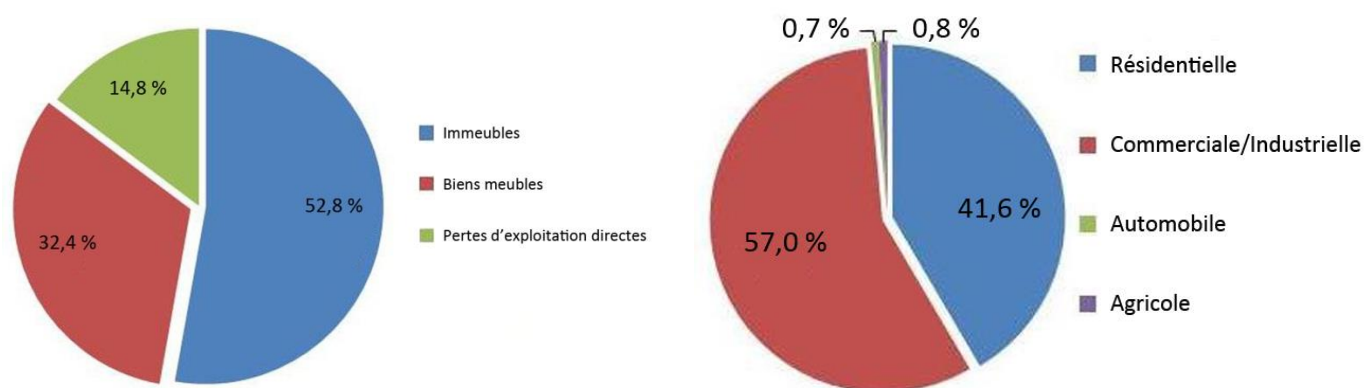
Dans le tableau 2, on donne un sommaire de pertes indirectes touchant les infrastructures pour le scénario de l'Ouest, avec résilience, sans résilience et la valeur médiane.

**Tableau 2 : Scénario de l'Ouest – pertes indirectes de diverses sources visant les infrastructures**

Source de l'impact	Sans résilience	Avec résilience	Avec résilience – médiane
Dommages aux immeubles	18 612	3802	11 207
Perturbation des oléoducs	34	4	19
Perturbation des gazoducs	396	13	205
Perturbation de	564	32	298
Perturbation de l'approvisionnement énergétique	671	86	379
Perturbation du réseau de télécommunication	852	49	450
Perturbation des aéroports	83	41	62
Perturbation des ports de mer	111	55	83
Perturbation du réseau routier	44	11	27
Perturbation du réseau ferroviaire	18	9	14
<b>Total</b>	<b>21 385</b>	<b>4103</b>	<b>12 744</b>

Toutes les données sont en millions

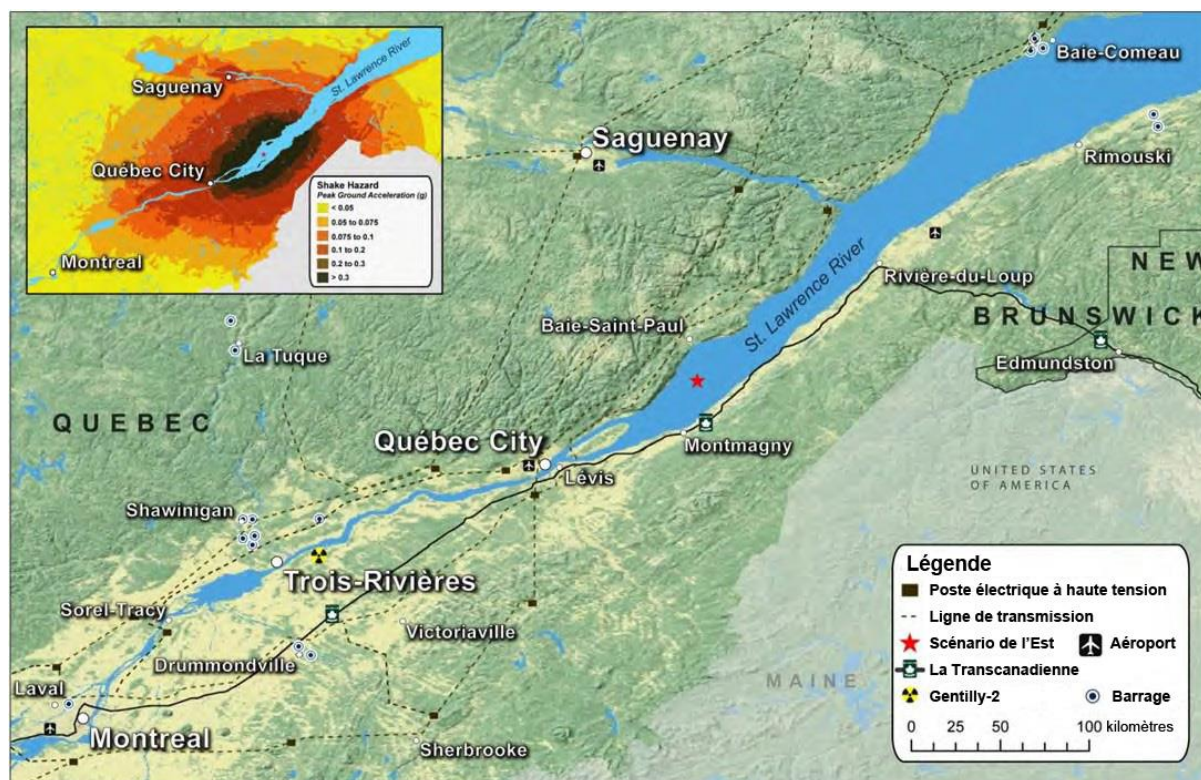
L'illustration 3 montre la part des pertes associées à chaque type de garantie (à gauche) et à chaque catégorie d'assurance (à droite).



**Illustration 3 : Scénario de l'Ouest – pertes directes par garantie (à gauche) et par catégorie d'assurance (à droite)**

## 1.2 Le scénario du séisme crustal de Charlevoix dans l'Est

Le second scénario sur lequel porte cette étude est le séisme crustal de Charlevoix, dans l'Est. Pour le reste du rapport, nous parlerons du scénario de l'Est. Le séisme survient tôt en décembre. D'une magnitude de 7,1, c'est un événement puissant qui se produit à une faible profondeur, 10 km. L'épicentre se situe sous le lit du fleuve Saint-Laurent (à 47,245° de latitude et -70,47° de longitude), environ à mi-chemin entre Baie-Saint-Paul sur la rive nord et Montmagny sur la rive sud, près de 100 km au nord-est de la ville de Québec. L'endroit de l'événement et le mouvement du sol qui lui est associé sont indiqués à l'illustration 4 ci-dessous. Il n'y a pas de risque de tsunami suite à cet événement qui se produit dans les eaux intérieures.



**Illustration 4 : Le site de la rupture dans le scénario de l'Est est indiqué par l'étoile rouge près du centre de la carte**

La force du séisme fait qu'il est ressenti dans presque tout l'Ontario, le Québec, au Nouveau-Brunswick, en Nouvelle-Écosse et dans certaines parties des États-Unis. Dans le scénario de l'Ouest, le modèle présente un tremblement de terre de magnitude 9, un séisme beaucoup plus puissant dont l'épicentre se situe à 300 km de Vancouver. Dans le scénario de l'Est, bien que plus faible, le séisme est ressenti plus fortement parce qu'il se situe plus près de la ville de Québec. Par conséquent, les secousses ressenties dans la ville sont similaires à celles qui sont ressenties à Vancouver dans le scénario de l'Ouest.



## **Dommmages prévus**

Dans ce scénario, les secousses telluriques causent la majeure partie des dommages aux immeubles et aux infrastructures. En raison de la proximité de l'épicentre, la ville de Québec et ses environs subissent des secousses plus violentes que Vancouver. Les immeubles de conception moderne devraient bien s'en tirer, mais les autres, particulièrement les édifices en maçonnerie mal construits, seront sérieusement endommagés. Les bâtiments historiques de maçonnerie non renforcés que l'on trouve partout dans la Haute-Ville et la Basse-Ville de Québec, par exemple, courent un risque particulier.

Les secousses les plus fortes et les plus dévastatrices frapperont les collectivités rurales dans un rayon de 50 km de l'épicentre le long des rives nord et sud du fleuve Saint-Laurent. À part les immeubles commerciaux, les immeubles résidentiels, surtout les ouvrages de maçonnerie non renforcés dans la ville de Beaufort, pourraient être fortement endommagés et même totalement démolis. Les dommages de ce genre seront très répandus et s'étendront aussi loin que Saint-Tite-des-Caps et jusqu'à Montmagny, Berthier-sur-Mer et Cap-Saint-Ignace sur l'autre rive. Les ponts qui traversent le rivièrre Montmorency sur la route 138 (le boulevard Sainte-Anne) et la route 360 (l'avenue Royale) subiront vraisemblablement des dommages importants.

### **Ville de Québec**

Les immeubles commerciaux à Place Fleur de Lys et aux alentours subiront probablement des dommages allant de modérés à graves en raison des fortes secousses telluriques. Les ponts qui traversent la rivièrre Saint-Charles, notamment celui de la route 440 (autoroute Dufferin-Montmorency), le pont routier et le pont de chemin de fer de la route 136 (boulevard Jean-Lesage) ainsi que le pont de la route 175 (autoroute Laurentienne), subiront probablement des dommages allant de modérés à graves. La fermeture de ces ponts, le cas échéant, nuira considérablement à la circulation et au transport entre la ville de Québec et l'arrondissement hautement peuplé de La Cité-Limoilou. Les immeubles de grande hauteur dans la ville de Québec et les environs devraient subir peu de dommages tandis que les immeubles résidentiels du centre-ville de Québec pourraient présenter des dommages allant de légers à modérés.

Dans le Vieux-Québec, on s'attend à des dommages allant de légers à modérés dans les secteurs qui entourent les édifices parlementaires. Les bâtiments de hauteur moyenne faits de béton et d'acier devraient subir peu de dommages. On s'attend toutefois à ce que les bâtiments historiques dans ce secteur présentent des dommages structuraux et fonctionnels modérés à la suite du tremblement de terre. La majeure partie des dommages prévus seront causés par les secousses telluriques, mais des incendies post-sismiques contribueront probablement aux pertes.

On ne s'attend pas à ce que les infrastructures portuaires et ferroviaires subissent des dommages importants. Les pertes les plus importantes en termes d'infrastructures surviendront du côté du réseau électrique et du réseau des communications. La ville de Québec et la plupart des municipalités environnantes seront privées d'électricité pendant quelques jours. Pour les collectivités situées à l'est, le long du fleuve Saint-Laurent, les pannes dureront beaucoup plus longtemps.

La plupart de grandes routes dans Québec et les environs pourraient présenter des dommages légers attribuables au tassement ou au décalage du sol, mais il ne devrait pas y avoir de fermetures importantes. Par contre, plus à

l'est, entre Baie-Saint-Paul et La Malbaie, beaucoup des voies de circulation locales présenteront des dommages modérés, de nombreux ponts seront fortement endommagés et devront être fermés pendant assez longtemps afin d'être réparés. Fait plus grave, les deux ponts qui traversent le fleuve Saint-Laurent seront gravement touchés et ils pourraient être fermés à la circulation pendant assez longtemps.

Les aérogares, les tours et les hangars à l'Aéroport international Jean-Lesage, situé à environ 11 kilomètres au sud-ouest de Québec, ne devraient subir que des dommages allant de mineurs à modérés. Les pistes pourraient subir un certain tassement (allant de mineur à modéré) ou de l'ondulation de la surface du tarmac. Malgré ces dommages modérés, on ne prévoit pas de perte de fonction ni de perturbation importante à l'aéroport. On prévoit toutefois que le tremblement de terre causera des dommages étendus au Port de Québec, tant en raison des secousses telluriques que de la liquéfaction. Les dommages les plus importants surviendront probablement autour du Bassin Louise. Ces dommages iront de modérés à graves et ils pourraient entraîner la fermeture du port pendant une ou deux semaines.

### **Pertes modélisées**

Pour les besoins de l'étude, nous avons modélisé les pertes économiques et les pertes assurées. Les pertes économiques totales incluent les dommages directs aux immeubles et à l'infrastructure et les pertes indirectes attribuables aux perturbations de la chaîne d'approvisionnement, du réseau d'infrastructures et aux autres problèmes découlant de l'interconnectivité de divers secteurs économiques. On donne au tableau 3 un sommaire des pertes économiques et des pertes assurées pour le scénario de l'Est.

**Tableau 3 : Sommaire des pertes subies dans le scénario de l'Est**

<b>Pertes directes et indirectes</b>				
<b>Risque</b>	<b>Biens</b>	<b>Infrastructure</b>	<b>Biens publics</b>	<b>Total</b>
Secousse	44 915	1 891	1 354	48 159
Incendie post-sismique	706	0	19	726
Liquéfaction et glissements de terrain	302	67	5	374
<b>Total des pertes directes</b>	<b>45 922</b>	<b>1 958</b>	<b>1 378</b>	<b>49 259</b>
Conséquences indirectes				11 336
<b>Total des pertes directes et indirectes</b>				<b>60 595</b>
<b>Pertes assurées</b>				
Secousse				11 543
Incendie post-sismique				628
Liquéfaction et glissement de terrain				56
<b>Total des pertes assurées</b>				<b>12 228</b>

*Tous les montants sont en millions et incluent la hausse subite de la demande et l'inflation postincident.*

*Pour la valeur des infrastructures et des biens publics, on ne fait pas de distinction entre la valeur de tous les biens et la valeur des biens assurés parce qu'il n'a pas été possible de déterminer le taux de pénétration à partir des données disponibles.*

*Pour «Conséquences indirectes», le chiffre représente la valeur médiane estimative.*

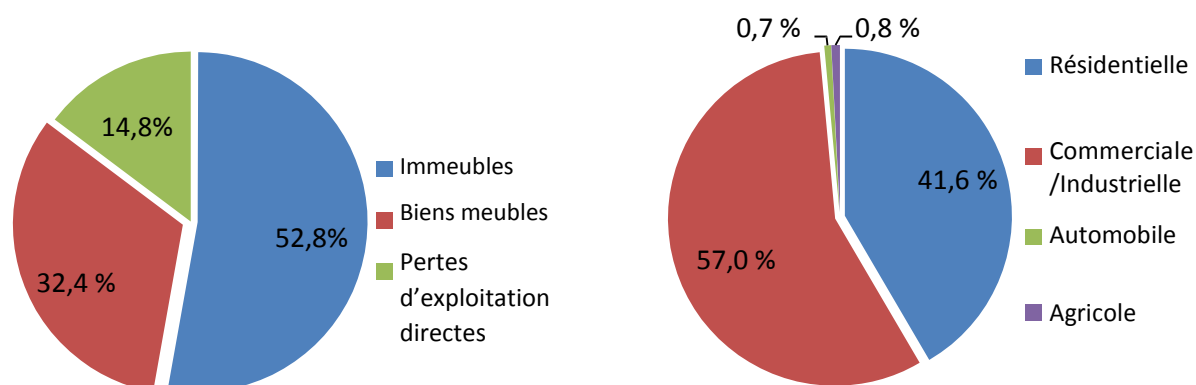
Dans le tableau 4, on donne un sommaire de pertes indirectes touchant les infrastructures pour le scénario de l'Est, avec résilience, sans résilience et la valeur médiane.

**Tableau 4 : Scénario de l'Est – pertes indirectes de diverses sources visant les infrastructures**

Source de l'impact	Pertes indirectes sans résilience	Pertes indirectes avec résilience	Pertes indirectes avec résilience – médiane
Dommages aux immeubles	13 997	5224	9610
Perturbation des oléoducs	50	5	28
Perturbation des gazoducs	240	8	124
Perturbation de l'approvisionnement en eau	385	20	203
Perturbation de l'approvisionnement énergétique	1315	156	735
Perturbation du réseau de télécommunication	738	36	387
Perturbation des aéroports	32	16	24
Perturbation des ports de mer	163	82	123
Perturbation du réseau routier	61	11	36
Perturbation du réseau ferroviaire	97	36	67
<b>Total</b>	<b>17 078</b>	<b>5594</b>	<b>11 336</b>

Toutes les données sont en millions

L'illustration 5 montre la part des pertes associées à chaque type de garantie et à chaque catégorie d'assurance.



**Illustration 5 : Scénario de l'Est – pertes directes par garantie (à gauche) et par catégorie d'assurance (à droite)**



## 2 Introduction

### 2.1 Sommaire du projet

Ce projet porte sur une étude dont le but est de donner une description détaillée des conséquences d'un tremblement de terre majeur en Colombie-Britannique et dans la région formée du Québec et de l'Ontario. Le projet a été divisé en trois phases. Dans la première phase, nous avons analysé les risques sismiques dans les régions visées afin de permettre à AIR d'établir des scénarios qui respectaient les critères établis pour l'étude. Après avoir ramené les possibilités à deux scénarios par région et après en avoir discuté avec le BAC, AIR a recommandé un scénario pour chaque région. Ces scénarios ont ensuite été évalués par le BAC qui a approuvé le concept d'un seul scénario par région pour l'étude. AIR a ensuite effectué une analyse complète des deux scénarios retenus afin d'en publier les résultats dans le présent rapport.

Une entreprise de cette envergure aurait été impossible sans l'aide précieuse de nombreux partenaires et des pairs qui ont effectué les contrôles. On donne à la section 11 les notes biographiques de Oh-Sung Kwon, Ph. D., Michael Lahr, Ph. D., Robert McCaffrey, Ph. D., Adam Rose, Ph. D., et Dan Wei, Ph. D., avec qui nous avons collaboré. La section 12 contient les rapports des évaluations par les pairs effectuées par Keisuke Himoto, Ph. D., Stephane Mazzotti, Ph. D., Marie-Josée Nollet, Ph. D., et Geoff Thomas, Ph. D.

Pendant toute l'étude, AIR a travaillé en étroite collaboration avec le BAC. Nous avons apprécié leur connaissance approfondie des questions qui entourent les risques associés aux tremblements de terre auxquels le Canada, ses citoyens, les pouvoirs publics et l'industrie de l'assurance sont confrontés, ainsi que leur profond engagement à la création d'un rapport qui deviendra un outil opportun et efficace pour la gestion du risque découlant des tremblements de terre.

### 2.2 Développement d'une analyse probabiliste du risque

Dans le contexte de cette étude, une analyse probabiliste du risque est une façon d'évaluer le risque qu'un très gros tremblement de terre touche le Canada. On peut définir le niveau de risque par la probabilité que survienne un séisme d'une certaine magnitude. On peut aussi le définir comme étant la probabilité d'un séisme qui causerait un niveau de perte déterminé. Pour choisir le scénario approprié dans chaque région, nous avons d'abord fait une analyse probabiliste des événements et des pertes pour la Colombie-Britannique et la région formée par le Québec et l'Ontario, tout en reconnaissant les différences marquées entre la sismicité, la géologie et la tectonique de ces deux régions. Un modèle de catastrophe est le meilleur moyen de déterminer des scénarios vraisemblables et crédibles pour effectuer ce genre d'étude parce qu'il met à contribution la science qui permet d'évaluer les risques de tremblements de terre, les données sur les

structures vulnérables à ce genre d'événement et, enfin, les techniques actuarielles qui permettent de définir la perspective des assureurs.

L'un des principaux éléments du modèle est un catalogue des événements sismiques potentiels, allant du plus petit au plus grand et à ses conséquences catastrophiques. Cette collection d'événements, le catalogue stochastique, constitue une description de milliers et de milliers d'années d'activité sismique possible et réaliste au Canada. Dans le catalogue stochastique, beaucoup d'années présentent des séismes très faibles, tout comme dans l'histoire, et, occasionnellement, un séisme énorme se produit (le tremblement de terre de 1946 sur l'île de Vancouver en est un exemple). Le catalogue stochastique renferme la meilleure évaluation scientifique du risque réel de séisme au pays. En analysant les risques pour le Canada grâce au modèle, nous obtenons une gamme complète de pertes possibles découlant de divers types de tremblements de terre. Les résultats du modèle permettent de comprendre la probabilité de divers niveaux de pertes. Le terme que l'on utilise pour décrire ce concept (c.-à-d. la gamme complète des niveaux de pertes possibles et les probabilités d'atteindre ou de dépasser ces niveaux de pertes une année donnée) est la courbe de probabilité de dépassement.

Après les analyses probabilistes, AIR a proposé des scénarios pour les deux régions en séparant les résultats des analyses probabilistes de différents sites afin de déterminer les sources dominantes de tremblements de terre responsables des pertes pour les provinces visées.

## 2.3 Choix des scénarios

La phase du choix des scénarios comportait évidemment une période d'interaction et de communication avec le BAC dans un but de partage de connaissances, de communication des assises scientifiques et des données techniques des scénarios. Cette phase comportait également une évaluation des simulations de crises utilisées par le Bureau de surintendant des institutions financières (BSIF) lors de son examen de 2012. En se fondant sur toutes les données disponibles et les recommandations d'AIR, le BAC a accepté l'utilisation des scénarios recommandés pour l'analyse.

La caractéristique principale de chacun des scénarios retenus est qu'ils sont représentatifs au plan géographique de tremblements de terre attribuables à des sources sismiques déterminées et qu'ils présentent une probabilité d'occurrence approximative de 1 en 500 ans. Un critère secondaire entrant dans le choix des scénarios est le niveau de pertes associé à l'événement envisagé dans le scénario. À l'issue de l'analyse probabiliste et du processus de choix des scénarios, AIR a retenu pour chaque province des scénarios qui présentaient une probabilité de récurrence de 500 ans et qui produisaient des pertes nettes à l'intérieur de la fourchette visée. Les pertes visées représentent grosso modo 0,2 % de probabilité de se produire ou d'être dépassées en une année donnée.

Compte tenu de la répartition de la population et des biens dans ces provinces, les scénarios choisis devaient nécessairement se situer près d'endroits où il y a concentration des biens tels que Vancouver en Colombie-Britannique et la ville de Québec au Québec.

## 2.4 Analyse des scénarios

AIR a entamé la phase de l'analyse des scénarios après avoir fait une mise à jour complète de son Modèle des séismes au Canada. Les mises à jour touchaient les secousses telluriques et les incendies post-sismiques, tandis que les éléments liquéfaction, glissements de terrain et tsunami sont nouveaux. Les éléments d'estimation des dommages et d'intensité locale des séismes, notamment de la condition des sols, ont aussi été mis à jour. AIR a mis à jour son inventaire des biens et l'a amélioré pour y inclure les infrastructures canadiennes et prendre en compte les dispositions courantes des polices dans l'industrie.

Le modèle permet de calculer les pertes directes aux immeubles et aux biens résidentiels, commerciaux et industriels, ainsi que les pertes touchant les immeubles agricoles et les automobiles. Il permet aussi de faire une estimation des pertes d'exploitation directes à l'égard des biens; les pertes d'exploitation directes et indirectes découlant de l'infrastructure sont d'une importance vitale au plan économique et nous les avons modélisées également.

Tous les éléments du modèle ont fait l'objet d'évaluations externes par des pairs qui sont des sommités dans leurs domaines respectifs. Les rapports des évaluations par les pairs figurent à la section 12 du présent document, soit l'annexe intitulée Rapports d'évaluation par les pairs.

Dans ce rapport final, vous trouverez une description du processus de sélection des scénarios et un exposé narratif détaillé des conséquences d'un tremblement de terre majeur dans chaque région. Vous y trouverez également une estimation des pertes économiques et des pertes assurées.

## 2.5 Explication des risques modélisés

Après avoir parlé du choix des scénarios, il est utile de s'attarder aux diverses façons dont un tremblement de terre peut causer des dommages aux biens. Dans cette partie, on introduit les divers aspects physiques d'un tremblement de terre.

Un tremblement de terre est le dégagement subit d'énergie élastique emmagasinée se manifestant par la fracture soudaine et le déplacement des roches le long d'une faille. Une partie de l'énergie libérée est dissipée le long de la faille. Le reste se transforme en ondes sismiques qui s'étendent dans toutes les directions à partir du point de rupture causant le tremblement à la surface de la terre.

On peut mesurer la gravité d'un tremblement de terre de diverses façons et à divers endroits. On mesure par exemple ce qui se passe à la surface, là où les mouvements du sol peuvent endommager les structures et l'infrastructure. D'autres mesures permettent aux sismologues de déduire ce qui s'est passé à l'hypocentre, le point à l'intérieur de la terre où la rupture s'est produite.

Les spécialistes des sciences de la terre et les ingénieurs parlent couramment de «magnitude» pour caractériser l'énergie libérée à l'hypocentre d'un séisme et d'«intensité» pour désigner les effets d'un séisme à la surface.

La magnitude d'un tremblement de terre dépend de l'endroit où les mesures sont prises, tandis que l'intensité est fonction de la distance à partir de la rupture, de la géologie de la région et des conditions locales sous le site de la rupture, notamment le type de sol. Le même événement produit des résultats différents à des endroits différents.

### ***Secousses telluriques***

Les secousses telluriques lors d'un séisme vont d'un tremblement à peine perceptible à un tremblement violent, selon la magnitude du séisme, la distance entre l'hypocentre et le site touché, les caractéristiques géologiques de la région et les conditions locales du site.

### ***Dommages causés par les secousses telluriques***

Les dommages les plus immédiats et les plus évidents d'un tremblement de terre sont ceux que les secousses telluriques et le déplacement du sol infligent aux immeubles et aux infrastructures. Ces dommages sont causés par les ondes de vibrations émanant de l'épicentre à travers le sol et s'étendant en des formes complexes selon les conditions géologiques de la région.

Un tremblement de terre est un événement unique et ses effets ont des conséquences qui varient selon les parties de la région touchée et selon les structures. À l'illustration 6, on donne un exemple des dommages typiques subis par une structure de béton armé à la suite du mouvement du sol.



**Illustration 6 : Dommages à une structure de béton armé causés par les secousses, Chili 2010**

La force des secousses varie selon l'énergie libérée et la distance de l'épicentre. Si tous les paramètres sont les mêmes, les secousses produites par un tremblement de terre de magnitude 7 ont la moitié de leur force à 13 km de l'épicentre, un quart de leur force à 27 km, et un huitième à 48 km de l'épicentre<sup>2</sup>. Pour certains tremblements de terre, les secousses ne durent qu'un moment ou deux alors que pour d'autres, elles durent une minute ou plus. La plupart produisent des répliques qui peuvent se continuer pendant plusieurs heures et même sporadiquement pendant des années. Le sol meuble amplifie généralement les ondes et les secousses durent plus longtemps dans ces endroits que dans les endroits composés de roche solide. Plus il y a de secousses, plus il y a de dommages.

Les mouvements du sol violents déplacent les fondations de l'immeuble d'un côté à l'autre et ce mouvement est transmis au reste de l'immeuble. Plus un immeuble est haut, en général plus il a de flexibilité, et plus les étages supérieurs sont hauts, plus leur mouvement a d'amplitude. Chaque immeuble réagit au mouvement du sol différemment selon sa hauteur, le type de construction, son état et divers autres facteurs. Lorsque le mouvement dépasse la capacité d'absorption de l'immeuble, il se produit des dommages.

Chaque immeuble peut vibrer jusqu'à un certain point et à une certaine vitesse, c'est-à-dire que chacun possède une fréquence naturelle. La résonance (oscillation continue à grande amplitude) se produit lorsque la fréquence des ondes sismiques correspond étroitement à la fréquence naturelle de l'immeuble et cela peut entraîner des dommages graves. Les petits immeubles sont particulièrement affectés par les secousses rapides à haute fréquence tandis que les gros immeubles ou les immeubles élevés sont plus touchés par les secousses lentes à basse fréquence.

Lorsqu'en 1985 la ville de Mexico a été touchée par un tremblement de terre de magnitude 8,1 survenu en mer, la majorité des immeubles bas et des immeubles élevés sont restés debout dans les zones les plus dévastées. Environ 60 % des immeubles détruits ou grandement endommagés étaient des immeubles de taille moyenne (6 à 15 étages) – leur fréquence de résonance correspondait à la gamme de fréquences les plus amplifiées dans le type de sous-sol présent lors de ce séisme.

Les normes de conception qui régissent les constructions dans les pays développés tels que le Canada ont évolué à mesure que l'on a mieux compris les mécanismes des tremblements de terre et la réaction des immeubles durant les tremblements de terre. Les normes visent surtout à sauver des vies plutôt qu'à préserver les structures.

Les immeubles modernes de béton armé ou à armature d'acier que l'on construit dans les régions à risque obéissent généralement à des normes qui ont été conçues pour éviter que les immeubles s'écroulent durant un tremblement de terre et prennent leurs occupants au piège. Les immeubles plus anciens qui ont été construits selon des normes moins efficaces ne s'en tireront pas aussi bien que les immeubles plus récents.

---

<sup>2</sup> [http://www.iris.edu/hq/files/programs/education\\_and\\_outreach/retm/tm\\_100112\\_haiti/BuildingsInEQs\\_2.pdf](http://www.iris.edu/hq/files/programs/education_and_outreach/retm/tm_100112_haiti/BuildingsInEQs_2.pdf)

Certains types de constructions, particulièrement les ouvrages de maçonnerie plus anciens non renforcés (pierres, briques, blocs en béton) et les structures de bois qui ne sont pas attachées aux fondations, résistent mal en règle générale. On donne à l'illustration 7 un exemple de dommages typiques subis par les constructions en maçonnerie non renforcées.



**Illustration 7 : Dommages subis par une structure de maçonnerie non renforcée, Christchurch, Nouvelle-Zélande, 2010**

#### *Pertes après l'événement*

En plus des frais reliés directement à l'enlèvement des débris et à la reconstruction, frais qui peuvent être gonflés par une montée subite de la demande (taux majorés temporairement pour la main-d'œuvre et les matériaux dont il y a pénurie), les entreprises et les particuliers doivent faire face à d'autres dépenses après un tremblement de terre. Par exemple, les gens peuvent devoir habiter à l'hôtel pendant que l'on répare leur maison ou prendre un congé parce qu'ils ne peuvent pas se rendre au travail ou qu'ils ont besoin de voir les entrepreneurs.

Les pertes d'exploitation peuvent représenter des pertes majeures. Les entreprises peuvent mettre un certain temps avant de fonctionner à nouveau à plein rendement, que ce soit à cause de leurs propres problèmes ou



des problèmes de leurs fournisseurs ou de leurs clients à la suite du séisme. Certaines entreprises peuvent s'installer dans d'autres bureaux, mais pour d'autres, les hôtels par exemple, c'est impossible. Qu'il s'agisse d'entreprises ou de particuliers, il faut évaluer les dommages, négocier le coût des réparations avec les entrepreneurs et obtenir les permis de construction.

Tout cela prend du temps. De plus, il peut falloir attendre qu'un entrepreneur soit disponible pour effectuer les travaux et, naturellement, cela peut prendre encore plus de temps.

### **Liquéfaction**

Lorsqu'un tremblement de terre frappe une région saturée d'eau souterraine, les secousses peuvent provoquer une hausse de la pression de l'eau interstitielle, ce qui fait perdre sa rigidité au sol qui se comporte alors comme un liquide dense. Lorsque cela se produit, le sol ne peut plus supporter les structures.



**Illustration 8 : Signe de liquéfaction lors du tremblement de terre de 2010 à Christchurch en Nouvelle-Zélande**

Des immeubles peuvent s'incliner soudainement et même se renverser parce que le sol se liquéfie sous eux. Les pipelines et les conduites peuvent monter à la surface lorsque le sol liquéfié se déplace et les conduites

souterraines des services publics peuvent se rompre. À l'illustration 8, on voit un exemple des dommages subis par un édifice à valeur patrimoniale à la suite du tremblement de terre de Christchurch en Nouvelle-Zélande.

Si le sol saturé se situe sous une croûte sèche, le mouvement du sol peut fissurer la couche sèche. Le sable liquéfié fait éruption par les fissures et crée ainsi des sables mouvants. Les sables mouvants peuvent pénétrer dans les immeubles par les ouvertures des services publics et endommager les immeubles et leur réseau électrique.

Le phénomène de liquéfaction risque davantage de survenir dans les régions à sol à gros grains mal drainé et saturé d'eau. Un exemple serait le sable meuble que l'on trouve le long des rivières, des plages, de dunes et dans d'autres endroits où le sable s'est accumulé. Un exemple typique serait le delta du fleuve Fraser dans la région de Vancouver. La ville de Richmond est particulièrement susceptible aux dommages causés par la liquéfaction.

Le Modèle AIR des séismes au Canada comprend un élément de liquéfaction pour les régions les plus à risque de la Colombie-Britannique, de l'Ontario et du Québec.

### ***Glissements de terrain***

Les glissements de terrain et les ruptures de versants causés par les tremblements de terre constituent des risques sismiques majeurs et des risques importants pour les personnes et pour les biens. Les glissements de terrain causés par les tremblements de terre entraînent des pertes de vie, détruisent les immeubles, les routes, les pipelines et les réseaux vitaux. Ils produisent un impact direct sur la vie économique et sociale des régions touchées.





**Illustration 9 : Important glissement de terrain provoqué à Beichuan en Chine par le séisme de Sichuan en 2008**

À l'illustration 9, on voit un exemple d'un important glissement de terrain causé par un tremblement de terre et des dommages qui en résultent. C'est un fait bien établi que les glissements de terrain déclenchés par les tremblements de terre ont coûté des centaines de milliers de vies humaines et entraîné des pertes économiques substantielles.

L'objectif principal d'une analyse des risques de glissements de terrain attribuables à un tremblement de terre par région est de déterminer où un tremblement de terre éventuel pourrait déclencher des glissements de terrain. On peut évaluer la susceptibilité d'une région aux glissements de terrain déclenchés par un tremblement de terre en se basant sur les possibilités de mouvements du sol, ainsi que sur la composition et la structure géologiques locales. Il importe de noter que les glissements de terrain constituent un risque secondaire. Même si un glissement de terrain peut infliger des dommages graves à une structure particulière, la contribution du glissement de terrain à l'ensemble des dommages découlant du tremblement de terre reste relativement petite.

### ***Incendies consécutifs à un tremblement de terre***

Les tremblements de terre qui surviennent dans les régions bâties peuvent entraîner des incendies découlant des dommages causés aux immeubles et à leurs biens meubles par les secousses telluriques. L'illustration 10 représente un exemple d'un immeuble endommagé par le feu après le tremblement de terre de 2010 à Christchurch en Nouvelle-Zélande.



**Illustration 10 : Dommages causés par le feu suite au tremblement de terre de 2010 à Christchurch, Nouvelle-Zélande**

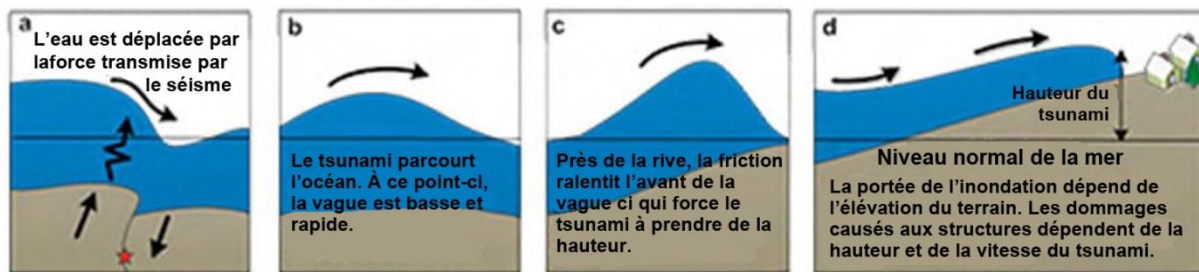
Le risque d'incendies consécutifs à un tremblement de terre est lié entre autres à la densité de construction et au degré de mouvement du sol. Les incendies qui commencent après un tremblement de terre important peuvent se développer sans restriction et s'étendre aux immeubles avoisinants, causant des dommages importants.

La perturbation du réseau de communication peut retarder le signalement de l'incendie, les services de lutte contre les incendies peuvent être surchargés en raison du nombre d'incendies simultanés et le mouvement du sol peut mettre hors d'état le réseau qui alimente les bouches d'incendie. L'endroit et la force des mouvements du sol causés par le tremblement de terre influent directement sur le nombre et l'endroit des incendies, sur le degré des dommages causés au réseau d'alimentation d'eau et sur le temps que mettront les services d'incendie à arriver sur les lieux de chaque incendie. AIR a modélisé spécifiquement les dommages

attribuables aux incendies post-sismiques en utilisant un modèle stochastique.

### ***Inondation causée par un tsunami***

Un tsunami est une série de vagues (ondes) causées par le déplacement d'un grand volume d'eau. Il peut être causé par un tremblement de terre ou une perturbation quelconque sous la mer, notamment une éruption volcanique, un glissement de terrain, le vêlage d'un glacier ou l'impact d'un météore. Un tsunami causé par un tremblement de terre se forme parce que le fond de l'océan se déplace verticalement, ce qui entraîne le déplacement d'un grand volume d'eau au-dessus de la partie ainsi déformée. À l'illustration 11, on montre le processus de formation du tsunami et comment il se propage. La hauteur, la vitesse et le volume d'eau soulevé dépendent des caractéristiques particulières de la rupture, notamment de la magnitude du tremblement de terre, de la soudaineté du glissement et de la profondeur auquel où il se produit sous le fond de l'océan



**Illustration 11 : Création et propagation d'un tsunami (adapté d'un document officiel du Grand Tokyo)**

Une fois lancée, la masse d'eau se propage dans toutes les directions. Elle peut parcourir des milliers de kilomètres et toucher des régions très éloignées du site initial de la rupture. En général, la longueur de la vague (sa dimension horizontale) est très supérieure à la profondeur de l'océan et c'est pourquoi une onde de tsunami est considérée comme une vague peu élevée (ex. illustration 11b).

En eau profonde, ce type de vague se déplace très rapidement, car sa vitesse de propagation est proportionnelle à la profondeur de l'eau. Au début et (généralement) en eau profonde, la vague est peu élevée (faible amplitude) parce qu'elle est très longue. En raison de la longueur de la vague et de sa faible amplitude, les marins sur les océans profonds ne sentent généralement pas un tsunami qui passe sous leur navire, même si cette vague voyage à une grande vitesse.

À mesure que la vague s'approche des eaux moins profondes, elle ralentit, elle subit l'effet de la friction au fond de l'eau et la longueur de la vague se réduit parce que l'arrière de la vague se déplace plus rapidement que l'avant. Quand la longueur de la vague diminue, l'eau doit aller quelque part, donc elle monte et la vague prend de la hauteur.

Un tsunami peut causer de graves dommages sur les côtes qui sont peu élevées tandis que les régions côtières où les rives sont raides, accidentées ou élevées risquent moins d'être dévastées par un tsunami. La présence d'installations côtières contre les inondations, des remparts par exemple, peuvent réduire considérablement les dommages causés par un tsunami si elles sont assez élevées et restent solides durant le tsunami. Les marées locales jouent aussi un rôle très important pour déterminer la distance de pénétration du tsunami à l'intérieur des terres et la hauteur de l'inondation, particulièrement dans les endroits où l'amplitude des marées est similaire à la hauteur du tsunami proprement dit.

## 2.6 Tremblements de terre au Canada

Le Canada connaît de 3 000 à 4 500 tremblements de terre par année, mais la plupart sont trop faibles pour qu'on les remarque. En moyenne, chaque semaine, quelque part au Canada, il y a un tremblement de terre suffisamment fort pour être ressenti. En général, des décennies séparent les tremblements de terre d'une puissance suffisante pour causer des pertes assurées et ils sont plus susceptibles de se produire au large ou dans un endroit éloigné et généralement inhabité. Dans ce genre d'endroits, les tremblements de terre causent peu de dommages et font peu de victimes. Les séismes vraiment catastrophiques se produisent encore plus rarement.

Il est toutefois important de se rappeler que des tremblements de terre extrêmement puissants se sont produits au Canada ou près du Canada. De plus, des séismes assez puissants pour causer des dommages graves de nos jours ont déjà frappé les régions développées et hautement peuplées qui ont été choisies pour cette étude, et il y en aura vraisemblablement d'autres tôt ou tard. Par exemple, une étude récente des séismes sur la côte ouest du Canada a révélé que des événements majeurs se sont produits dans cette région de façon irrégulière tous les 500 ans à peu près et que le dernier a eu lieu il y a environ 300 ans<sup>3</sup>.

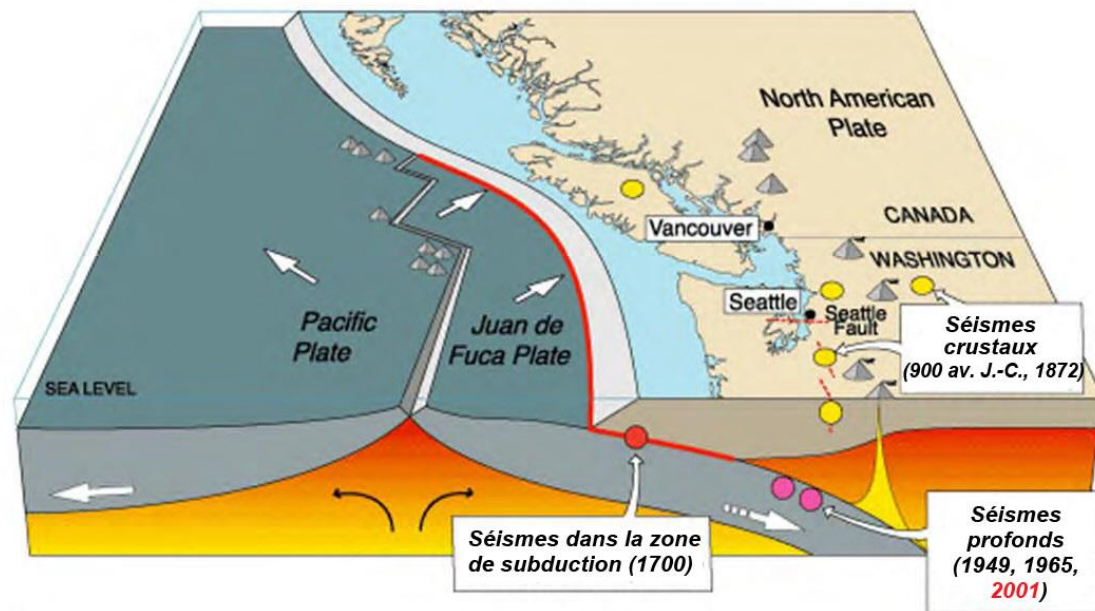
Les plaques tectoniques qui composent la croûte terrestre sont en perpétuel mouvement, se rapprochant ou s'éloignant les unes des autres, et/ou glissant l'une près de l'autre. Les déplacements sont très lents, quelques millimètres par année en général, mais les tensions que leur interaction engendre s'accumulent jusqu'à ce que la friction qui les retient ensemble ne suffise plus à les contenir. Le dégagement subit d'énergie qui se produit lorsque les plaques se séparent est ce qui cause le tremblement de terre.

La côte ouest du Canada fait partie de la ceinture sismique du Pacifique, communément appelée la «Ceinture de feu», qui marque le pourtour de l'océan Pacifique. C'est l'une de rares régions du globe où l'on retrouve les trois principaux types de mouvement de plaques qui causent une grande activité sismique (voir l'illustration 12). Au large de l'île de Vancouver, la plaque Juan de Fuca et la plaque Pacifique s'éloignent l'une de l'autre le long de la crête de Juan de Fuca. Plus à l'est, la plaque Juan de Fuca converge en subduction (glissement) sous la plaque nord-américaine pour former la zone de subduction de Cascadia. Immédiatement au nord, on trouve la faille de la Reine-Charlotte, une faille transformante active où les

<sup>3</sup> Séismes géants sous la côte ouest du Canada, R.D. Hyndman et autres, <http://www.nrcan.gc.ca/sciences-terre-sciences/energy-mineral/geology/geodynamics/earthquake-processes/8595>



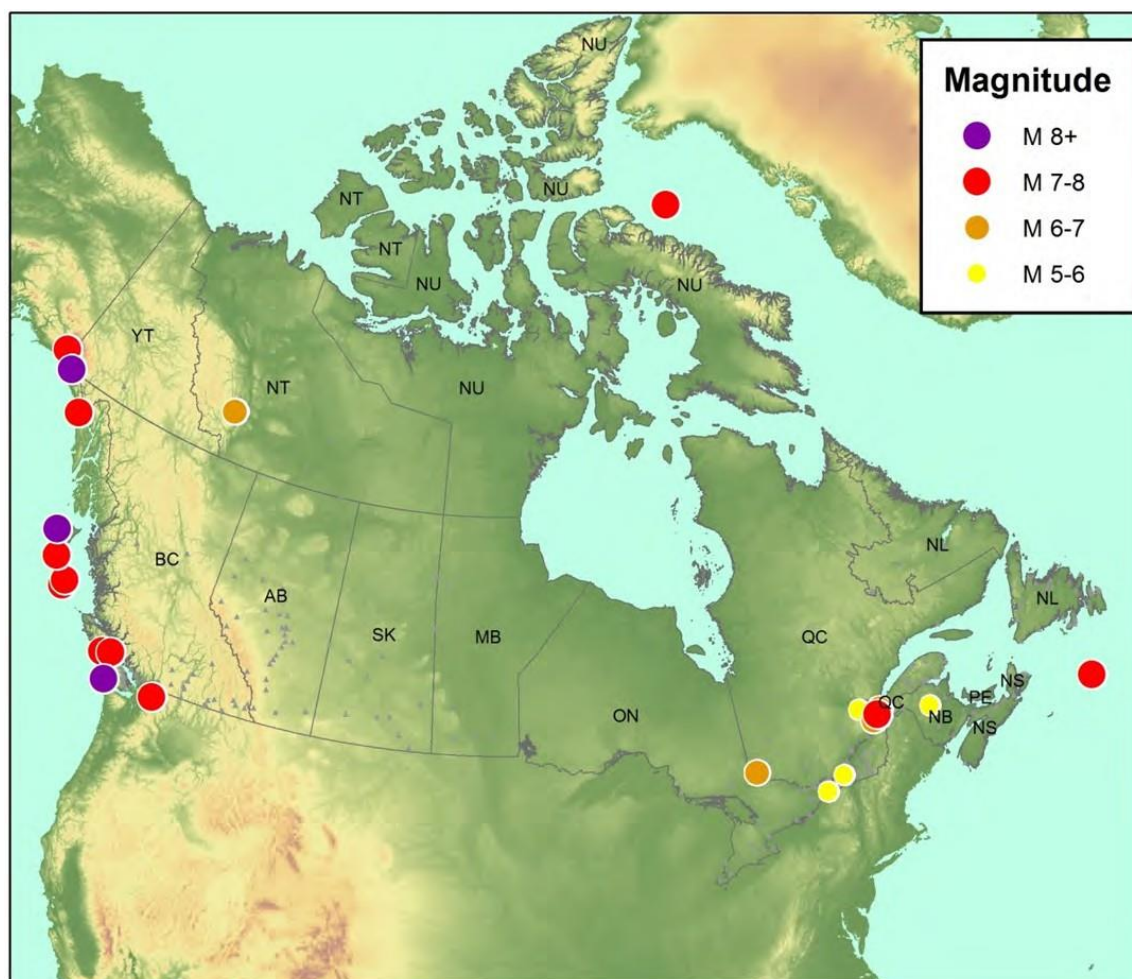
plaques coulissent l'une contre l'autre. C'est l'équivalent canadien de la faille de San Andreas et en 1949, elle a été le site du tremblement de terre le plus puissant jamais enregistré au pays, un séisme de magnitude 8,1.



Source	Région touchée	Magnitude max.	Récurrence
● Zone de subduction	O. WA, OR, CA	M 9	500 à 600 ans
● Plaque Juan de Fuca (profond)	O. WA, OR	M 7+	30 à 50 ans
● Failles crustales profondes	WA, OR, CA	M7 +	Des siècles?

**Illustration 12 : Sources de séisme dans la zone de subduction de Cascadia (United States Geological Survey)**

La zone de subduction de Cascadia peut produire de puissants séismes qui touchent une vaste région géographique et donner naissance à des tsunamis. Ce genre de séisme tend à générer des ondes sismiques de longue période qui sont particulièrement dommageables pour les immeubles élevés, les ponts et les pipelines. De plus, les villes comme Vancouver, C.-B., sont situées dans des bassins dont les caractéristiques sédimentologiques amplifient ces vagues d'ondes sismiques de longue période, les rendant encore plus dommageables pour les immeubles et les infrastructures. La ville de Richmond repose sur des sédiments vaseux et sablonneux très susceptibles à la liquéfaction, un phénomène qui peut amplifier de façon importante les dommages aux immeubles et aux infrastructures (comme on l'a vu récemment lors du tremblement de terre de Christchurch en Nouvelle-Zélande).



**Illustration 13 : Tremblements de terre de magnitude 5,0 ou plus survenus au Canada depuis l'an 1700**

L'est du Canada présente une sismicité très différente. On ne comprend pas très bien ce qui y cause les tremblements de terre et c'est pourquoi nous ne pouvons pas produire un graphique explicatif comme celui de l'illustration 12 pour le scénario de l'Est. Contrairement aux régions situées en bordure des plaques où l'on peut faire une corrélation directe entre la fréquence et la force de l'activité sismique et l'interaction des plaques, l'est du Canada est situé dans une région continentale stable sur la plaque nord-américaine. L'activité sismique semble liée à des zones de stress régionales et les tremblements de terre sont concentrés dans les régions où la croûte terrestre est faible. L'est du Canada connaît relativement peu de tremblements de terre et pourtant, la région a été ravagée par des séismes importants dans le passé. On présente à l'illustration 13 la sismicité historique du Canada (tous les tremblements de terre de magnitude 5,0 ou plus survenus depuis 1700). Aux illustrations 14 et 15, on donne une représentation plus détaillée de l'activité sismique historique respective de la Colombie-Britannique et du Québec.

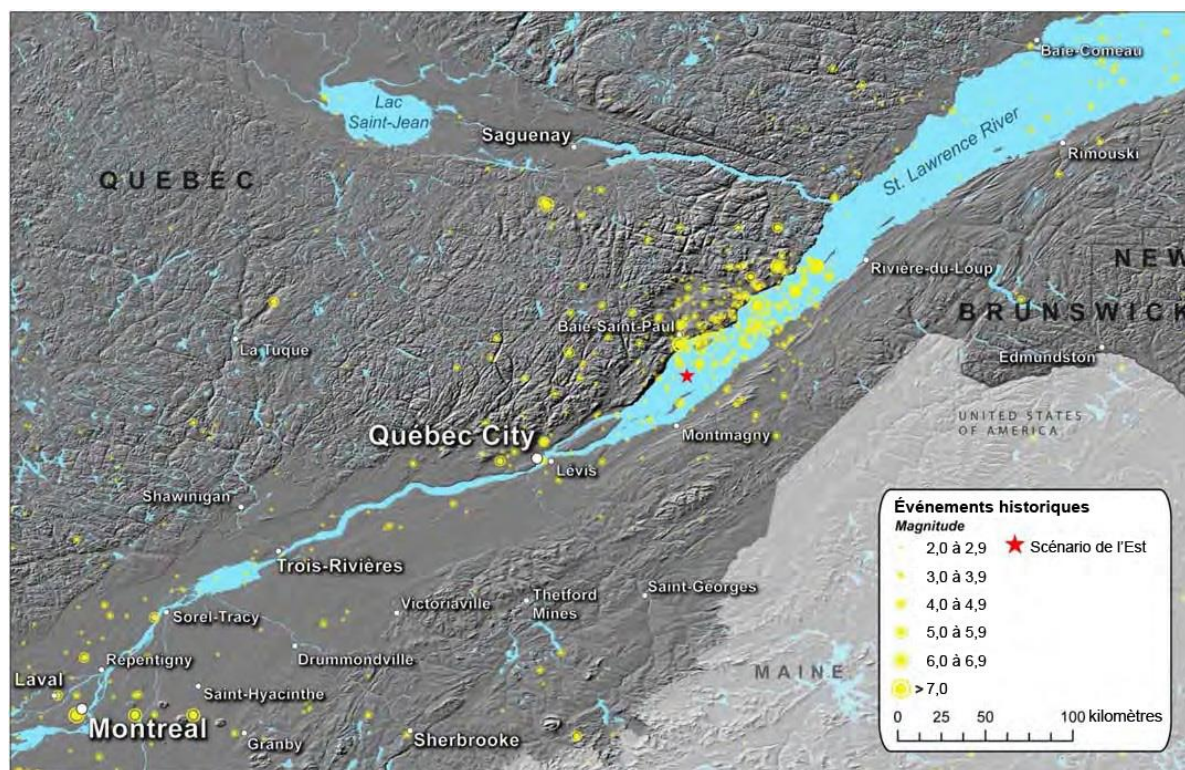


Illustration 14 : Tremblements de terre historique dans la région de Québec



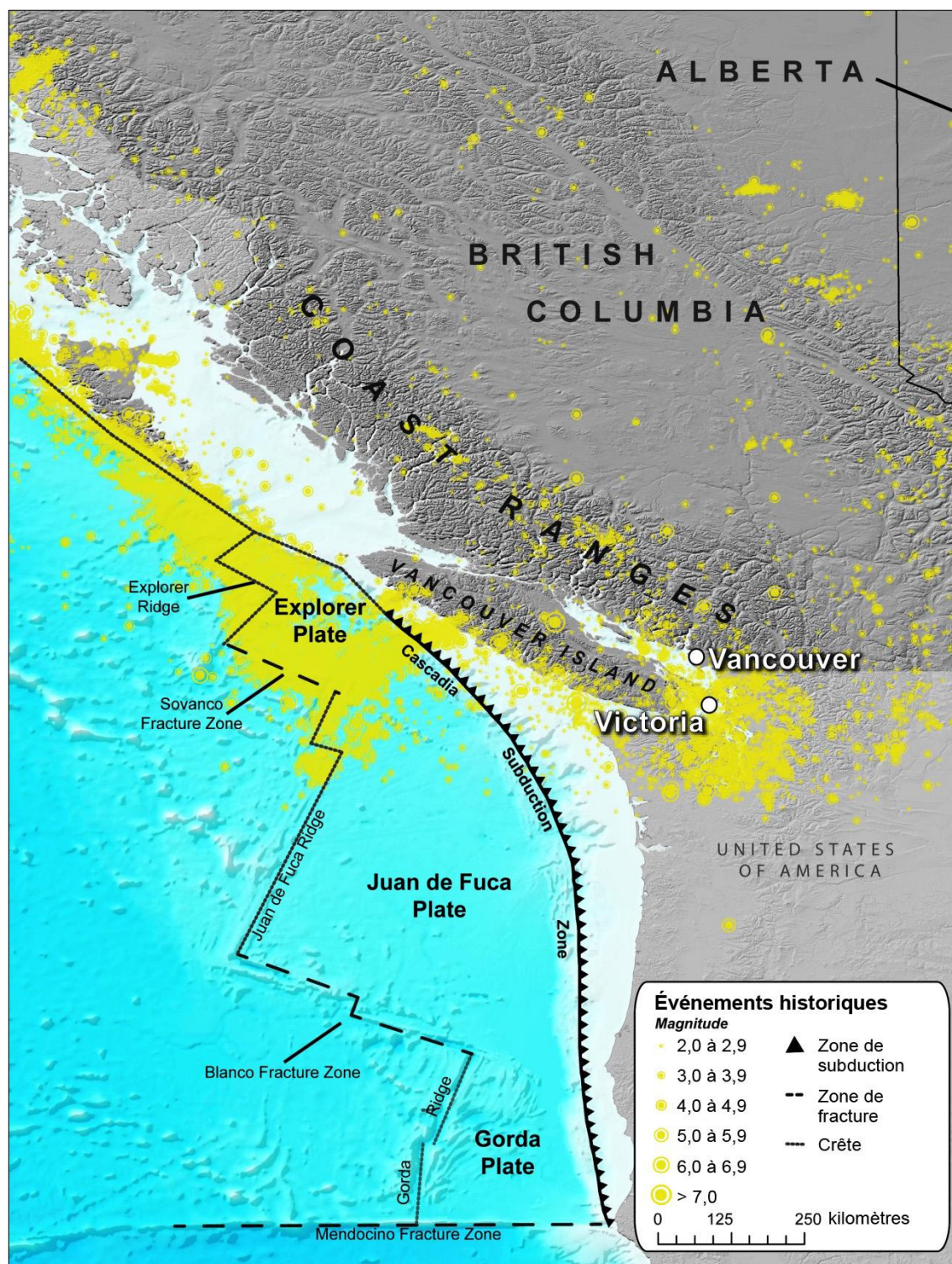


Illustration 15 : Tremblements de terre historiques en Colombie-Britannique



## 2.7 Modèle AIR des séismes au Canada

AIR a été la première société à mettre au point la technique de modélisation pour catastrophes pour remplacer les approches actuarielles ou dites de la «règle empirique» que l'industrie de l'assurance utilisait jusque-là pour estimer les pertes potentielles en cas d'événements catastrophiques.

En ce moment, AIR tient à jour 38 modèles pour catastrophe dans le monde et 17 de ces modèles visent spécifiquement les tremblements de terre. L'un d'eux est le Modèle AIR des séismes au Canada, lancé en 1997 et mis à jour en 1999, 2002, 2005 et 2008. Nous avons fait une autre mise à jour complète pour les besoins de la présente étude.

Les modèles pour catastrophe de la société AIR sont des logiciels informatiques – des systèmes complexes d'algorithmes qui permettent d'exprimer mathématiquement les caractéristiques fondamentales d'événements catastrophiques. Ils reposent sur des recherches poussées sur la nature des risques visés et font appel à des données scientifiques provenant de nombreuses sources et soumises à divers contrôles. Les sources primordiales des données de cette étude sont la Commission géologique du Canada et la United States Geological Survey (USGS).

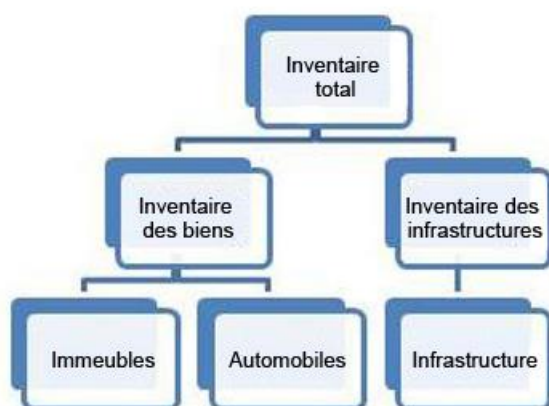
À partir d'informations portant sur des événements réels ou hypothétiques, le logiciel calcule les dommages probables subis par les biens dans les endroits touchés par ces événements afin d'estimer les pertes éventuelles aux fins d'assurance. Les calculs exigent le traitement de quantités énormes de données que les ordinateurs modernes peuvent mettre plusieurs jours à traiter.

### 3 Exposition au risque

La présence des humains et des structures et objets avec lesquels ils sont en contact quotidiennement sont à la source des estimations des pertes dans les scénarios de séismes. Après le choix d'un scénario pour chaque région, nous sommes passés à l'étape suivante de la modélisation qui consiste à voir comment le scénario de séisme affecte les risques (ou exposition au risque) afin d'obtenir une estimation des pertes. Dans cette section, nous donnons une explication détaillée des risques qui ont été modélisés au Canada aux fins de cette étude. L'information sur les sources de données qui ont servi à déterminer les risques paraît à la section 15 du présent rapport.

#### 3.1 Création de l'inventaire des biens et des infrastructures

AIR a inventorié tous les biens et toutes les infrastructures à risque et les valeurs de remplacement afférentes pour le Canada. Il est essentiel de bien connaître quels biens et quelles infrastructures sont exposés, car une part importante des pertes découlant d'un tremblement de terre sont attribuables aux dommages physiques subis par les biens et les infrastructures. Cet inventaire a été divisé en deux parties : l'inventaire des biens, que l'on a subdivisé en inventaire des immeubles et inventaire des automobiles; l'inventaire des infrastructures. On donne un diagramme de la structure de l'inventaire à l'illustration 16.



**Illustration 16 : Inventaire de tous les biens et de toutes les infrastructures**

Pour compiler l'inventaire des immeubles, nous avons réuni des données d'une foule de sources, notamment de l'État et de fournisseurs privés. Nous n'avons pas simplement répertorié le nombre d'immeubles, mais aussi les données sur les coûts de construction et sur les caractéristiques physiques des

immeubles, notamment le type de structure, la taille (nombre d'étages par immeuble) et la superficie. Ces données supplémentaires sont importantes car elles nous ont permis d'évaluer la vulnérabilité éventuelle des immeubles aux dommages causés par les tremblements de terre ainsi que le coût des dommages matériels.

Les principales sources de renseignements que nous avons utilisées pour établir le nombre d'immeubles sont les recensements à haute résolution et les registres commerciaux, y compris ceux de ProCan B2B que nous avons obtenus par l'entremise d'une entreprise privée (GEOGRAFX© Digital Mapping Service). Nous avons déterminé le nombre d'entreprises et leur code du Système de classification des industries de l'Amérique du Nord (SCIAN), code qui renseigne sur les types d'activités commerciales à chaque endroit, à partir de ces registres commerciaux. Pour établir le nombre de véhicules automobiles, nous avons eu recours à divers rapports, dont les sondages sur les véhicules automobiles de Ressources naturelles Canada.



**Illustration 17 : Le pont Lion's Gate, Vancouver (Dbrustad, Wikimedia Commons)**

Les données sur les infrastructures s'ajoutent aux données sur les immeubles et les automobiles. Par infrastructures, on entend généralement les réseaux physiques de base qui servent la société : routes, ponts (tels que le pont Lion's Gate à Vancouver qui paraît à l'illustration 17), eau et ainsi de suite. Pour les infrastructures, nous avons utilisé comme principale source de données les produits CanVec créés par Ressources naturelles Canada et distribués par GéoGratis. Nous avons également utilisé des données régionales, notamment les diagrammes de Cartes des aéroports canadiens de NAV CANADA et les Listes techniques et administratives des fréquences (LTAF) d'Industrie Canada.

### 3.2 Descriptions de l'affectation

Nous avons utilisé les données décrites ci-dessus pour répartir les biens et les infrastructures entre les catégories qui suivent. Pour les fins de l'analyse, les biens ont été regroupés par catégories générales suivantes : résidentiel, commercial/industriel, public, automobile et agricole. Voir le tableau 5. Les types d'infrastructures paraissent au tableau 6.

**Tableau 5 : Types de biens**

Type de bien	Catégorie générale	Description
Maison individuelle	Résidentiel	Maisons isolées habituellement occupées par une seule famille. Comprend aussi les maisons mobiles.
Maison mobile	Résidentiel	Maisons mobiles/préfabriquées
Appartement	Résidentiel/commercial*	Immeubles à plusieurs appartements.
Édifice public	Public	Édifices de l'État servant pour l'administration de la justice, pour l'ordre public, la sécurité; comprend aussi les bureaux des corps exécutifs et législatifs, de même que les bureaux généraux et les installations de l'État.
Établissement de santé	Public	Établissements reliés aux services de santé (services médicaux, chirurgicaux et autres), notamment les cliniques, les hôpitaux et les laboratoires.
Établissement d'enseignement	Public	Les établissements d'enseignement primaire et secondaire, de même que les établissements où l'on fait des études avancées ou des études techniques.
Établissement commercial	Commercial/industriel	Établissements où l'on pratique des activités commerciales autres que l'administration publique, les soins de santé ou l'éducation; comprennent la vente en gros et au détail, les services de réparations, les services professionnels, les organismes religieux, les divertissements, l'hébergement, la restauration, les bureaux d'entreprises et autres.

Type de bien	Catégorie générale	Description
Établissement industriel	Commercial/industriel	Les établissements liés aux produits industriels, y compris la fabrication, le traitement chimique, la construction, la haute technologie, l'industrie minière et d'autres.
Installation industrielle	Commercial/industriel	Installations industrielles complexes et de grande valeur qui abritent souvent beaucoup de machinerie, notamment les grands complexes manufacturiers, les raffineries, les fonderies et autres.
Automobile	Automobile	Véhicules pour particuliers et véhicules commerciaux, y compris les voitures de tourisme, les motocyclettes, les fourgonnettes et toute une gamme de camions petits et gros, y compris les semi-remorques.
Immeubles agricoles	Agriculture	Bâtiments associés à l'exploitation agricole et servant à des fins agricoles, notamment pour le grain et les animaux d'élevage.

\*Les immeubles à appartements sont classés dans la catégorie «résidentiel» ou la catégorie «commercial/industriel» selon leur taille. La valeur des grands immeubles à appartements a été ajoutée à la catégorie «commercial/industriel», tandis que la valeur des immeubles de plus petite taille a été ajoutée à la catégorie «résidentiel». La valeur des biens meubles (les effets personnels des résidents) a été incluse dans la catégorie «résidentiel».

**Tableau 6 : Types d'infrastructures**

Type d'infrastructure	Description
Route	Les autoroutes, les voies de communication, les routes locales pavées; comprend aussi les ponts et les tunnels associés aux routes.
Chemin de fer	Les voies de chemin de fer comprenant les lignes de transport de marchandises et lignes de transport de voyageurs, de même que les réseaux de transport publics; comprend aussi les ponts et les tunnels associés aux chemins de fer.
Port	Structures portuaires telles que les quais des grands ports industriels; comprend aussi les pièces d'équipement telles que les grues et les installations directement associées aux ports.
Aéroport	Le tarmac et les pistes des aéroports internationaux et des grands aéroports régionaux; comprend aussi les aérogares et les installations directement associées aux aéroports.
Réseau électrique	Lignes de transport et lignes de distribution locale du réseau électrique.
Gaz naturel	Gazoducs et réseau de distribution locale du gaz naturel.
Pétrole	Oléoducs.
Réseau d'approvisionnement en eau	Réseau de transport et de distribution locale de l'eau potable.
Réseau de communications	Tours pour téléphones cellulaires, antennes et toitures qui supportent les antennes.

### 3.3 Types de structures et hauteur des immeubles

Pour classer les immeubles selon le type de structure, nous avons eu recours aux données des recensements, aux rapports de l'État, aux études de génie, aux codes du bâtiment et à d'autres sondages. Il est important de classer les immeubles selon le type de structure car la différence entre les matériaux utilisés, la qualité et la conception ont tous un effet important sur la vulnérabilité des immeubles. Par exemple, la légèreté des matériaux et la capacité d'absorption d'énergie des charpentes en bois font que ces structures sont relativement moins susceptibles de s'effondrer lors d'un tremblement de terre que des constructions de maçonnerie non renforcée qui sont plus lourdes et moins ductiles, tous les autres facteurs étant égaux.

On donne la ventilation générale des immeubles inventoriés selon la hauteur et le type de construction aux tableaux 7 et 8. Veuillez noter que les types de structure indiqués dans ces tableaux sont regroupés selon les matériaux utilisés. L'inventaire contient davantage de détails sur les types de structure attribués aux immeubles. Par exemple, dans l'inventaire des immeubles, on précise des caractéristiques comme le type de béton utilisé, notamment mur de contreventement en béton armé (sans ossature portique) et béton préfabriqué. Nous avons pris en compte ces détails des types de structure pour calculer les dommages aux immeubles afin d'évaluer plus précisément les dommages et la valeur des pertes. On donne au tableau 7 (Colombie-Britannique) et au tableau 8 (Québec) la répartition des immeubles selon le type, la hauteur et les matériaux.

**Tableau 7 : Répartition des immeubles selon la hauteur et le type de matériaux – Colombie-Britannique**

Type de bien	Hauteur	Nombre d'immeubles	Bois	Maçonnerie	Béton	Acier	Métal léger
Maisons individuelles	1 à 3 étages	1 173 922	91 %	9 %	0 %	0 %	0 %
Appartements	1 à 3 étages	20 404	78 %	18 %	3 %	1 %	0 %
	4 à 7 étages	6 522	0 %	27 %	69 %	4 %	0 %
	> 7 étages	680	0 %	0 %	97 %	3 %	0 %
Édifices publics	1 à 3 étages	2 329	36 %	48 %	9 %	7 %	0 %
	4 à 7 étages	720	0 %	15 %	70 %	15 %	0 %
	> 7 étages	75	0 %	0 %	32 %	68 %	0 %
Établissements de santé	1 à 3 étages	3 938	37 %	46 %	10 %	7 %	0 %
	4 à 7 étages	1 418	0 %	14 %	72 %	14 %	0 %
	> 7 étages	191	0 %	0 %	21 %	79 %	0 %



Type de bien	Hauteur	Nombre d'immeubles	Bois	Maçonnerie	Béton	Acier	Métal léger
Établissements d'enseignement	1 à 3 étages	2 182	41 %	44 %	9 %	6 %	0 %
	4 à 7 étages	532	0 %	12 %	76 %	12 %	0 %
	> 7 étages	49	0 %	0 %	22 %	78 %	0 %
Établissements commerciaux*	1 à 3 étages	136 986	48 %	38 %	7 %	5 %	2 %
	4 à 7 étages	38 574	0 %	12 %	75 %	13 %	0 %
	> 7 étages	5 233	0 %	0 %	21 %	79 %	0 %
Établissements industriels	Toutes hauteurs	37 515	26 %	57 %	8 %	7 %	2 %

\*Dans ce tableau, les immeubles agricoles sont assimilés à des établissements commerciaux.

**Tableau 8 : Répartition des immeubles selon la hauteur et le type de matériaux – Québec**

Type de bien	Hauteur	Nombre d'immeubles	Bois	Maçonnerie	Béton	Acier	Métal léger
Maisons individuelles	1 à 3 étages	2 049 134	65 %	35 %	0 %	0 %	0 %
Appartements	1 à 3 étages	136 060	45 %	37 %	10 %	8 %	0 %
	4 à 7 étages	42 860	0 %	26 %	58 %	16 %	0 %
	> 7 étages	954	0 %	0 %	82 %	18 %	0 %
Édifices publics	1 à 3 étages	3 313	23 %	55 %	11 %	9 %	2 %
	4 à 7 étages	947	0 %	62 %	8 %	30 %	0 %
	> 7 étages	26	0 %	15 %	27 %	58 %	0 %
Établissements de santé	1 à 3 étages	7 035	22 %	52 %	13 %	11 %	2 %
	4 à 7 étages	2 026	0 %	64 %	7 %	29 %	0 %
	> 7 étages	46	0 %	0 %	17 %	83 %	0 %
Établissements d'enseignement	1 à 3 étages	3 263	24 %	54 %	11 %	10 %	1 %
	4 à 7 étages	827	0 %	67 %	5 %	28 %	0 %
	> 7 étages	9	0 %	0 %	22 %	78 %	0 %
Établissements commerciaux*	1 à 3 étages	203 633	33 %	47 %	9 %	8 %	3 %
	4 à 7 étages	47 560	0 %	67 %	6 %	27 %	0 %
	> 7 étages	1 015	0 %	3 %	18 %	79 %	0 %
Établissements industriels	Toutes hauteurs	53 749	16 %	61 %	7 %	12 %	4 %

\*Dans ce tableau, les immeubles agricoles sont assimilés à des établissements commerciaux.

### 3.4 Superficie des immeubles

La superficie est un facteur important dans l'évaluation des immeubles. En effet, la superficie est essentielle pour déterminer la taille relative des immeubles. Nous avons combiné les renseignements tirés des recensements aux données des sondages sur l'énergie de Ressources naturelles Canada pour déterminer la superficie en mètres carrés des immeubles résidentiels.

Dans le cas des immeubles commerciaux/industriels et des bâtiments agricoles, nous n'avons pas obtenu d'estimation explicite de la superficie. Nous avons donc fait une estimation de la superficie en nous basant sur les données tirées des sondages sur l'énergie relativement à la taille typique des entreprises par types d'activités et sur les données tirées des registres commerciaux qui donnent entre autre le nombre d'entreprises et le nombre d'employés par secteur d'activité.

Nous donnons au tableau 9 un exemple du type de données disponibles pour la superficie. Ces données ont servi à établir les estimations de la superficie des maisons individuelles. La superficie varie selon le type d'immeuble et la région géographique.

**Tableau 9 : Superficie des immeubles résidentiels**

Superficie (en m <sup>2</sup> )	Pourcentage des immeubles
56 ou moins	8 %
56 à 93	27 %
93 à 139	33 %
139 à 186	17 %
186 à 232	8 %
232 ou plus	7 %

### 3.5 Valeur selon l'affectation et le type d'assurance

La valeur de remplacement représente ce qu'il en coûterait de rebâtir une structure si elle était endommagée et devait être remplacée. La valeur de remplacement ne comprend pas la valeur du terrain sur lequel l'immeuble est construit. On calcule la valeur de remplacement des immeubles en multipliant l'estimation de la superficie par le coût de construction qui est généralement exprimé sous forme de coût unitaire par mètre carré. Ce coût varie en fonction de l'affectation de l'immeuble, du type de construction, de la hauteur et de l'endroit. La variation du coût selon l'endroit est attribuable aux différences régionales dans le coût de la main-d'œuvre et des matériaux.

AIR a obtenu des estimations de coût de construction de Xactware® pour déterminer la valeur des immeubles inventoriés. Ces estimations ont été produites à l'aide du produit 360Value de Xactware qui donne des estimations de la valeur de remplacement en fonction des composants et qui tient compte

de tous les matériaux et de la main-d'œuvre nécessaires pour reconstruire une structure particulière.

D'autres sources ont aussi servi pour l'évaluation des immeubles commerciaux/industriels, publics et agricoles. Nous avons tiré les coûts de construction de sources telles que les guides de coût de construction et de rapports publiés par des entreprises telles que Altus Group et BTY Group. Ces rapports donnent une vue d'ensemble du marché de la construction et des coûts à travers le Canada.

En plus de la valeur des immeubles, l'inventaire des immeubles comprend aussi des estimations de la valeur des dépendances, des biens meubles et des pertes d'exploitation directes (frais de subsistance supplémentaires (FSS) pour les immeubles résidentiels, PE pour les immeubles commerciaux/industriels, publics et agricoles). Dans le cas des immeubles résidentiels, la valeur des biens meubles représente entre autres les effets personnels, tandis que pour les immeubles commerciaux, elle représente la valeur des équipements fixes, des accessoires et de l'inventaire. La valeur des biens meubles est déterminée selon un pourcentage de la valeur de remplacement de l'immeuble et ce pourcentage varie selon le type d'affectation de l'immeuble.

Les dépendances sont des structures qui ne sont pas attachées physiquement à l'immeuble principal, notamment les garages, les remises et autres structures. La plupart des contrats d'assurance de biens, notamment les polices d'assurance des propriétaires, couvrent normalement les dépendances.

Les FSS contribuent à payer pour les frais que les titulaires de police engagent en plus de leurs frais de subsistance lorsqu'un sinistre rend leur résidence inhabitable. Cela peut couvrir le coût d'une chambre d'hôtel, la nourriture et d'autres frais. Dans le cas des immeubles commerciaux/industriels, publics et agricoles, les PE sont les frais attribuables à la perte de revenu net, les frais de déménagement temporaire ainsi que les autres frais permanents tels que les salaires. Pour les immeubles commerciaux/industriels, publics et agricoles, la partie « biens meubles » et « pertes d'exploitation » varie selon le type d'affectation. Nous avons calculé les pourcentages du risque associés aux FSS et aux pertes d'exploitation selon une proportion du montant combiné de la valeur des immeubles et de la valeur de remplacement des biens meubles.

Nous avons évalué la valeur des véhicules automobiles en prenant les valeurs marchandes estimatives des véhicules et les données des comptes nationaux des Statistique Canada. La valeur des véhicules automobiles diminue à mesure que les véhicules en question prennent de l'âge. Nous avons utilisé la répartition selon l'âge pour établir la valeur dépréciée des véhicules particuliers et, ainsi, la valeur actuelle du parc de véhicules particuliers. Statistique Canada a donné une estimation de la valeur des véhicules commerciaux dans la partie stocks de capital des comptes nationaux. Les comptes comportent une estimation courante de la valeur dépréciée des véhicules commerciaux.

Les coûts qui ont servi à évaluer les divers types d'infrastructure sont basés sur les données tirées de rapports publiés et de données provinciales; les données ont été comparées aux comptes nationaux où l'on fournit les stocks de capital par province et par type de stocks, notamment pipelines, ponts, ponts à chevalets, passage supérieurs et divers types de routes.

Pour établir la valeur de chacun des types d'infrastructure énumérés au tableau 6, nous avons multiplié les coûts unitaires par la taille des structures (notamment la superficie et/ou la longueur) selon le genre d'infrastructure. Par exemple, le coût par kilomètre de voie d'une route a été multiplié par la longueur et par le nombre de voies de la route en question afin d'en établir la valeur. Le coût unitaire varie selon les particularités de la route, notamment s'il s'agit d'une autoroute, d'une voie de communication ou d'une route locale. Les coûts unitaires pour les ponts et les tunnels routiers sont beaucoup plus élevés.

Nous avons utilisé un processus similaire pour les voies ferrées, les pipelines, les gazoducs, les conduites d'eau, les lignes de transport de l'électricité; dans ce cas, les coûts unitaires sont établis par kilomètre et ils varient selon le type d'infrastructures tels que précisé à la colonne des descriptions au tableau 6.

Les estimations de coût pour les infrastructures de télécommunication sont établies en fonction du coût de chaque tour et de chaque antenne pour l'endroit visé. Pour les antennes érigées sur un immeuble sans bâtir de tour, nous avons attribué un coût à chaque support et à chaque antenne de l'immeuble.

Dans le cas des aéroports, nous avons calculé la superficie totale des pistes en utilisant les cartes des aires de trafic du manuel du CAC. Le coût des aéroports a été évalué séparément et ajoutés au coût total des aéroports. La valeur des aéroports ne comprend pas la valeur des entreprises dont il est déjà tenu compte dans l'inventaire de biens, notamment les vendeurs situés à l'intérieur des aéroports.

Nous avons suivi un processus similaire pour l'évaluation des grands ports, en nous servant des cartes des ports et d'images aériennes afin de déterminer la superficie couverte par les ports. Le coût des ports comprend la valeur des structures portuaires, notamment les quais, et de l'équipement et des installations directement reliées aux ports, par exemple les grues.

Après avoir établi la valeur de remplacement des biens et des infrastructures, nous l'avons comparée aux données de l'industrie de l'assurance et à l'information sur les immobilisations et autres variables économiques. Les tableaux 10 à 13 donnent une représentation sommaire des valeurs de remplacement selon le type d'affectation pour la Colombie-Britannique et le Québec.

**Tableau 10 : Valeurs de tous les biens en Colombie-Britannique\***

Type de bien	Valeur de l'immeuble ou de la structure	Valeur des dépendances	Valeur des biens meubles	Frais de subsistance supplémentaires/PE
Résidentiel	437 533	27 651	327 007	437,533
Commercial/industriel	420 400	-	223 843	420,400
Automobiles	48 262	-	-	48,262
Agricole	5 548	-	1 585	5,548
Public	20 642	-	9 672	20,642

\* Ne comprend pas la valeur du terrain

\*Tous les montants sont indiqués en millions

Tableau 11 : Valeurs de tous les biens au Québec\*

Type de bien	Valeur de l'immeuble ou de la structure	Valeur des dépendances	Valeur des biens meubles	Frais de subsistance supplémentaires/PE
Résidentiel	559 290	28 026	435 780	118 387
Commercial/industriel	781 397	-	436 432	294 121
Automobiles	81 867	-	-	-
Agricole	13 351	-	3 814	1 907
Public	35 497	-	17 000	13 123

\* Ne comprend pas la valeur du terrain

\*Tous les montants sont indiqués en millions

Tableau 12 : Valeurs de toutes les infrastructures en Colombie-Britannique

Type d'infrastructure	Valeur
Routes	172 836
Voies ferrées	22 048
Ports	4 456
Aéroports	6 475
Réseau électrique	13 955
Gaz naturel	70 052
Pétrole	8 772
Réseau d'approvisionnement en eau	15 786
Réseau de communications	117

Tous les montants sont indiqués en millions

Tableau 13 : Valeurs de toutes les infrastructures au Québec

Type d'infrastructure	Valeur
Routes	246 865
Voies ferrées	16 596
Ports	3 870
Aéroports	9 124
Réseau électrique	28 080
Gaz naturel	13 449
Pétrole	1 558
Réseau d'approvisionnement en eau	46 491
Réseau de communications	186

Tous les montants sont indiqués en millions

### 3.6 Dispositions des contrats d'assurance et pénétration du marché

Nous avons incorporé dans l'inventaire des biens des données sur les dispositions standard des contrats d'assurance, notamment le montant des plafonds et des franchises. Le plafond est le montant maximum que l'assureur paie pour une perte tandis que la franchise est le montant que l'assuré doit payer avant que l'assurance entre en jeu. Nous avons examiné un large éventail de données de contrats d'assurance, données qui varient selon la région et le type d'affectation, afin de recueillir les données sur les dispositions contractuelles. Nous avons obtenu des données d'assureurs locaux, de réassureurs et de courtiers à l'égard d'une vaste gamme de types de biens et de situations géographiques, notamment des données globales et par région pour les biens résidentiels, commerciaux, industriels, agricoles et automobiles. Au total, ces sources représentent plus de 70 % du marché canadien de l'assurance. Les recherches effectuées par des tiers, par exemple les rapports récents de AXCO Insurance Information Services, ont contribué une vue d'ensemble de l'industrie, y compris des données à jour et de l'information sur les tendances du marché.

Après les dispositions contractuelles, les taux de pénétration du marché jouent un rôle important dans l'évaluation des conséquences d'une importante catastrophe sur l'industrie de l'assurance. Les taux de pénétration permettent de déterminer la valeur des biens assurés par rapport à la valeur de tous les biens. Par exemple, un taux de pénétration de 50 % indiquerait que seulement la moitié de la valeur de tous les biens est assurée. Nous avons dérivé les taux de pénétration de l'assurance pour tremblement de terre au Canada des données sur les contrats d'assurance que nous avons mentionnées plus tôt. Les taux de pénétration du marché varient selon le risque et l'affectation; ils sont généralement plus élevés dans les régions où les risques de tremblement de terre sont plus élevés comme c'est le cas pour la Colombie-Britannique. En règle générale, les taux de pénétration sont plus élevés pour les immeubles commerciaux et industriels que pour les immeubles résidentiels. Dans les tableaux qui suivent, nous donnons les dispositions contractuelles et les taux de pénétration utilisés pour la Colombie-Britannique et le Québec aux fins du présent rapport selon les catégories générales de biens. Au tableau 14, on donne les franchises et les plafonds selon le type de biens; au tableau 15, on donne les taux de pénétration du marché et les valeurs assurées correspondantes. Pour déterminer les valeurs assurées, nous avons d'abord appliqué le plafond, puis le taux de pénétration du marché pour un type de biens et un endroit déterminés. Le résultat est la valeur assurée indiquée au tableau 15.



Tableau 14 : Dispositions contractuelles

Type de bien	Emplacement	Franchise*	Plafond**
Résidentiel	<i>Colombie-Britannique</i>		
	Grand-Vancouver	10 %	100 %
	Grand Victoria	8 %	100 %
	Reste de la Colombie-Britannique	8 %	100 %
	<i>Québec</i>		
	Grand-Montréal	5 %	100 %
	Grande région de Québec	5 %	100 %
	Reste du Québec	5 %	100 %
Commercial/ industriel	<i>Colombie-Britannique</i>		
	Grand-Vancouver	10 %	80 %
	Grand Victoria	7,5 %	80 %
	Reste de la Colombie-Britannique	7,5 %	80 %
	<i>Québec</i>		
	Grand-Montréal	5 %	80 %
	Grande région de Québec	5 %	80 %
	Reste du Québec	5 %	80 %
Agricole	<i>Colombie-Britannique</i>		
	Grand-Vancouver	10 %	80 %
	Grand Victoria	7,5 %	80 %
	Reste de la Colombie-Britannique	7,5 %	80 %
	<i>Québec</i>		
	Grand-Montréal	5 %	80 %
	Grande région de Québec	5 %	80 %
	Reste du Québec	5 %	80 %
Automobile	Tous les endroits	500 CAD	100 %

\*La franchise est la partie des dommages que le titulaire de police accepte de payer de sa propre poche avant que la compagnie d'assurance assume sa part du sinistre. Selon le contrat, la franchise peut représenter soit un montant fixe, soit un pourcentage de la valeur totale.

\*\*Le plafond est le montant maximum que l'assureur payera en une période donnée ou pour toute la durée du contrat. Selon le contrat, le plafond peut représenter soit un montant fixe, soit un pourcentage de la valeur totale. À noter que le plafond de 80 % dans les cas des biens commerciaux et agricoles ne s'applique pas aux PE ni aux grands immeubles à appartements. Le plafond reste de 100 % pour les PE et les grands immeubles à appartements.

Tableau 15 : Taux de pénétration du marché par province et par catégorie générale de biens

Type de bien	Emplacement	Valeur totale	Taux de pénétration*	Valeur assurée***
Résidentiel	<i>Colombie-Britannique</i>			
	Grand-Vancouver	394 963	55 %	217 229
	Grand Victoria	69 611	70 %	48 728
	Reste de la Colombie-Britannique	418 070	40 %	167 228
	<i>Québec</i>			
	Grand-Montréal	488 065	5 %	24 403
	Grande région de Québec	140 663	2 %	2 813
	Reste du Québec	512 755	2 %	10 255
	<b>Total pour le Canada</b>	<b>5 763 131</b>	<b>*</b>	<b>551 384</b>
Commercial/industriel	<i>Colombie-Britannique</i>			
	Grand-Vancouver	453 345	85 %	330 942
	Grand Victoria	61 414	85 %	44 772
	Reste de la Colombie-Britannique	285 382	85 %	205 421
	<i>Québec</i>			
	Grand-Montréal	815 601	60 %	420 391
	Grande région de Québec	175 297	60 %	90 022
	Reste du Québec	521 052	60 %	267 028
	<b>Total pour le Canada</b>	<b>6 361 275</b>	<b>*</b>	<b>3 266 503</b>
Automobile**	<i>Colombie-Britannique</i>			
	Grand-Vancouver	20 326	100 %	20 326
	Grand Victoria	3 776	100 %	3 776
	Reste de la Colombie-Britannique	24 159	100 %	24 159
	<i>Québec</i>			
	Grand-Montréal	35 869	100 %	35 869
	Grande région de Québec	10 006	100 %	10 006
	Reste du Québec	35 991	100 %	35 991
	<b>Total pour le Canada</b>	<b>364 574</b>	<b>100 %</b>	<b>364 574</b>

Type de bien	Emplacement	Valeur totale	Taux de pénétration*	Valeur assurée***
Agricole	<i>Colombie-Britannique</i>			
	Grand-Vancouver	2 581	85 %	1 799
	Grande région de Victoria	121	85 %	84
	Reste de la Colombie-Britannique	5 223	85 %	3 641
	<i>Québec</i>			
	Grand-Montréal	4 372	60 %	2 151
	Grande région de Québec	3 435	60 %	1 690
	Reste du Québec	11 265	60 %	5 545
	<b>Total pour le Canada</b>	<b>111 949</b>	<b>*</b>	<b>50 576</b>

Tous les montants sont indiqués en millions

\*Les taux de pénétration permettent de déterminer la valeur des biens assurés par rapport à la valeur de tous les biens et varient selon la région et le type de biens.

\*\*On présume que le taux de pénétration de l'assurance pour tremblement de terre est de 100 % en assurance automobile. Bien qu'un faible pourcentage de véhicules ne soient pas assurés, il s'agit généralement de véhicules de peu de valeur qui ne représentent pas une part importante de la valeur totale du parc d'automobiles.

À noter que la valeur des biens publics n'est pas comprise dans le tableau ci-dessus, mais on peut la trouver aux tableaux 10 et 11, qui donnent la valeur de tous les biens. On ne fait pas de distinction entre la valeur de tous les biens et la valeur des biens assurés parce qu'il n'a pas été possible de déterminer le taux de pénétration à partir des données disponibles.

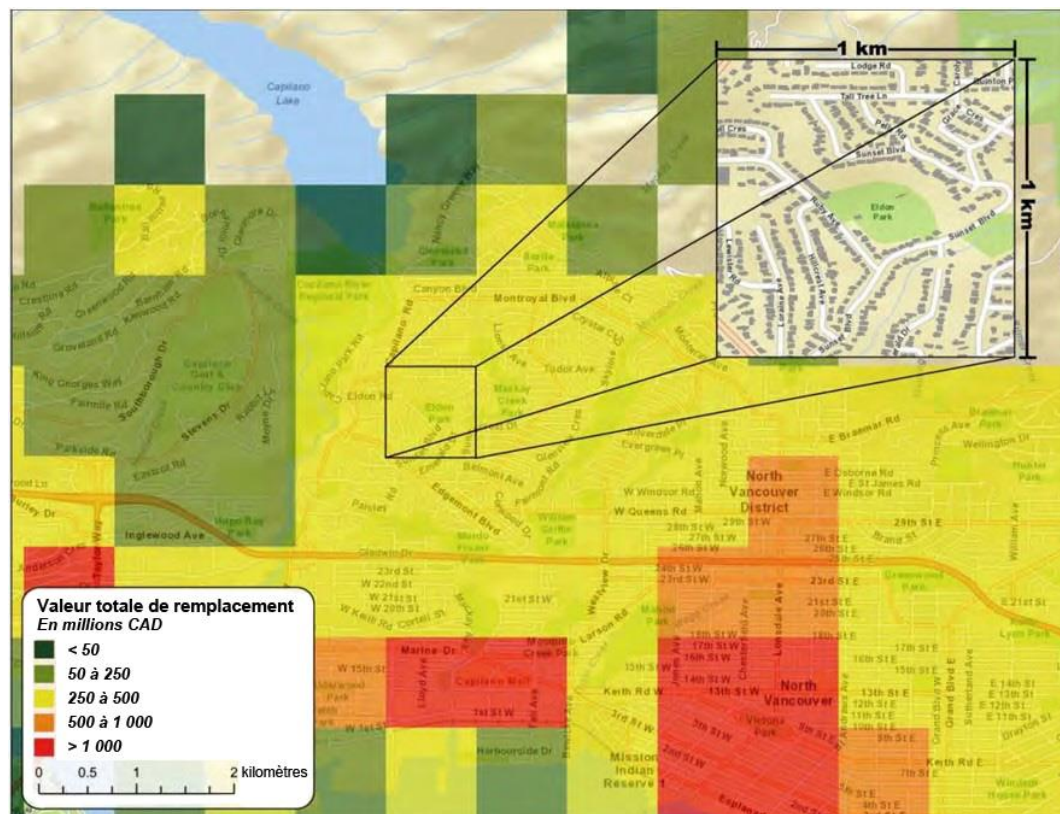
### 3.7 Résolution pour l'inventaire des immeubles et des infrastructures

L'ensemble de l'inventaire des immeubles et des infrastructures a été établi selon une grille de 1 km<sup>2</sup> de résolution<sup>4</sup>. Lors de la création de l'inventaire des immeubles, nous avons regroupé les sites individuels à une résolution de 1 km<sup>2</sup> pour obtenir des totaux au niveau de la grille. Dans les secteurs où l'information était disponible à une résolution inférieure à 1 km<sup>2</sup>, nous avons modélisé l'inventaire des immeubles et des infrastructures selon une grille de 1 km<sup>2</sup> en nous servant d'informations accessoires telles que les jeux de données à haute résolution sur l'utilisation des sols, les superficies imperméables, les pentes, les élévations, les données régionales et les réseaux routiers.

À l'illustration 18, nous donnons une représentation de la valeur totale des biens de l'inventaire pour une

<sup>4</sup> Il s'agit en fait d'une estimation. La taille des cellules dans la grille du modèle est en fait de 1/120° x 1/120°, ce qui signifie que les dimensions de chaque cellule varient selon la latitude. Par exemple, à 45 degrés de latitude, chaque cellule du modèle a une superficie de 0,93 km de largeur (dans le sens de la latitude) par 0,66 km de hauteur (dans le sens de la longitude), ce qui donne une superficie de 0,61 km<sup>2</sup>.

section de 1 km<sup>2</sup> d'une petite partie de North Vancouver en Colombie-Britannique. La partie en gros plan mise en évidence donne le contour des immeubles dans un secteur de 1 km<sup>2</sup>. En additionnant la valeur des immeubles dans ce segment de 1 km<sup>2</sup>, on obtient la valeur totale pour le segment. Dans ce cas-ci, cette valeur est représentée par la couleur jaune dans la légende.



**Illustration 18 : Exemple de cellule de 1 km<sup>2</sup> utilisée dans la modélisation des immeubles et des infrastructures de l'inventaire**

## 4 Choix des scénarios

Les scénarios de séismes décrits dans les sections 6 et 7 du présent rapport ont été choisis par AIR conformément à deux critères établis par le BAC :

- Chaque scénario de séisme devrait illustrer une période de récurrence (c'est-à-dire un intervalle de temps écoulé depuis un événement comparable) d'environ 500 ans;
- L'estimation des sinistres entiers pour chaque scénario de tremblement de terre devrait démontrer un intervalle de récurrence de 500 ans (0,2 % de probabilité de dépassement) dans la région touchée

Dans le but d'identifier les scénarios qui répondent à ces critères, AIR a mené une analyse probabiliste complète de l'aléa sismique et des sinistres à l'aide d'une version à jour du Modèle AIR des séismes au Canada. Plus précisément, AIR a tout d'abord créé un ensemble de séismes simulés sur une période de 100 000 ans au Canada<sup>5</sup>. AIR a ensuite examiné les empreintes des événements de mouvement du sol pour l'ensemble créé pour ce scénario, de même que les corrélations entre ces empreintes et les incertitudes concernant l'estimation du mouvement du sol, pour s'assurer que les tremblements de terre simulés infligeaient une secousse tellurique réaliste. Les estimations de sinistres entiers ont été utilisées en sus d'autres considérations physiques afin d'obtenir une sélection de scénario plus stable. (Les conditions du contrat et les taux de pénétration de l'assurance n'influent pas sur les sinistres entiers, ce qui peut changer avec le temps.) En dernier lieu, AIR a choisi deux scénarios à partir de cet ensemble qui répondent aux critères du BAC susmentionnés. Les renseignements détaillés sur ce processus sont décrits dans la section qui suit.

### Création d'un ensemble de scénarios de séismes

AIR a créé un ensemble réaliste, rigoureusement scientifique, réaliste et stochastique d'événements de tremblement de terre (appelé *catalogue stochastique*), sur une période de 100 000 ans, à l'aide de diverses techniques pour les régions du Canada ayant différentes sismicités. Ces régions, ou *zones sismiques*, sont définies en fonction des données historiques sur les séismes obtenues de la CGC et de la United States Geological Survey (USGS)<sup>6</sup>. La sismicité de chaque zone est saisie à l'aide de différents facteurs, comme la fréquence des séismes d'une magnitude donnée qui surviennent dans la zone (que l'on appelle la *répartition de la magnitude et de la fréquence* de la zone), la profondeur du tremblement de terre, l'emplacement et les mécanismes de rupture des failles dans la zone.

<sup>5</sup> Bien que la société AIR a utilisé plusieurs sources de données pour la création de cet ensemble de scénarios de séismes sur une période de 100 000 ans, les données clés ont été obtenues à partir d'un catalogue de données historiques de séismes compilées par la Commission géologique du Canada (CGC), que la CGC a fourni à AIR en 2012.

<sup>6</sup> AIR a mené des études internes approfondies pour évaluer l'impact des différences entre les paramètres de sismicité et l'approche de modélisation des tremblements de terre utilisée par la CGC (par ex., une approche par recoupement) et par la USGS (une approche de sismicité lissée) pour les zones sismiques du Canada situées près de la frontière Canada-États-Unis. AIR a pu créer, en fonction des résultats obtenus, des modèles de sismicité pour chaque zone qui sont conformes à l'approche de CGC, de même qu'à l'approche de l'USGS.

Les valeurs historiques des paramètres sélectionnés - comme la profondeur et l'emplacement du séisme - sont aléatoires pour tenir compte de l'incertitude avant d'être utilisés pour créer les valeurs correspondantes pour les événements de tremblement de terre stochastiques.

Il convient de noter toutefois que, pour l'Ouest canadien, qui est une région plus active que le reste du pays en ce qui a trait à la sismicité, un modèle cinématique - qui tient compte des modèles de mouvement de la croûte terrestre qui produisent une déformation des roches - a été utilisé en guise de complément à la sismicité évaluée à l'aide des zones sources.

De plus, parce que la sismicité de l'Est du Canada est relativement faible, un catalogue stochastique de 100 000 ans peut ne pas saisir la gamme complète de séismes qui est scientifiquement faisable pour la région. Cela s'avère particulièrement vrai pour les événements de grande magnitude. Pour régler cette question, AIR a tout d'abord créé un catalogue stochastique de 1 000 000 ans pour évaluer l'effet du lieu des tremblements de terre et d'autres caractéristiques sur les sinistres régionaux. En examinant la courbe de probabilité de dépassement (PD) des événements compris dans ce catalogue de 1 000 000 ans, AIR a pu produire un catalogue stochastique qui saisit approximativement la probabilité de tremblements de terre de magnitude importante dans l'Est du Canada.

### ***Modélisation de mouvement de sol aux fins de l'ensemble choisi pour le scénario***

Une composante essentielle de l'analyse de probabilité des aléas sismiques et des sinistres dans la sélection de scénarios de séisme est le calcul du mouvement de sol (et ses incertitudes connexes) pour le choix de l'ensemble choisi pour le scénario. Pour atteindre ce but, AIR a utilisé des équations de prédiction du mouvement du sol (GMPE) empiriques qui donnent le niveau de secousse tellurique à un site particulier en fonction de nombreuses caractéristique du tremblement de terre (comme sa magnitude et sa profondeur) et les caractéristiques du sol même (comme les conditions du sol). Pour ce projet, la série la plus à jour de GMPE a été utilisée pour estimer le mouvement de sol des tremblements de terre produits par tous les cadres tectoniques au Canada — y compris les marges continentales actives, les régions continentales stables et les zones de subduction — permettant à AIR de tenir compte des caractéristiques de mouvement de sol de leur surface unique.



Il convient de noter que la méthode d'analyse des probabilités de sinistres utilisée par AIR dans le processus de sélection de scénario compte pour une incertitude dans le calcul des mouvements de sol. Alors qu'une partie de l'incertitude est aléatoire et peut être corrigée dans la composante de l'estimation des dommages du modèle<sup>7</sup>, d'autres sources d'incertitude sont plus préoccupantes car elles peuvent faire en sorte que le mouvement de sol calculé pour un scénario soit artificiellement élevé ou faible (ce qui fait qu'un scénario peut paraître incorrectement plus ou moins dommageable) en raison des corrélations factices du mouvement de sol dans une région. Pour corriger ces corrélations, AIR a dû mettre en place une nouvelle méthodologie fondée sur l'analyse de l'impact des mouvements de sol de certains scénarios sur les portefeuilles d'assurance.

### ***Sélection de deux scénarios finaux à partir de l'ensemble choisi aux fins d'analyse plus approfondie***

Après que le catalogue stochastique de tremblements de terre simulés pour le Canada pour une période de 100 000 ans a été finalisé, et que les mouvements de sol de ces événements simulés ont été modélisés, des analyses régionales de sinistres ont été menées. Les résultats de ces analyses ont servi à ériger les courbes de probabilité de dépassement pour la région formée du Québec et de l'Ontario et la région de la Colombie-Britannique. En premier lieu, nous avons identifié les événements du catalogue stochastique dont les pertes estimées ont démontré une probabilité de dépassement de 0,2 % (intervalle de récurrence de 500 ans). Par la suite, nous avons pris en considération les renseignements sur la sismicité de chaque événement, afin d'identifier les tremblements de terre simulés dont l'intervalle de récurrence est d'environ 500 ans. Les deux événements décrits dans le présent rapport — le scénario de la croûte terrestre de Charlevoix et le scénario de la zone de subduction de Cascadia dans l'Ouest — satisfont au mieux ces critères.

---

<sup>7</sup> Des renseignements sur la composante estimation des dommages du modèle se trouvent dans la Section 13.4.

## 5 Analyse des scénarios

Les sections 6 et 7 du présent rapport contiennent des descriptions détaillées de l'impact du scénario de séisme dans chaque région. Elles comprennent également des estimations des pertes économiques et des sinistres assurés dans chacune des sous-catégories suivantes :

- secousse tellurique/secousse sismique
- incendie consécutif et conflagration possible
- inondation (tsunami)
- liquéfaction
- glissements de terrain

Les types de pertes économiques comprises dans la présente analyse sont :

- dommages directs aux édifices et perte de biens meubles
- pertes économiques indirectes résultant des dommages aux édifices et à la perte de biens meubles
- pertes directes et indirectes résultant de dommages à l'infrastructure publique

Les types de coûts assurés compris sont :

- pertes assurées visant les édifices commerciaux et résidentiels
- pertes assurées visant les automobiles
- pertes assurées visant l'infrastructure
- pertes indirectes assurées résultant des dommages aux édifices et à la perte de biens meubles
- pertes assurées indirectes résultant de dommages à l'infrastructure publique

Les cartes qui accompagnent les analyses qui suivent illustrent l'intensité du mouvement de sol pour chaque scénario, mesurée en fonction de l'accélération maximale du sol et par une échelle de mesure appelée échelle de Mercalli modifiée (MM). Au fil des ans, divers paramètres ont été utilisés pour décrire ou mesurer la gravité du mouvement de sol d'un tremblement de terre. L'accélération maximale du sol est l'augmentation la plus grande de la vitesse du sol enregistrée par une station sismique particulière durant un séisme, c'est-à-dire la secousse la plus puissante subie à chaque endroit. C'est une mesure objective d'un aspect d'un tremblement de terre effectuée au moyen d'instruments scientifiques.

Avant l'utilisation d'instruments modernes, le MM était plus communément utilisé pour décrire la gravité de la secousse tellurique d'un tremblement de terre en fonction d'observations humaines. Le MM est une mesure descriptive subjective de l'intensité sismique sur une échelle de I à XII de faible à élevée. Au Canada et aux États-Unis, le MM est encore utilisé pour représenter l'intensité sismique observée par des gens qui vivent un tremblement de terre. Le tableau 16 donne une description abrégée d'exemples typiques sur la façon dont chaque MM est ressenti.

**Tableau 16 : Une description abrégée de l'échelle de Mercalli modifiée**

MM	Description
I	N'est pas ressenti, sauf par quelques personnes dans des conditions favorables.
II	N'est ressenti que par quelques personnes au repos, plus particulièrement sur les étages supérieurs des édifices.
III	Ressenti de manière plus notable par des personnes à l'intérieur, plus particulièrement sur les étages supérieurs des édifices. Bon nombre de personnes ne reconnaissent pas qu'il s'agit d'un tremblement de terre. Les véhicules à moteur à l'arrêt peuvent osciller légèrement. Vibrations semblables à celle d'un camion lourd passant tout près. Durée estimée.
IV	Ressenti par plusieurs personnes, à l'extérieur par quelques-unes durant la journée. Peut éveiller certaines personnes la nuit. La vaisselle, les fenêtres, les portes vibrent; les murs font des bruits de craquement. Sensation qu'un camion lourd frappe l'édifice. Les voitures en stationnement oscillent sensiblement.
V	Ressenti par presque tout le monde; plusieurs se réveillent. Vaisselle et quelques fenêtres brisées. Objets instables renversés. Les horloges à pendule peuvent cesser de fonctionner.
VI	Ressenti par tous, plusieurs sont effrayés. Certains meubles lourds sont déplacés; dans certains cas, plâtre endommagé. Légers dommages.
VII	Dommages négligeables aux édifices de bonne conception et construction solide; dommages légers à modérés aux structures ordinaires bien construites; dommages considérables aux structures mal construites ou mal conçues; certaines cheminées sont brisées.
VIII	Légers dommages aux structures spécialement conçues; dommages considérables aux édifices ordinaires et effondrements partiels. Dommages considérables aux structures mal construites. Chute de cheminées, objets empilés dans les usines, colonnes, monuments, murs. Meubles lourds renversés.
IX	Dommages considérables aux structures spécialement conçues; ruptures de tuyauterie dans les structures bien conçues. Dommages importants dans les gros édifices, effondrement partiel. Immeubles détachés de leurs fondations.
X	Certaines structures en bois bien construites sont détruites; la plupart des structures de maçonnerie sont détruites, de même que leurs fondations. Chemins de fer tordus.
XI	Quelques structures, dont certaines en maçonnerie, sont toujours en place. Ponts détruits. Chemins de fer largement tordus.
XII	Destruction totale. Les lignes visuelles et de nivellement sont faussées. Les objets sont propulsés.

Le mouvement de sol MM est déterminé en fonction de rapports semi-quantitatifs de personnes qui ont ressenti le tremblement de terre ou du degré de dommages aux édifices observés dans les régions touchées par le tremblement de terre.

L'assignation d'une intensité sismique à un endroit donné en fonction des descriptions des dommages repose sur le jugement subjectif de l'observateur, mais il est souvent très utile pour aider à comprendre la nature du mouvement de sol vécu lors d'un tremblement de terre.



**Illustration 19 : Chute d'armoire et d'accessoires fixes représentant des dommages à une habitation d'intensité VI à l'échelle de MM, au Chili en 2010.**

L'échelle de MM va d'une intensité I, pour laquelle le mouvement de sol n'est à peu près pas perçu par les humains, à une intensité XII, alors que les édifices sont habituellement effondrés. L'illustration 19 démontre des dommages mineurs occasionnés par le tremblement d'une intensité VI à l'échelle MM, subis dans une maison lors du tremblement de terre de 2010 au Chili. L'échelle de MM n'est pas utilisée dans le Modèle AIR des séismes pour calculer les pertes, mais nous l'avons utilisée pour les descriptions narratives du présent rapport et pour présenter des cartes qui illustrent l'impact des événements d'une manière plus « intuitive ».

## 5.1 Considérations spéciales pour la modélisation

### *Incendie post-sismique*

Pour évaluer le potentiel d'un incendie consécutif à un tremblement de terre (post-sismique) donné, il faut prendre en considération les conditions environnementales et de comportement du feu. Notre modèle d'incendie post-sismique tient compte de cette incertitude en allouant une variante pour chaque composante : endroit et nombre d'ignitions, vitesse du vent, l'extinction, et la gravité de l'incendie.

Notre modèle simule le comportement d'un incendie post-sismique 50 fois pour chaque tremblement de terre, et chacune des 50 simulations représente un résultat possible du modèle et une vision du risque d'incendie consécutif à un tremblement de terre. La moyenne de ces 50 simulations constitue l'aperçu final du risque d'incendie post-sismique pour un événement donné. La moyenne des simulations de 50 incendies post-sismiques met en lumière les régions qui sont le plus à risque d'incendies consécutifs à un séisme tout en démontrant qu'une grande région entourant les endroits les plus à risque de pertes occasionnées par certains incendies post-sismiques.

En plus de fournir un aperçu de la moyenne de risque d'incendie post-sismique, nous analysons les résultats de chacune des 50 simulations et choisissons une simulation dont la perte est le plus près de la perte moyenne des 50 simulations. La simulation retenue donne un aperçu de l'empreinte de perte pour un seul scénario d'incendie post-sismique. Un scénario d'incendie post-sismique tend à avoir plus de zones isolées et intenses de pertes lorsqu'on le compare à l'empreinte des dommages de la moyenne qui a une étendue faible et des pertes modérées.

### *Particularité de la marée de fond lorsque survient un tsunami*

Un tsunami peut survenir en tout temps de la journée et, par conséquent, peut survenir durant n'importe quelle partie du cycle de marée à un endroit donné. La condition de la marée de fond influence grandement la gravité d'une inondation donnée, plus particulièrement dans les régions qui ont une grande fluctuation d'ondes de marée de fond, tout comme un ouragan ou autre phénomène météorologique. Étant donné que la région de la Colombie-Britannique connaît des fluctuations de marée de plusieurs mètres, il convient donc de prendre en considération la marée de fond dans les simulations d'événements de tsunami.

Pour étudier l'influence de la marée dans ce scénario, trois simulations distinctes ont été menées. La première consistait en une marée de zéro hauteur, ce qui est conforme à l'événement de tsunami qui survient au moment où la marée est près de la moyenne. Étant donné le profil des marées, il est plus probable que la marée sera près de la hauteur neutre que d'un niveau bas ou élevé durant un événement de tsunami. Les deuxième et troisième simulations consistent en une marée qui est à son plus haut niveau ou à son plus bas niveau pour la région de Vancouver.

De cette manière, nous avons tenu compte de l'éventail des pertes dues à diverses conditions de marée.



### **Sources de pertes non modélisées**

Les estimations de pertes du scénario tiennent compte des dommages aux biens résidentiels et commerciaux, y compris les bâtiments, les dépendances, les annexes, les biens meubles, les frais de subsistance supplémentaires et les pertes d'exploitation directes. Les pertes touchant l'infrastructure sont également incluses, mais pas les biens meubles. Les estimations des dommages économiques comprennent également les pertes d'exploitation indirectes.

Les pertes incluses dans le présent rapport excluent les pertes potentielles de plusieurs sources. Bien que la liste ne soit pas complète, les principales sources de pertes non modélisées sont :

- les pertes attribuables à la défaillance d'une levée ou d'un barrage (voir la discussion ci-dessous);
- les frais de règlement de sinistres;
- les frais de déblaiement;
- l'enlèvement de déchets dangereux;
- les pertes associées à l'inflation ou à la déflation attribuable à des pressions politiques;
- les réclamations aux termes de contrats d'assurance responsabilité des particuliers ou des entreprises;
- les frais médicaux d'autrui;
- les obligations contractuelles supplémentaires;
- l'émission de polluants, contaminants ou agents biologiques;
- les grèves, émeutes ou mouvements populaires;
- la contamination radioactive, la réaction nucléaire ou les radiations;
- toute responsabilité en vertu d'un contrat, de l'application d'une loi, au autrement de la participation, que ce soit volontairement ou non, dans un fonds d'insolvabilité;
- les dommages aux récoltes en cours de croissance ou aux cultures sur pied;
- l'assurance-crédit ou de garantie financière (les contrats d'assurance ou de réassurance garantissant le remboursement d'une dette ou du crédit financier, ou le coût de reprise de possession);
- la moisissure;

- la navigation intérieure commerciale, l'assurance maritime, la navigation de plaisance et les embarcations de plaisance;
- la partie de toute perte ou cotisation de marchés de réversion de l'immeuble, y compris les groupements de sinistres catastrophiques mis sur pied pour rendre l'assurance de biens accessible aux personnes qui sont raisonnablement incapables d'obtenir une telle assurance dans le marché régulier.
- les pertes issues d'obligations extracontractuelles

Les pertes tiennent compte des hypothèses implicites de la société AIR au sujet de l'inflation ou de l'augmentation de la demande après l'événement. L'hypothèse relative à l'augmentation de la demande tient compte de l'inflation économique seulement. Elle ne tient pas compte des autres facteurs qui peuvent augmenter les pertes assurées à la suite d'une catastrophe, comme ceux décrits ci-dessus ou les questions de d'assurance de valeur à neuf.

#### **Levées et barrages**

Les sections sur la Colombie-Britannique, y compris la région de Vancouver, font état des structures de défense des levées qui constitueraient un important facteur dans l'atténuation des dommages causés par un tsunami. Le modèle de tsunami calcule la probabilité d'une défaillance d'une levée attribuable à l'onde de tsunami, bien que dans les simulations qui figurent ici n'étaient pas des défaillances de levées. La stratégie de modélisation du tsunami ne tient pas compte toutefois de la possibilité que les structures des levées puissent être endommagées par le mouvement en soi. Autrement dit, la défaillance des structures de défense d'une levée en raison d'un mouvement de sol lors d'un tremblement de terre pourraient augmenter les dommages causés par le tsunami. En outre, la défaillance des structures d'un barrage en raison d'une secousse n'est pas modélisée.

#### **Énergie nucléaire**

Les pertes associées aux installations et centrales nucléaires ne sont pas modélisées.

#### **Vies humaines**

Les pertes associées aux vies humaines, comme l'assurance individuelle contre les accidents, ne sont pas modélisées.

## 6 Le scénario de l'Ouest

### 6.1 Description de l'événement

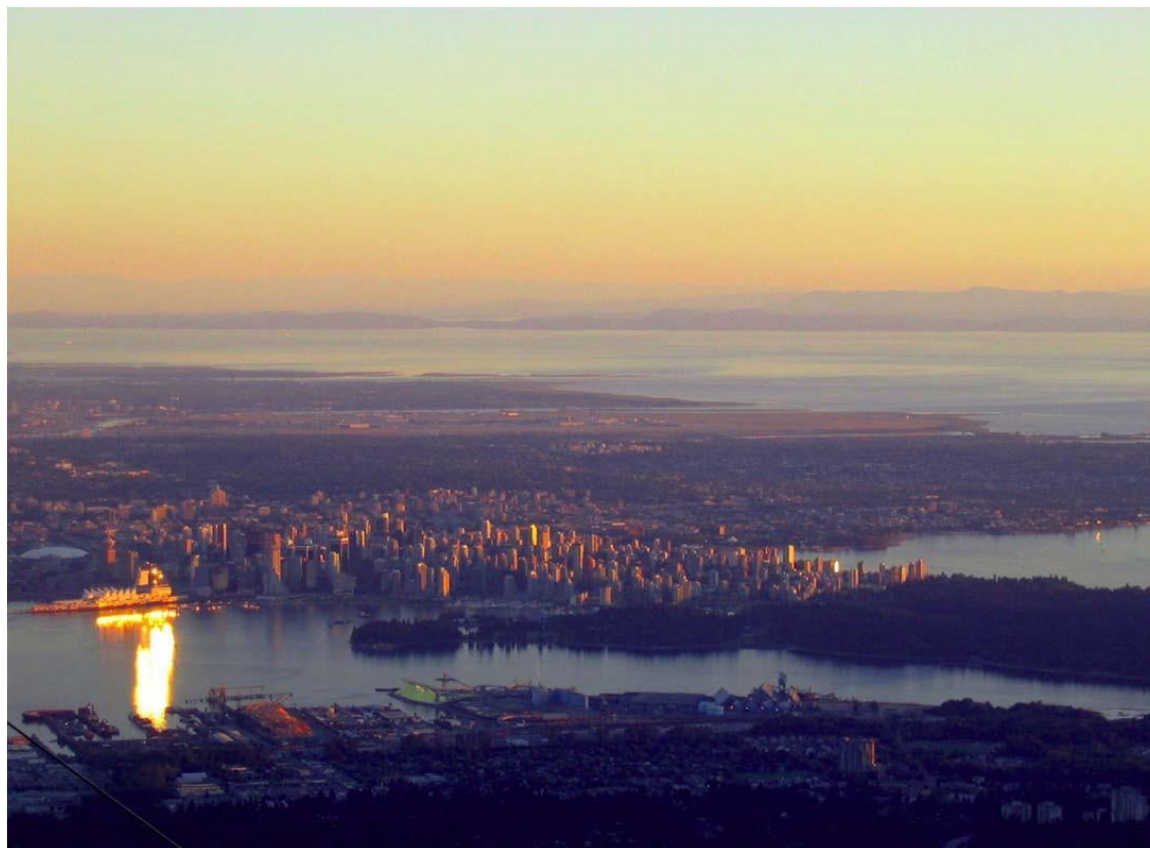
Le séisme qui fait l'objet du scénario de l'Ouest émane de la côte ouest de la Colombie-Britannique mais il est suffisamment puissant pour être ressenti dans les terres jusqu'à 700 kilomètres de la rupture. La région touchée comprend toute l'Île de Vancouver et un arc de la partie continentale dans un rayon de 400 km de Vancouver et de 600 km au nord-ouest le long de la côte. Ce domaine comprend la capitale de la Colombie-Britannique, Victoria, toute la région du Grand Vancouver et les collectivités le long des deux rives du détroit de Georgia, à la pointe sud de l'Île de Vancouver et à l'est de Vancouver.



Illustration 20 : Les principales municipalités dans le scénario de l'Ouest

La caractéristique déterminante de cette région côtière montagneuse est le Détroit de Georgia, qui sépare l'Île de Vancouver du continent, et la plus grande concentration de population et de biens dans région du Grand Vancouver.

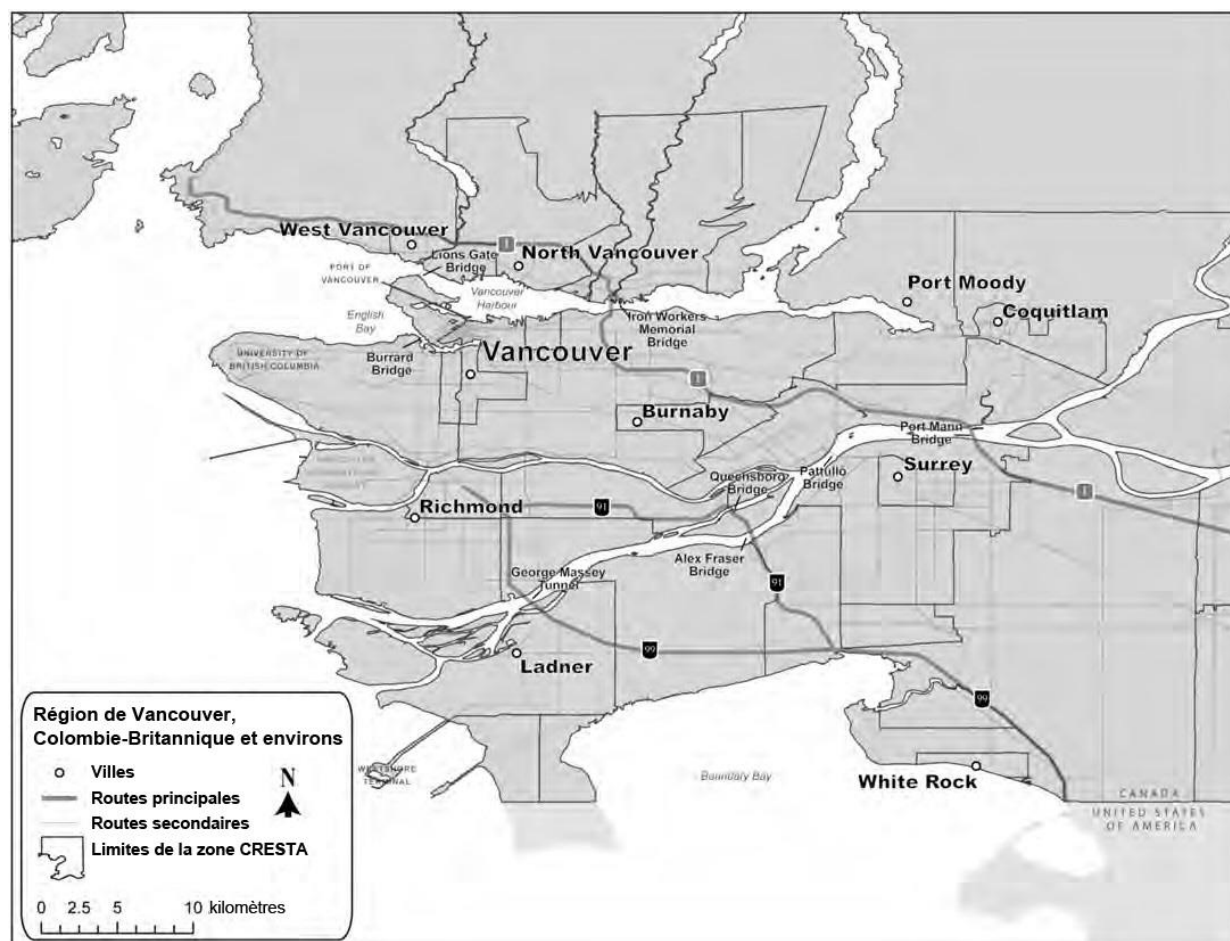
La ville de Vancouver réside surtout sur la portion ouest de la péninsule de Burrard, dont l'inlet de Burrard où se situe son principal port, au nord. Plusieurs municipalités se partagent la péninsule à l'est. Au sud, Richmond, Delta et Surrey occupent la plaine sédimentaire qui se forme dans le delta du fleuve Fraser. Toute la région du Grand Vancouver s'étend plus loin sur un total de 22 municipalités, une circonscription et une Première Nation signataire d'un traité



**Illustration 21 : Vancouver à partir du mont Grouse. Les installations portuaires de l'inlet de Burrard font face à une concentration d'immeubles de grande hauteur qui caractérisent la ville de Vancouver. En arrière-plan, l'aéroport international de Vancouver peut être aperçu dans le delta du fleuve Fraser (Adam Lindsay, Wikimedia Commons)**

Vancouver est une des villes les plus jeunes au Canada et, avec sa concentration de tours d'habitation et un développement à usage mixte, une des villes les plus peuplées au Canada. Elle doit sa réussite à un superbe port naturel qu'elle dessert dans ces eaux abritées. C'est le point central du chemin de fer et des autoroutes transcontinentales et le point d'accès du Canada au Pacifique. Port Metro Vancouver est le plus gros port au Canada et a traité un commerce mondial de plus de 186 milliards de dollars CAD en 2012.

L'aéroport international de Vancouver, le deuxième en importance au pays, est une connexion importante vers l'Asie.



**Illustration 22 : La région du Grand Vancouver**

Ayant à maintes reprises reçu l'accolade de la ville la plus vivable du monde, Vancouver est le siège de services de soutien, de l'industrie manufacturière et de plus de la moitié des espaces à bureau de la province. En plus des sièges sociaux d'entreprises et de cabinets professionnels, on y trouve également des entreprises des secteurs du logiciel et de la biotechnologie, une importante industrie touristique et une industrie du film florissante. Ayant moins de 10 % de terrain cultivable ou de pâturage, les principales activités économiques de la Colombie-Britannique sont l'exploitation forestière et l'exploitation minière. Dans la partie au climat plus tempéré du centre-sud de la province, plus de 200 vignobles ont été créés et il y en a plusieurs autres sur la côte est de l'Île de Vancouver où le climat est plus sec et moins rigoureux.



### ***L'événement utilisé pour le scénario***

Dans le cadre du scénario de l'Ouest, le séisme a lieu un jour de semaine, à la fin de juillet. C'est à la pointe de la saison touristique de la région et la température sera vraisemblablement très agréable. Du temps chaud mais confortable, probablement aux alentours de 20 à 25 degrés. Toute nébulosité va probablement se disperser rapidement et étant donnée qu'il n'y a environ que 7 jours de pluie en juillet, la probabilité de précipitations est faible, c'est le mois le moins pluvieux d'une ville qui est reconnue pour son climat pluvieux. En juillet, les vents vont de 2 km/h à 20 km/h et dépassent rarement 30 km/h. Les vents proviennent fort probablement de l'ouest et il est peu probable qu'ils viennent du nord. Une vitesse du vent de 19 km/h a été assignée au scénario, dans la gamme habituelle qui est vécue à ce temps de l'année.

L'heure à laquelle le tremblement de terre a lieu n'a pas d'importance du point de vue des pertes assurées et, par conséquent, n'est pas pris en compte dans le présent exercice. Toutefois, si un important tremblement de terre survenait à l'heure de pointe, on devrait s'attendre à un nombre élevé de réclamations d'assurance individuelle contre les accidents, mais cela ne fait pas partie de la portée de la présente étude.

L'événement du scénario de l'Ouest est un tremblement de terre extrêmement puissant, d'une magnitude de 9,0. Il est suffisamment puissant pour être ressenti dans une très vaste région, y compris dans une bonne partie de la Colombie-Britannique et de l'État de Washington aux États-Unis. Son foyer est peu profond à 5,9 km. Il se situe (45,24 de latitude, -124,934 longitude) dans l'océan Pacifique, à environ 75 km de la côte ouest de l'Île de Vancouver, à environ 300 km du centre-ville de Vancouver. La nature, la taille et le lieu de l'événement peuvent entraîner un tsunami.

### ***Dommages prévus***

Quelques secondes, peut-être une minute, de forte secousse peut sembler durer très longtemps. Après la secousse, les gens qui se trouvent dans ces municipalités peuvent ressentir un mouvement de roulis, comme s'ils étaient en mer. Il peut leur être difficile de se tenir debout ou de marcher et les conducteurs auront certainement connaissance du mouvement de sol. Les eaux stagnantes seront troubles avec de la boue et des vagues se formeront probablement dans les étangs. Les avertisseurs d'incendie et les systèmes de gicleur peuvent s'activer dans les édifices et les alarmes antivol des voitures peuvent être déclenchées. Les structures vont craquer, les fenêtres peuvent se craquer ou se briser et les lumières et l'électricité peuvent s'interrompre presque immédiatement.

Les étages supérieurs des édifices de grande hauteur et les édifices à étages multiples vont osciller plus et trembler moins que les édifices plus bas, ce qui entraînera un plus grand nombre de meubles renversés et de dommages aux biens meubles. En plus des articles qui se décrochent du mur et qui tombent des tablettes, les objets suspendus peuvent se décrocher et certains meubles seront brisés. Les édifices bien conçus et bien construits s'en tireront bien mais les édifices de maçonnerie mal construits seront endommagés.

Les cheminées peu solides vont vraisemblablement se briser à la ligne de toit, le plâtre et quelques briques lâches, pierres, tuiles, corniches et parapets non entretoisés et porches vont tomber. Certaines fissures paraîtront dans les édifices de maçonnerie mieux construits.

Dans ce scénario, la secousse tellurique est responsable de la majorité des pertes nettes, mais les glissements de terrain, le tsunami et les incendies post-sismiques suivant la rupture contribueront aux dommages infligés.



**Illustration 23 : Dommages à une structure résidentielle à L'Aquila, en Italie, en 2009**

La première onde de tsunami créée par le tremblement de terre frappe la partie la plus proche de l'Île de Vancouver, environ 30 minutes après la rupture. Alors qu'elle se déplace à l'extérieur de l'épicentre, elle touche toute la côte ouest de l'île. Lorsque la partie qui se déplace en direction sud atteint Victoria, environ 45 minutes après le tremblement de terre, la vague de pic est quand même de 1 à 2,5 m au-dessus du niveau de la marée à ce moment donné. On s'attend à ce que la première onde atteigne Vancouver deux heures après le tremblement de terre. À ce moment donné, sa taille au-dessus du niveau de la marée aura encore diminué lors de son déplacement et de ses interactions avec les îles qui sont sur son passage.

Après le tremblement de terre, plusieurs incendies vont probablement se déclencher dans la région parce que le mazout entre en contact avec des sources d'ignition. Ces incendies peuvent commencer tout de suite après le tremblement de terre, ou survenir plus tard lorsque l'alimentation électrique est de retour.

### Île de Vancouver

Étant situé le plus près de l'épicentre de l'événement, le côté ouest de l'Île de Vancouver — et plus particulièrement la partie du sud — connaîtront un mouvement de sol plus violent et les pires niveaux de dommages aux édifices et autres biens. À certains endroits sur la côte ouest de l'Île de Vancouver, il peut y avoir une secousse pouvant aller jusqu'au niveau IX à l'échelle MM (voir le tableau 16 pour une description des niveaux de l'échelle MM), mais la partie sud de l'île connaîtra une secousse entre les niveaux VII et VIII. La région du Grand Victoria, la 15<sup>e</sup> plus peuplée des régions métropolitaines du Canada, et où habite près de la moitié de la population de l'île, connaîtra un mouvement de sol semblable à celui ressenti à Vancouver, comme nous le décrivons dans la prochaine section.

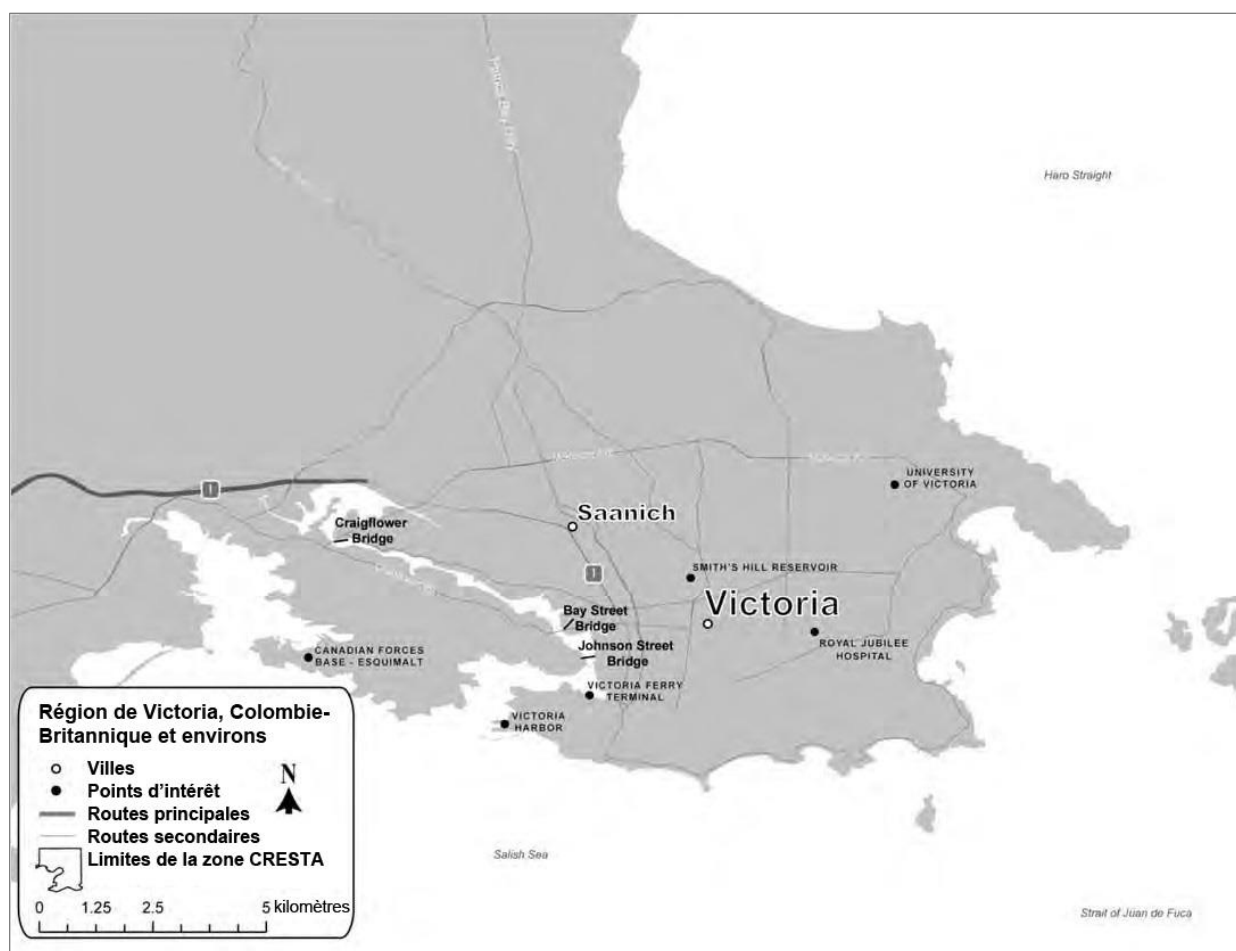


Illustration 24 : Victoria et les environs

Nous prévoyons de dommages considérables aux édifices ordinaires dans les régions qui connaîtront le mouvement de sol le plus violent et des dégâts graves aux édifices mal construits. Les maisons en bois se déplaceront de leurs fondations si elles ne sont pas bien ancrées et certains panneaux muraux lâches seront propulsés. Les cheminées, les tours et les réservoirs élevés vont probablement se tordre et tomber. Les édifices en maçonnerie non renforcée auront les pires effets, y compris des dommages étendus aux cheminées et des effondrements partiels. Les bâtiments du patrimoine et les bâtiments anciens qui donnent tant de cachet à Victoria et à Duncan, par exemple, sont particulièrement à risque.

Les édifices résidentiels de Victoria sont en majorité des immeubles bas et on s'attend à ce qu'ils subissent des dommages modérés. Pour les bâtiments en bois qui ont subi des dommages modérés en raison de la secousse, nous pouvons remarquer de larges fissures autour des coins et des ouvertures de fenêtres. D'importantes fissures peuvent être observées dans plusieurs murs de partition. Certains édifices en copropriété de hauteur moyenne ou basse dans le centre-ville de Victoria seront endommagés par les incendies consécutifs au séisme. Des frais de subsistance supplémentaires peuvent être exigés pendant plusieurs jours. Certains édifices résidentiels en bois près d'Esquimalt subiront des dommages importants en raison du tsunami et des glissements de terrain. Certains secteurs de Gordon Head, dans la partie nord de Victoria, peuvent s'attendre à des dommages importants en raison d'un glissement de terrain. Nous prévoyons des dommages allant de substantiels à très lourds dans certains secteurs le long du détroit de Haro, comme à Cordova Bay, où la plupart des dommages seront attribuables aux inondations résultant du tsunami. Nous prévoyons des dommages d'importance semblable au sud d'Esquimalt et près de Sooke Harbor.

En règle générale, nous prévoyons des dommages modérés aux bâtiments commerciaux et industriels. Nous prévoyons qu'il y aura des fissures dans les colonnes et les poutres des édifices en béton armé qui auront subi de légers dommages attribuables la secousse. Quelques carreaux de plafond peuvent tomber. Au centre-ville de Victoria, la secousse tellurique est la principale cause de sinistre. Dans certains secteurs, des glissements de terrain et des incendies post-sismiques contribuent également de manière importante aux sinistres. Les pertes d'exploitation peuvent durer quelques mois. À certains endroits autour de Victoria Harbor, le tsunami sera la principale cause de sinistre. Les pertes d'exploitation attribuables aux dommages résultant de multiples périls peuvent se poursuivre pendant quelques mois.

L'aéroport international de Victoria, un des plus fréquentés en Colombie-Britannique, en termes de passagers, subira des dommages de niveau léger à modéré, attribuables au séisme. Nous prévoyons que les dommages aux bâtiments de l'aéroport seront légers, mais certains édifices commerciaux en béton dans le secteur pourraient subir des dommages modérés comme des fissures dans les murs et des éclats de plâtre. On s'attend également à des pertes modérées aux biens meubles en raison des objets qui tombent des tablettes, à des dommages à l'équipement électronique, etc. Les réparations et la reconstruction d'édifices de maçonnerie modérément endommagés comme ceux-ci peuvent prendre plus d'un mois.

Nous ne prévoyons aucun dommage significatif sur les pistes et sur l'aire de trafic et, par conséquent, aucune interruption importante du service.

Le tremblement de terre causera certains dommages de niveau léger à modéré à diverses composantes du Port de Victoria. Nous prévoyons que tassement considérable du sol affectera les structures riveraines, avec certaines piles brisées ou endommagées. Certaines grues et de l'équipement de manutention des cargaisons peuvent dérailler en raison de changements qui ont rendu inégales les surfaces nivelées. Nous prévoyons des dommages modérés à certains bâtiments dans la région portuaire sous forme de fissures diagonales sur les panneaux muraux des édifices en bois ou en maçonnerie et de petites fissures ou séparations dans les joints boulonnés des bâtiments en bois. Les biens meubles seront dans un désordre considérable et auront basculé. En raison des dommages au port, le service peut être interrompu pendant plusieurs jours.

Les bâtiments et les installations dans la région de la base des Forces canadiennes d'Esquimalt peuvent subir des dommages de niveau modéré à importants en raison de la secousse tellurique et du tsunami. Un effondrement du sol causera vraisemblablement des dommages à certains bâtiments de la région. Les travaux de restauration peuvent prendre jusqu'à deux mois pour certains édifices durement frappés, surtout en raison des dommages causés par le tsunami.

#### **Infrastructure de l'Île de Vancouver**

En plus de la région du Grand Victoria, qui est le siège d'une importante industrie de la technologie et de la TI, l'économie de l'île repose largement sur l'exploitation forestière, le tourisme et la pêche.

Il y a également une industrie vinicole florissante située surtout aux environs de Victoria et de Duncan, dans la pointe sud-est de l'île. Les pertes commerciales prévues dans ces régions se situent en règle générale au bas de la gamme. Des dommages à l'infrastructure de l'île, particulièrement aux routes et aux ponts, pourraient avoir des répercussions plus importantes sur l'économie. Les routes de Victoria et aux alentours subiront de légers dommages. Certaines routes locales, le long des versants de la côte sud de l'île de Vancouver (par exemple près de Sooke et Esquimalt) pourraient subir des dommages importants attribuables en partie à un glissement de terrain. Ces routes seront probablement fermées pendant quelques semaines.

Port Alberni, à la tête de l'inlet Alberni ressentiront des tremblements extrêmes et un effondrement du sol en raison du séisme, ce qui pourrait entraîner des dommages modérés aux installations portuaires. Un tassement considérable de certaines grues et de l'équipement de manutention des cargaisons pourraient avoir déraillé. En sus des dommages structuraux mineurs aux bâtiments, les biens meubles seront en désordre et auront basculé. Avec ce genre de dommages, le port peut être hors d'état pendant plusieurs jours. Nanaimo, sur la côte est de l'île, sera durement touchée par le tremblement et l'inondation provoquée par un tsunami. Des dommages considérables sont prévus dans le port, attribuables à la défaillance de nombreuses piles, du glissement important des jetées, et un tassement important du sol causant de larges fissures dans la chaussée.



Il y aura probablement des dommages considérables à l'équipement et le basculement ou le déraillement complet des grues. Des dommages importants à l'équipement et aux installations peuvent être attribués à l'inondation provoquée par un tsunami. L'étendue des dommages prévus est si grande que le port peut être hors d'état pendant plusieurs mois.

La gare maritime Swartz à North Saanich, situé à environ 32 kilomètres au nord de Victoria, est une région qui va probablement connaître des dommages de niveau modéré à important en raison de la secousse tellurique et de l'inondation provoquée par un tsunami. Quelques édifices situés sur des pentes, pourraient également subir un glissement de terrain. Des dommages aux installations commerciales et industrielles dans le secteur de la gare maritime peuvent les rendre inopérables pendant une période considérable. Alors que certains édifices en maçonnerie de la région peuvent exiger de deux à trois mois pour une restauration complète, certaines charpentes en acier et certains édifices en béton armé peuvent exiger plus de mois avant d'être entièrement restaurés.

Au nord de Tofino, sur la côte ouest, il y a de grands secteurs qui courent un risque modéré de glissement de terrain et des secteurs additionnels où le risque est élevé; certains glissements de terrain vont se produire. L'aéroport de Tofino, par exemple, va proprement subir des dommages de modérés à importants en raison de la secousse tellurique et, jusqu'à un certain point, du glissement de terrain. Les pistes pourraient être endommagées en raison d'un tassement de niveau modéré à important ou du soulèvement de la surface et il pourrait y avoir des dommages de modéré à importants aux édifices du secteur. Les dommages attribuables à un tsunami pourraient également survenir à l'aéroport de Tofino qui serait inondé et qui pourrait être hors d'état pendant plusieurs semaines.

De plus, la côte dans ce secteur, subirait les effets les plus graves du tsunami. Il s'agit par contre d'un secteur dont l'exposition au risque est faible et on s'attend à des sinistres de niveau relativement bas. Les petites villes sur les versants ouest de l'Île de Vancouver, comme Tofino ou Ucluelet, qui sont dans la trajectoire directe de l'onde de tsunami, bénéficieront de l'abri que procure la côte ouest de la flèche littorale sur laquelle elles sont érigées. L'élévation locale de ces villes les gardera également relativement à l'abri de dommages importants causés par le tsunami.

#### *Ville de Vancouver*

La plus grande concentration de biens exposés de la région se trouve dans la région du Grand Vancouver, qui pour la plupart connaît une secousse modérée. Tous les gens, dans la région du Grand Vancouver vont ressentir cette secousse et plusieurs seront effrayés par celle-ci. Il sera difficile de marcher durant le mouvement du sol, les arbres et arbustes vont trembler et on les entendra bruissier. À l'intérieur des édifices, les livres et décorations vont tomber des étagères, les cadres vont se décrocher du mur et même les meubles lourds vont bouger ou se renverser. Les dommages aux édifices modernes bien construits toutefois seront relativement légers. Certaines fenêtres de verre vont se briser, le plâtre peu solide sera endommagé et certains édifices en maçonnerie plus vieux ou moins bien construits auront des craques.

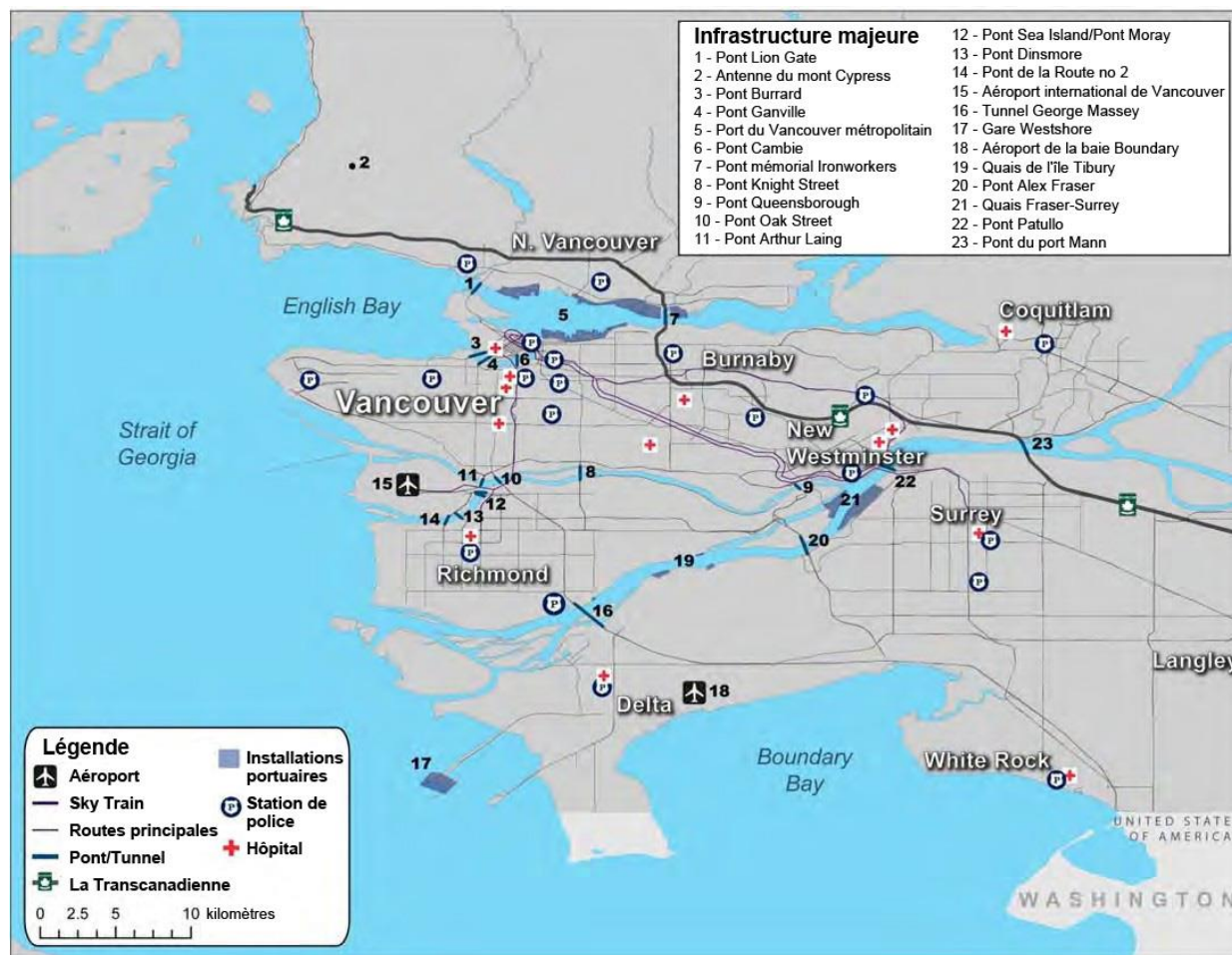


Illustration 25 : Infrastructure clé dans la ville de Vancouver

Granville Island, située dans le False Creek, directement en face du centre-ville de Vancouver, est une importante destination touristique. La plupart des structures commerciales sur l'île sont en bois et pourraient ne connaître que quelques dommages légers et pourraient subir des dommages modérés en raison des pertes d'exploitation pendant quelques semaines. Des dommages modérés aux édifices commerciaux en maçonnerie pourraient être étendus et consister en des fissures dans les murs et des éclats de plâtre. Il est probable que les biens meubles bougeront considérablement et seront endommagés. Des dommages aux bâtiments en maçonnerie non renforcée peuvent nécessiter jusqu'à un mois de réparation et de restauration. Les dommages sont principalement attribuables à la secousse tellurique, mais pour les constructions en bois (résidentielles et commerciales) certains incidents d'incendie post-sismique peuvent également contribuer aux dommages. Le pont à huit voies de Granville Street, qui chevauche l'île, devrait connaître de légers dommages et demeurer opérationnel.

On ne s'attend à aucune fermeture importante après l'inspection initiale.

À l'université de la Colombie-Britannique, située sur la pointe ouest de la péninsule sur laquelle est située Vancouver, les dommages devraient être de légers à modérés. Des dommages modérés aux édifices en maçonnerie peuvent prendre la forme de fissures dans les murs, manque de connexion des panneaux aux structures porteuses et chute de carreaux de plafond et des accessoires fixes - et même d'un effondrement partiel des plafonds à quelques endroits. Selon l'étendue des dommages modérés, certains édifices peuvent être hors d'état pour réparation et restauration pendant quelques semaines. Des dommages aux édifices en acier et en béton armé devraient être légers. Un effondrement du sol peut contribuer aux dommages dans ce secteur.

La région autour de l'hôpital général de Vancouver abrite un grand nombre d'édifices médicaux. Ils sont de construction et de hauteurs variées. Les édifices construits à des fins médicales sont habituellement conçus et construits avec de grandes considérations en matière d'ingénierie, comme l'exigent les codes et normes de conception. Cela est particulièrement vrai pour les édifices conçus conformément aux codes modernes (c'est-à-dire les édifices construits après 1985).

Une meilleure conception et une meilleure construction réduit la vulnérabilité aux séismes des édifices et au contenu de ces installations. Selon le scénario de tremblement de terre, les édifices de ce secteur subiront des dommages légers. Certains édifices plus vieux, en maçonnerie, pourraient subir des dommages allant de légers à modérés sous forme de fissures dans les murs principaux et les murs de partition, la chute de plâtre, de carreaux de plafond et d'accessoires fixes. Les édifices en acier et en béton armé devraient subir de légers dommages structurels et certains dommages non structurels et à leur contenu. Nous prévoyons un temps d'arrêt de quelques jours pour certains édifices, la plupart étant des constructions en maçonnerie.

Les édifices résidentiels de Vancouver sont surtout des édifices peu élevés et certains sont des condominiums de hauteur moyenne. De légers dommages sont prévus aux édifices résidentiels de ce secteur. Certains édifices près de Coal Harbor, English Bay et Chinatown pourraient subir des dommages allant de légers à modérés en raison du tsunami. Des dommages de liquéfaction de niveau modéré à important toucheront la partie sud de Vancouver, y compris Iona Island et les secteurs le long du bras nord du fleuve Fraser. Des dommages de niveau modéré à important attribuables au tsunami (et d'une secousse tellurique) vont probablement se produire aux édifices au sud de Roche Point et de Windsor Park à Vancouver Nord.

En règle générale, les bâtiments commerciaux et industriels subiront des dommages légers. Pour les édifices à charpente parasismique en acier ayant subi de légers dommages, certains membres pourraient subir de larges déformations aux raccordements. Dans les secteurs côtiers autour de l'université de la Colombie-Britannique, le tsunami serait un important contributeur de pertes de biens industriels et commerciaux. Les pertes d'exploitation pourraient durer plusieurs semaines. Des dommages de liquéfaction importants pourraient être observés dans les secteurs autour du bras nord du fleuve Fraser et de Sea Island.

Les édifices commerciaux de hauteur moyenne au sud de New Westminster et au nord de Surrey et Delta pourraient subir des dommages modérés, ce qui entraînerait un temps d'arrêt de plus d'un mois dans certains cas. Les dommages pourraient en partie être attribués à la liquéfaction. Les dommages aux édifices plus haut (huit étages et plus) dans ces secteurs pourraient être importants, en particulier les pertes touchant les biens meubles. Les travaux d'inspection et de réparation dans certains de ces édifices pourraient prendre quelques mois.

#### ***Richmond, Delta et Surrey***

Au sud de la ville de Vancouver, les municipalités de Richmond, Delta et Surrey seront les plus durement touchées. Ces collectivités, sur les deux rives du fleuve Fraser, sont érigées sur des sédiments en limon et sablonneux qui tremblent plus que la roche sur laquelle est bâtie Vancouver. Par conséquent, ces municipalités connaîtront un mouvement de sol plus puissant que ce qui est habituellement décrit comme une forte secousse. Parce que ces édifices sont construits sur un sol à grain grossier déposé par le fleuve Fraser, ces municipalités courent plus de risques de dommages attribuables à la liquéfaction. Ce péril est responsable de 6,6 % des pertes économiques complètes prévues dans le scénario de l'ouest, mais la plupart des dommages sont concentrés dans quelques secteurs vulnérables.

Les édifices du gouvernement, autour de l'hôtel de ville de Richmond City devraient subir des dommages modérés. La liquéfaction contribue largement aux dommages prévus dans ce secteur. Les édifices en maçonnerie subiront des dommages modérés et certains pourraient être hors d'état pour des réparations et restaurations pendant plus d'un mois. Les structures en acier, en béton armé et à charpente en bois pourraient être hors d'état pendant plusieurs semaines.

La plupart des édifices résidentiels de Richmond sont des immeubles bas et subiront des dommages modérés. En ce qui a trait aux édifices ayant subi des dommages modérés en raison de la secousse, de larges morceaux de plâtre pourraient tomber par exemple et certaines cheminées pourraient s'effondrer partiellement et certains cadres de fenêtres pourraient avoir besoin d'être réalignés. Les dommages attribuables à la liquéfaction à Richmond seront élevés. Certains condominiums de hauteur moyenne ou élevés pourraient être fermés pendant plusieurs jours en raison des dommages attribuables à la secousse et à la liquéfaction. Certains édifices à Richmond ouest et près du fleuve Fraser pourraient subir d'importants dommages attribuables au tsunami.

En règle générale, les bâtiments commerciaux et industriels subiront des dommages modérés. En ce qui a trait aux édifices qui ont des contrevents, certains contrevents ou connexions peuvent avoir des indications qu'ils ont atteint leur capacité maximale, comme le démontrent les contrevents déformés, les puits fissurés et les séparations aux joints boulonnés. Bien que la secousse tellurique soit la cause principale des pertes dans la plupart des cas, la liquéfaction causera des pertes importantes à plusieurs endroits. Les édifices de taille moyenne au centre-ville et aux alentours et dans le secteur de Golden Village subiront des dommages modérés.

Les dommages aux édifices à étages multiples devraient être moins importants. Dans ces endroits, la liquéfaction devient la principale cause des pertes. Le temps d'arrêt peut varier de quelques semaines à quelques mois. Dans les secteurs de l'ouest de Richmond et du sud, comme Gilmore et Paramount, on s'attend à des dommages importants causés par le tsunami.

### **Infrastructure**

En raison de la secousse tellurique et de la liquéfaction, certaines routes seront endommagées et impassibles, l'approvisionnement en eau et d'autres services souterrains seront compromis et plusieurs ponts seront fermés temporairement. Tous les ponts devront être inspectés avant de rouvrir et les ponts les plus stratégiques seront traités en priorité. Des structures moins importantes seront fermées jusqu'à ce que les ingénieurs qui font les inspections puissent y accorder leur attention. Les ponts endommagés, comme celui au Chili que l'on voit sur l'illustration 26, auront besoin de réparations, ce qui dans certains cas se traduit par une fermeture qui dure des années, mais ces travaux n'auront pas besoin d'être entrepris immédiatement.



**Illustration 26 : Dommages causés par un séisme à une route sur un pont, Chili 2010**



La plupart des routes principales à Vancouver et aux alentours pourraient subir uniquement de légers dommages, comme un léger tassement (quelques pouces) ou une distorsion du sol. On s'attend à ce que la fermeture de ces routes ne dure pas plus que quelques heures. Des dommages aux ponts, toutefois, pourraient entraîner la fermeture ou le détournement de plusieurs routes locales et autoroutes. L'interaction des éléments de l'infrastructure comme ceux-ci peut facilement être représentée sans un modèle détaillé du système de circulation. Par conséquent, les descriptions qualitatives des dommages présentées ici traitent de chaque composante du transport de manière distincte et ne tiennent pas compte des interactions.

L'accès routier à Vancouver à partir du nord au moyen des ponts Lion's Gate et Innonworker's Memorial (Second Narrows) ne devrait pas être touché parce qu'on ne prévoit pas de dommages à ces ponts. Nous prévoyons que tous les ponts seront fermés temporairement aux fins d'inspection après l'événement, mais nous ne prévoyons pas de problèmes qui retarderaient la réouverture de ces structures spécifiques. L'accès à Vancouver, à partir de l'est par contre devrait être limité. Le pont Port Mann, sur la route n° 1 devrait être fonctionnel, malgré une certaine interruption ou travaux mineurs qui devraient prendre quelques jours. La fermeture de pont la plus longue prévue dans cette analyse est celle du pont Patullo qui a été érigé en 1936. Les réparations de ses dommages modérés devraient prendre quelques semaines.

Le transport routier entre Richmond et Vancouver au nord et Delta et Surrey au sud devrait également être touché. Nous prévoyons des dommages modérés, sous forme de tassement de plusieurs pouces ou de décalage des routes à Richmond, Delta et Surrey en raison de la liquéfaction. En outre, tous les ponts qui relient ces municipalités à Vancouver seront touchés. Le pont Oak Street subirait des dommages allant de légers à modérés en raison de la secousse tellurique et de la liquéfaction. Les dommages légers sont uniquement cosmétiques et peuvent comprendre des craques mineures et l'effritement des butées, des charnières et une fissuration mineure au tablier du pont. Lorsque les dommages sont modérés, les fissures sont plus importantes et le tassement des approches est également dû à la liquéfaction. La restauration et les réparations complètes peuvent prendre jusqu'à trois semaines. Quant aux deux sections du pont Knight Street, qui enjambent Mitchel Island, elles devraient subir des dommages modérés et les réparations pourraient prendre quelques semaines.

Le pont Queensborough, qui relie Vancouver à Richmond sur la route 91A sur le bras nord du fleuve Fraser, pourrait être fermé tôt, pendant quelques jours aux fins d'inspection initiale et de réparations. Il subira des dommages attribuables à la secousse tellurique et à la liquéfaction et la restauration complète pourrait prendre quelques semaines. Quant au pont Alex Fraser, qui est au-dessus du fleuve Fraser et relie Delta à Annacis Island, il subira des dommages allant de modéré à important, en raison de la secousse tellurique et de la liquéfaction. Il pourrait être fermé pour inspection et travaux initiaux de réparation pendant quelques jours après l'événement, mais les réparations à grande échelle pourraient prendre plusieurs semaines.

Le tunnel George Massey est un tunnel routier sous le fleuve Fraser, qui relie la ville de Richmond au nord à la Corporation of Delta au sud. Les dommages devraient être légers, comme une fissuration mineure du revêtement du tunnel ou un léger tassement du sol au portail du tunnel. Le tunnel aura besoin de réparations qui sont uniquement cosmétiques et on s'attend à ce pont devrait être opérationnel après l'inspection initiale.



**Illustration 27 : L'aéroport international de Vancouver est situé sur une île dans le delta du fleuve Fraser, et est à risque de dommages de liquéfaction. Il est accessible uniquement au moyen des ponts vulnérables (Alejandro Erickson)**

Plus important encore, l'accès routier à l'aéroport de Vancouver sera coupé les premiers jours critiques suivant le tremblement de terre parce que tous les ponts qui y mènent seront touchés. Le pont Arthur Lainge, par exemple, la principale connexion entre l'aéroport et la ville de Vancouver subirait des dommages modérés. Les dommages, à ce niveau, pourraient prendre la forme de fissuration et d'effritement modérés aux colonnes, ce qui signifie que la structure demeurerait solide. Le déplacement des butées serait de moins de deux pouces (5 cm). Le pont pourrait devoir être fermé à la circulation pendant quelques jours aux fins d'inspection et de réparations initiales. La restauration complète pourrait prendre quelques semaines. Le service ferroviaire Canada Line en direction de l'aéroport de Vancouver serait probablement interrompu.

Sea Island, où est situé l'aéroport international de Vancouver, est à risque modéré de liquéfaction - une source probable de dommages aux pistes. Les structures comme les tours, les installations d'entreposage, les édifices à bureau et les hangars sont modélisées comme des entités commerciales, mais l'aire de trafic et les aérogares sont modélisées comme infrastructure de l'aéroport. En plus des pertes visant les biens commerciaux assurés à leurs emplacements, l'infrastructure dans le secteur de l'aéroport subirait des dommages de plus de 300 millions \$ CAD en raison de la secousse et de la liquéfaction, ce qui représente 17 % des pertes à l'infrastructure totale couverte par le présent scénario.

À l'aéroport international de Vancouver, les bâtiments comme les aérogares, les tours et les hangars subiraient des dommages allant de légers à modérés. Les dommages typiques aux édifices en béton armé à ce niveau modéré prennent la forme de fissures dans les colonnes et les poutres des cadres, et dans les murs porteurs. Des fissures dans les murs de partition et intercalaires, de même que la chute de placage et de plâtre friable devraient se produire. Les structures d'acier qui subissent une déformation peuvent développer des fissures importantes dans certains assemblages soudés, ou avoir des boulons brisés ou comporter des trous de boulons élargis aux joints boulonnés. Des sections de l'aire de trafic seront modérément endommagées, et ces dommages se traduisent par un tassement mineur ou le soulèvement de la surface de la piste. Certaines sections de la piste peuvent être hors d'état pendant quelques jours, mais les restaurations à certaines structures de maçonnerie dans le secteur de l'aéroport pourraient prendre quelques mois.

Par contre, l'aéroport international d'Abbotsford ne devrait subir que de légers dommages. Les pistes pourraient subir un tassement mineur ou un soulèvement mineur de la surface, et certains édifices commerciaux et leurs biens meubles pourraient subir de légers dommages. L'aéroport demeurera fonctionnel, sans interruption de service.

Les installations portuaires de la région de Vancouver vont probablement subir des dommages de niveaux divers. Alors que les dommages au havre de Vancouver Harbor et ses environs seront probablement légers, les dommages aux installations du sud de Richmond et au nord de Delta et Surrey (autour du fleuve Fraser) seront plus élevés en raison de la liquéfaction et des inondations.

De légers dommages aux ports situés dans le Vancouver Harbor pourraient comprendre un léger tassement du sol, des craques mineures dans les piles et des craques sur le quai. Certains grues non ancrées et de l'équipement de manutention de cargaison pourraient subir un déraillement ou un décalage sans dommages structurels importants au rail. Des réparations et rajustements mineurs peuvent être nécessaires avant d'être de nouveau opérables. L'équipement ancré devrait demeurer fonctionnel.

Des dommages modérés dans les ports près de Richmond, Delta et Surrey, en raison de la liquéfaction, comprendront probablement un tassement considérable et la fissuration de piles, un déraillement notable des grues et de l'équipement de manutention de cargaison, et des fissurations aux murs des édifices portuaires.

Les dommages causés par la liquéfaction sont particulièrement important dans les zones portuaires d'Annacis Island et de North delta. Certains ports plus petits près de Tilbury Island et de Sunbury dans le Delta subiront des dommages causés par l'inondation provoquée par un tsunami. Un niveau accru de débris dans l'eau contribue aux dommages aux édifices et automobiles près de ces ports. Le service dans certains de ces ports de la région de Vancouver pourrait être interrompu pendant une à deux semaines.

L'approvisionnement en eau sera touché jusqu'à un certain point dans toute la région du Grand Vancouver, avec des dommages à divers endroits allant de zéro à plus de 100 000 \$ CAD dans certaines cellules de 1km<sup>2</sup>. La plus grande concentration de dommages attribuables à la liquéfaction les plus élevés aux structures et aux services souterrains sera probablement à Richmond et Delta, avec d'autres terres adjacentes au fleuve Fraser. Les services d'eaux usées seront probablement touchés de la même manière.

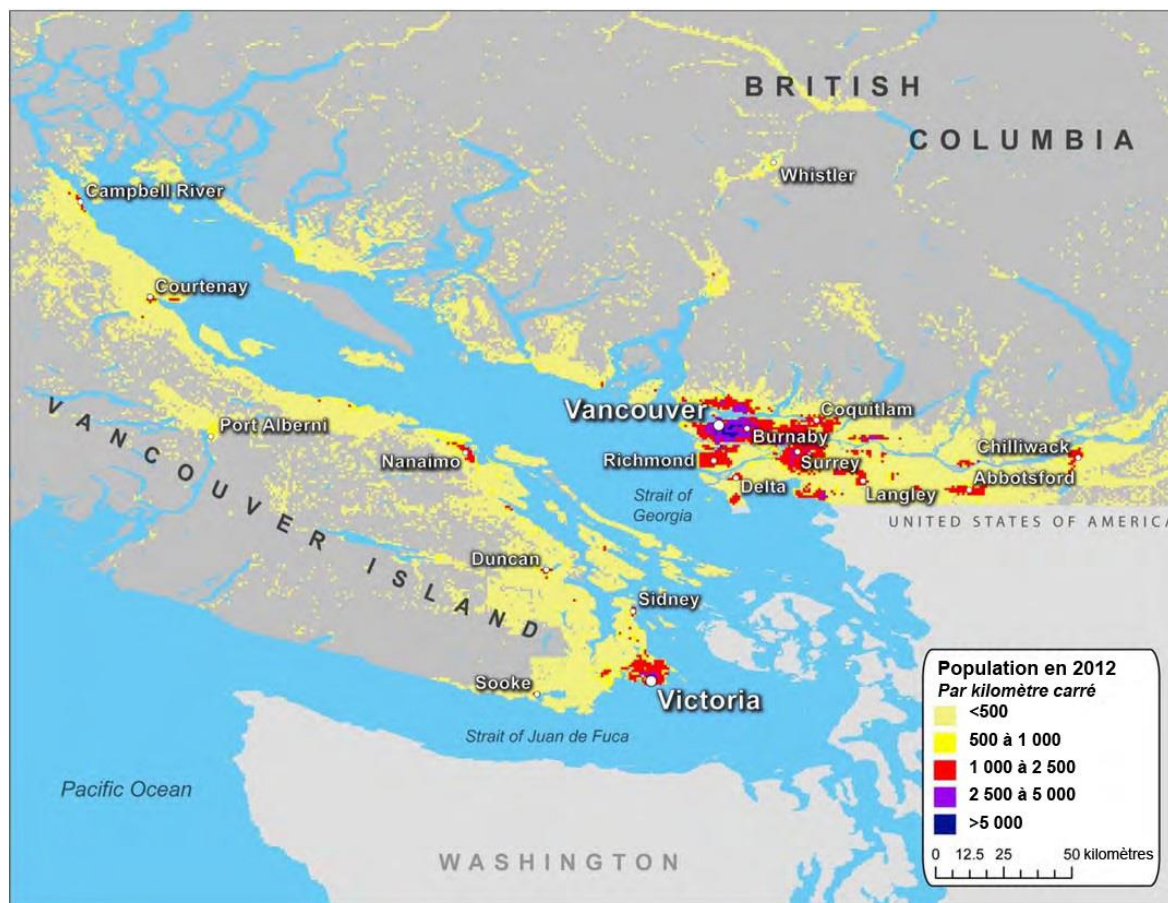
Le service de téléphonie cellulaire connaîtra probablement une interruption importante à court terme, en raison de l'augmentation dramatique du volume d'appels dans la région touchée immédiatement après l'événement. Le service à Richmond, Delta et Victoria pourrait être touché plus longtemps parce que certaines tours pourraient être hors d'état pendant quelques jours. Heureusement, les pannes de courant seront probablement peu nombreuses et brèves, les collectivités de Richmond, Delta, Victoria et Duncan étant les plus touchées avec de brèves périodes sans courant. La production et la distribution de gaz sera touchée à Vancouver et Burnaby et le long du fleuve Fraser à Surrey, avec une concentration particulière de sinistres aux biens dans le centre de Richmond et de Delta.

Quelques jours après le tremblement de terre, l'alimentation en électricité et les communications auront été restaurées dans la plupart des municipalités et tous les incendies seront éteints. Pour la plupart de ces collectivités, les routines habituelles reprendront leur train, sauf que les dommages aux routes et la fermeture des ponts principaux compromettront les déplacements sur route pendant quelques temps. À plusieurs égards, les municipalités le plus durement touchées seront probablement Richmond et Delta. En outre, de nombreux blocages du réseau vital répartis sur une grande région, en raison des dommages causés par les glissements de terrain et les secousses, interrompront l'activité économique et restreindront l'accès à la région du Grand Vancouver dans son ensemble.

### ***Exposition de la région touchée par le scénario de l'ouest***

L'illustration 28 montre la population de la région touchée par le scénario de l'ouest dans une grille de 1 km<sup>2</sup>. À la fin de 2012, il y avait environ 4,6 millions de personnes vivant en Colombie-Britannique, selon le site Web de statistiques de la Colombie-Britannique, BC Stats.





**Illustration 28 : Répartition de la population dans le scénario de l'Ouest**

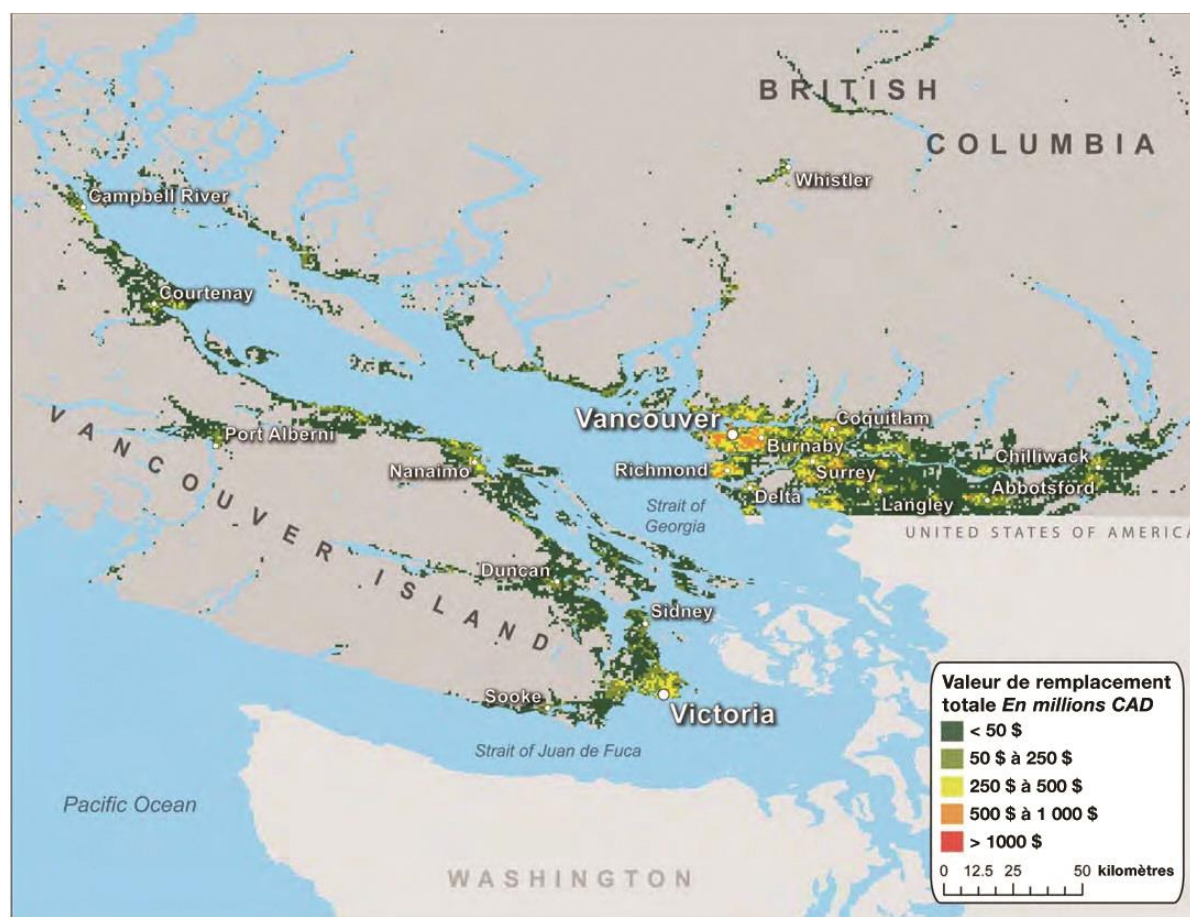
D'après la carte de la densité de population de l'illustration 28, il est clair que la population est surtout concentrée dans les villes de Vancouver et Victoria et leurs environs. En fait, près de la moitié de la population de la Colombie-Britannique vit dans la région du Grand Vancouver qui est la troisième plus importante région métropolitaine au Canada. En outre, près de 300 000 personnes vivent dans la région métropolitaine de Victoria. Ces deux régions seraient touchées par le scénario de l'Ouest.

L'importante concentration de population de Vancouver et de Victoria entraîne de larges proportions d'exposition aux risques des immeubles et des infrastructures qui seraient vulnérables selon le scénario de l'Ouest.

Les dommages, ne serait-ce que dans un faible pourcentage, causés par cette exposition pourraient tout de même représenter de lourdes pertes. Toutefois, il n'est pas suffisant d'examiner la valeur globale de l'exposition au risque de cette région, car c'est la répartition par type de biens, l'emplacement géographique et la présence d'assurance en cas de tremblement de terre qui détermineraient l'étendue des dommages et pour qui.

Les cartes suivantes illustrent les valeurs résidentielles, commerciales et de l'infrastructure à une échelle de 1 km<sup>2</sup> dans les régions à risque selon le scénario de l'Ouest. Les cartes illustrant « tous les biens » montrent la valeur de l'exposition au risque, que le bien soit assuré ou non. Les cartes des biens « assurés » n'illustrent que les valeurs des édifices qui sont couverts par des contrats d'assurance en cas de tremblement de terre. La différence entre ces deux cartes est le montant de l'exposition au risque qui ne serait pas couvert par l'assurance advenant un séisme, ce qui est dans certains cas très bien.

Aux fins de ces cartes, les bâtiments agricoles et les installations et établissements industriels sont compris dans l'exposition au risque commercial. Les édifices publics sont également inclus dans les cartes de tous les biens commerciaux mais ces édifices ne sont pas inclus dans les cartes de biens assurés dans cette section.

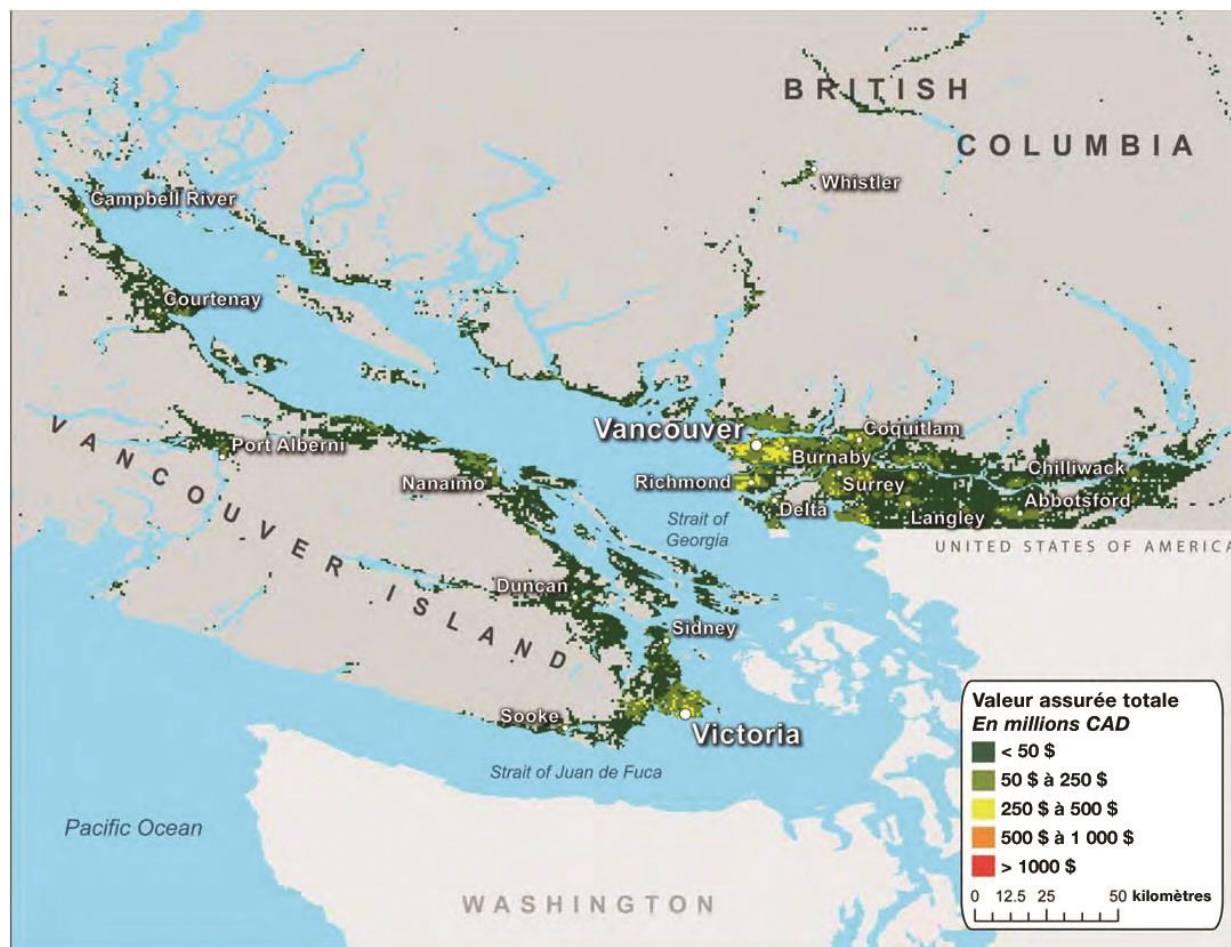


**Illustration 29 : Valeur de tous les biens résidentiels, scénario de l'Ouest**

L'illustration 29 ci-haut et l'illustration 30 ci-dessous comparent les valeurs de toute l'exposition au risque des biens résidentiels et assurés touchés par l'événement de l'ouest. Le pourcentage de maisons et d'appartements résidentiels qui possèdent une assurance en cas de tremblement de terre est beaucoup plus élevé dans cette région que dans l'est du Canada, mais il y a quand même un grand nombre qui est

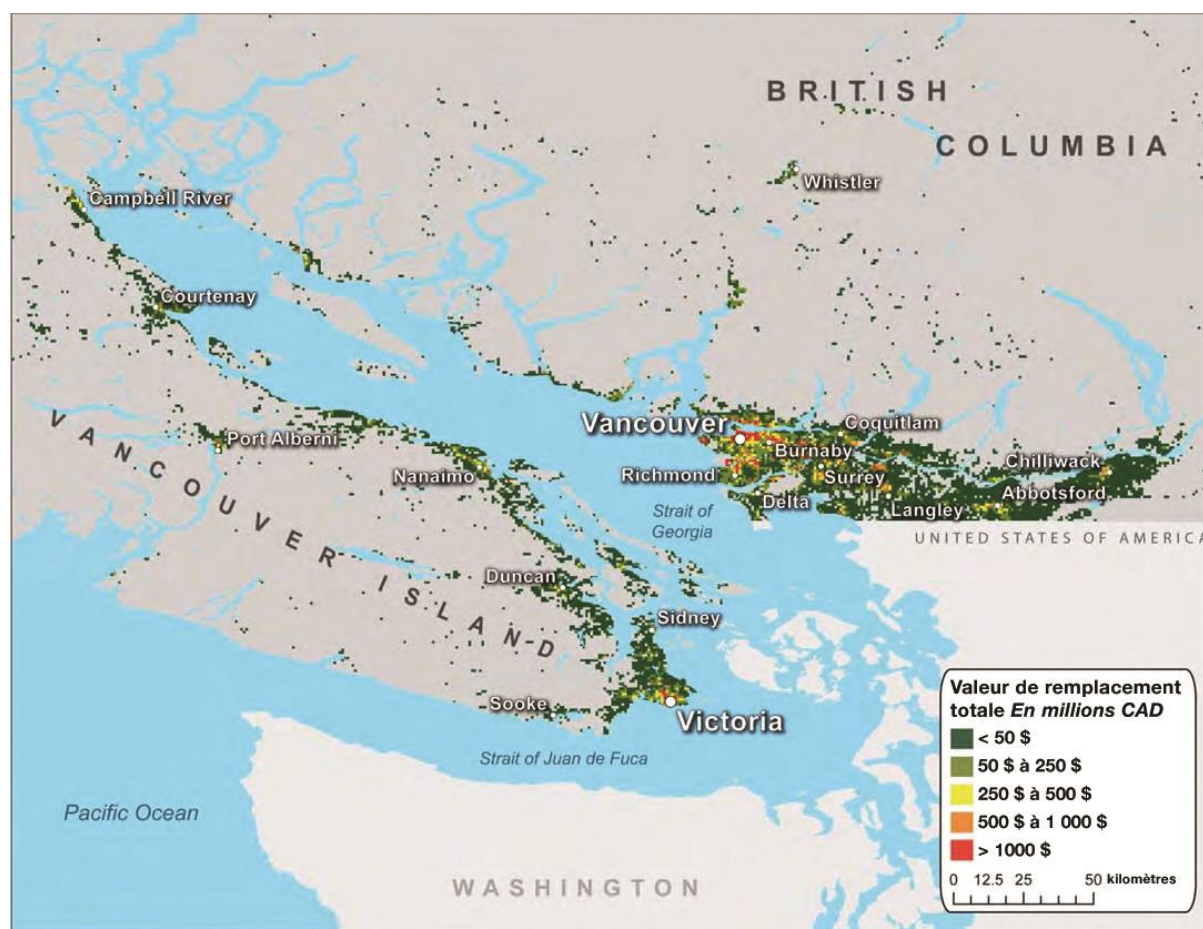


sans assurance. Ce profil est peut-être plus apparent dans le centre-ville de Vancouver, où il y a une large concentration d'appartements.



**Illustration 30 : Valeur des biens assurés, scénario de l'Ouest**

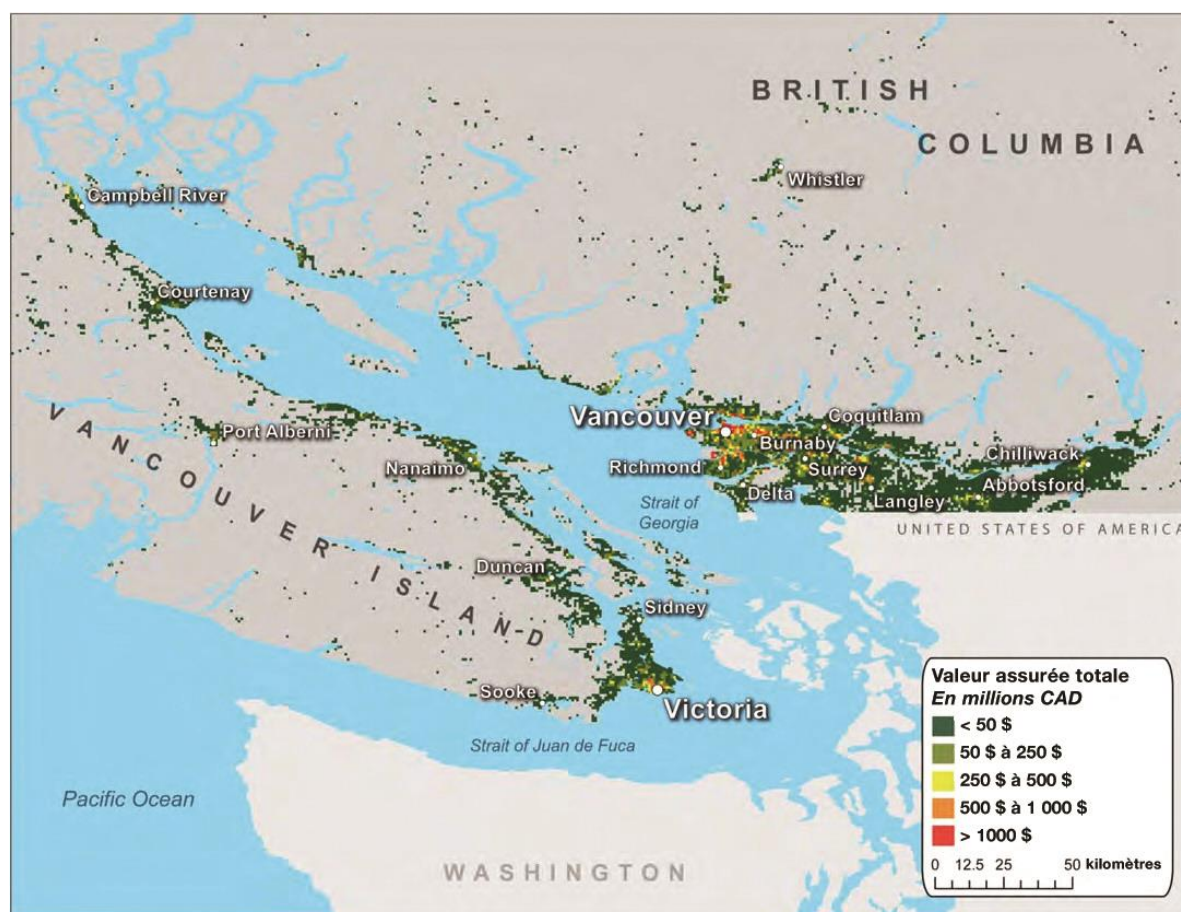
Les établissements commerciaux tendent à être plus concentrés dans les secteurs du centre-ville qui ont plusieurs groupes d'édifices de grande hauteur. Les établissements industriels sont souvent groupés dans des parcs industriels distincts que l'on trouve dans la région métropolitaine.



**Illustration 31 : Valeur de tous les biens commerciaux et industriels, scénario de l'Ouest**

Ce profil est apparent dans les illustrations 31 et 32 qui démontrent que les valeurs de l'exposition au risque de tous les biens commerciaux et industriels, et des biens assurés touchés par l'événement de l'ouest.

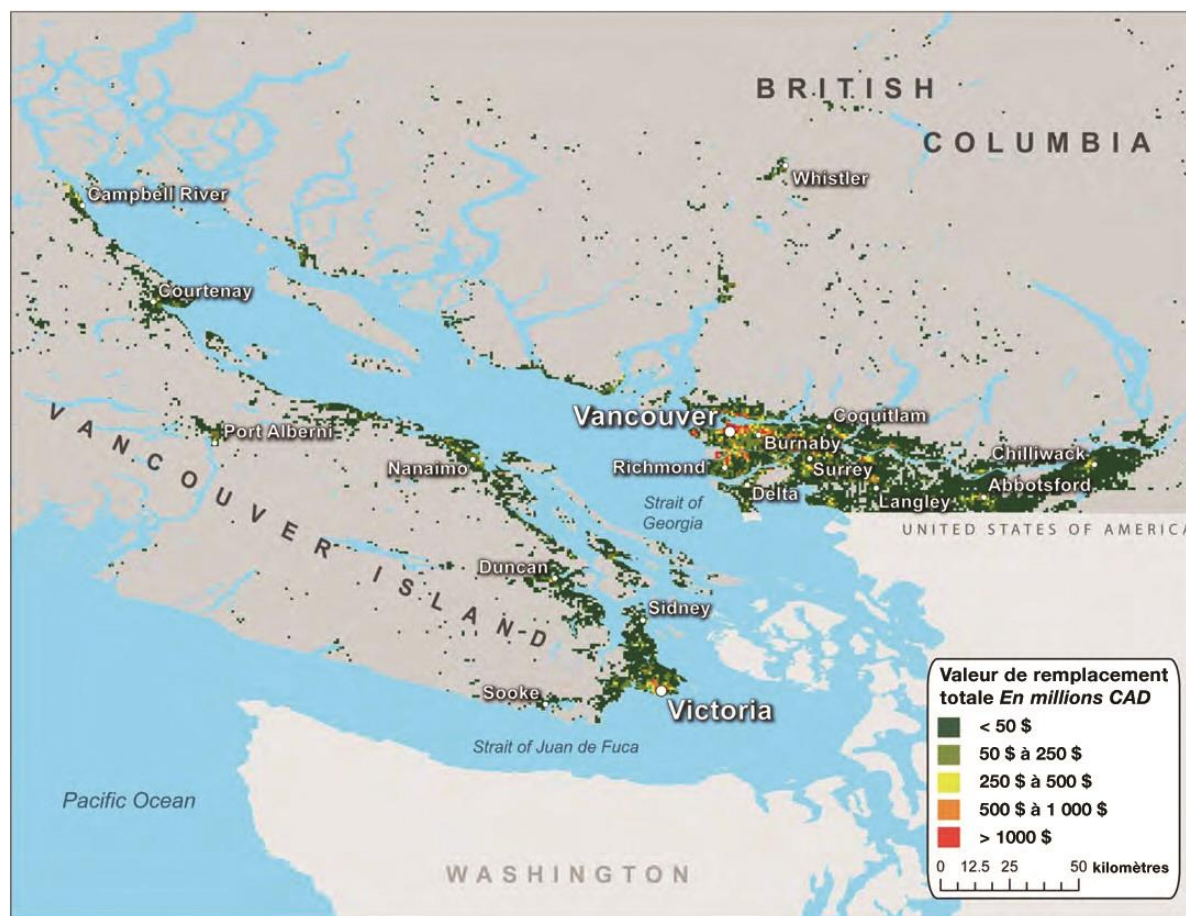
Dans l'ensemble, le taux d'entreprises qui ont une assurance en cas de tremblement de terre est plus élevé que pour les maisons et les appartements résidentiels, ce qui entraîne une différence moins notable entre les cartes de biens assurés et la carte de tous les biens en ce qui a trait aux édifices commerciaux lorsqu'on les compare aux biens résidentiels (illustrations 29 et 32). En outre, le pourcentage d'entreprises qui ont une assurance en cas de tremblement de terre est plus élevé ici que n'importe où au Canada.



**Illustration 32 : Valeur des biens commerciaux et industriels assurés, scénario de l'Ouest**

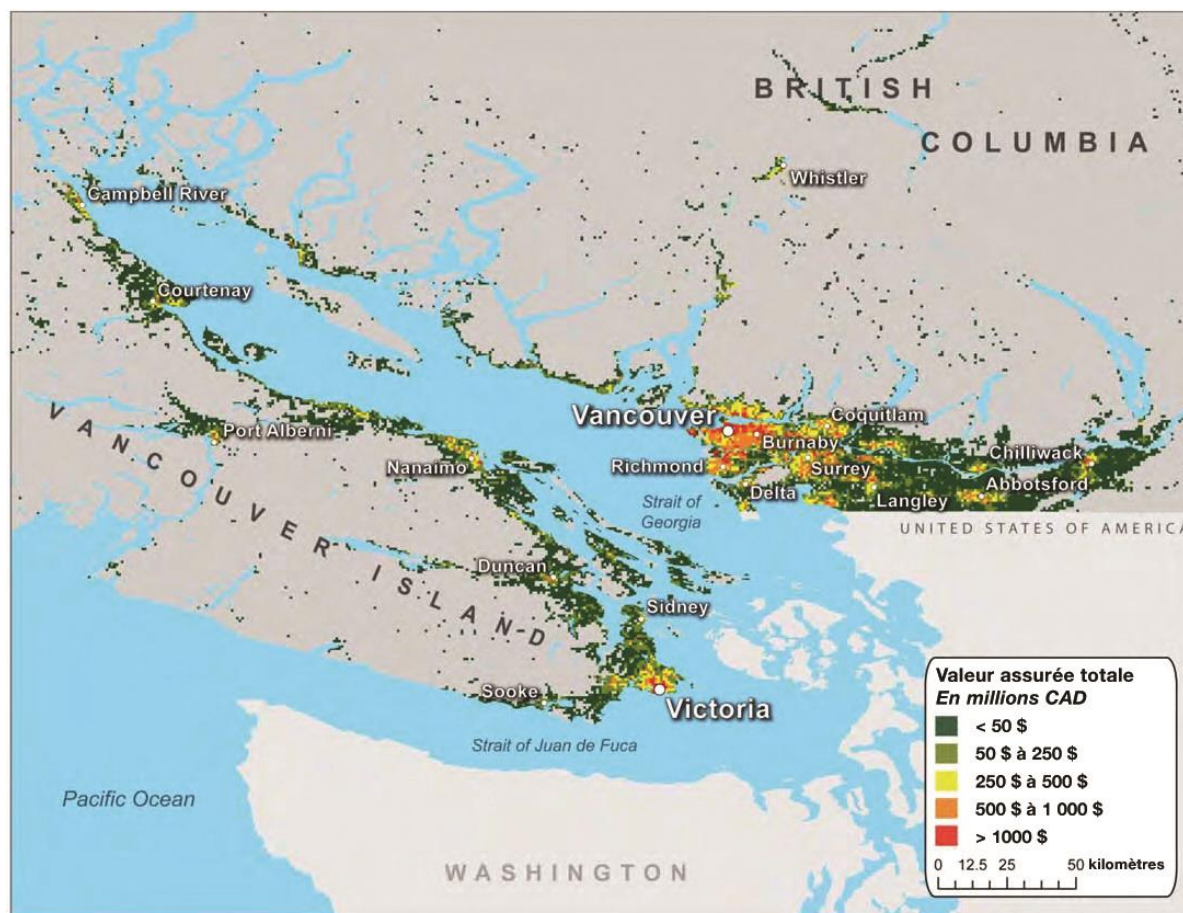
Puis, les illustrations 33 et 34, le total des valeurs des biens assurés et de tous les biens (commerciaux et industriels, résidentiels, agricoles et automobiles) font état du scénario de l'Ouest. La concentration de l'exposition au risque dans les régions du Grand Victoria et du Grand Vancouver est très évidente.





**Illustration 33 : Valeur totale de tous les biens, scénario de l'Ouest**

L'illustration 33 démontre la valeur totale de toutes les biens dans la partie principale du scénario de l'Ouest, peu importe si les biens sont assurés ou pas. La concentration de biens et de population le long des rives du détroit de Georgia à la pointe sud de l'Île de Vancouver, et à l'est de la ville de Vancouver est clairement visible.



**Illustration 34 : Valeur totale des biens assurés, scénario de l'Ouest**

La valeur totale des biens assurés de la région est démontrée à l'illustration 34, lorsqu'elle est comparée à la valeur de tous les biens de l'illustration 33 qui inclut la valeur qui n'est actuellement pas assurée.

En observant de plus près la valeur totale des biens assurés de l'illustration 35, nous voyons plus clairement une concentration plus élevée du risque assuré à Vancouver, Victoria, et leurs environs.

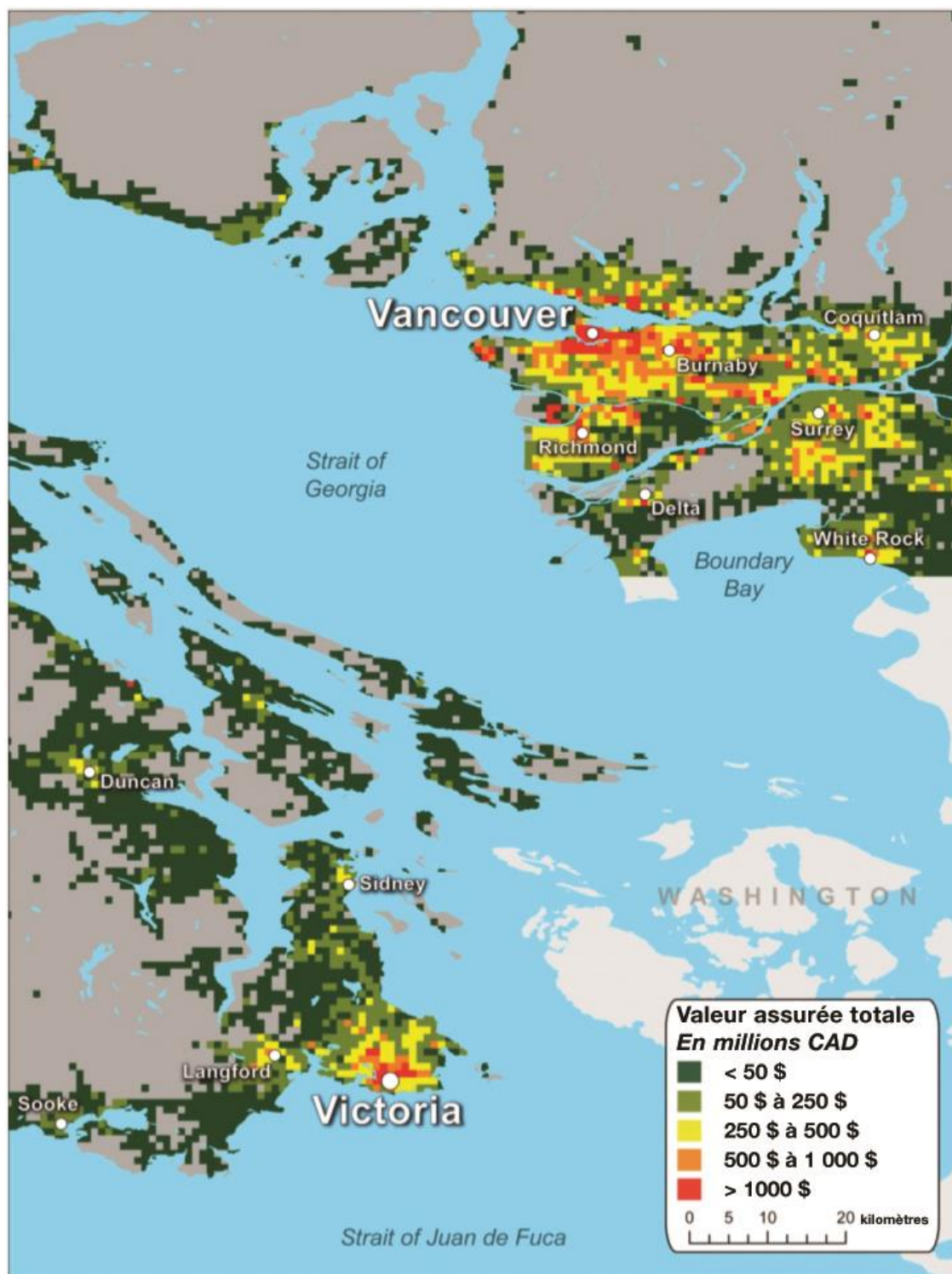
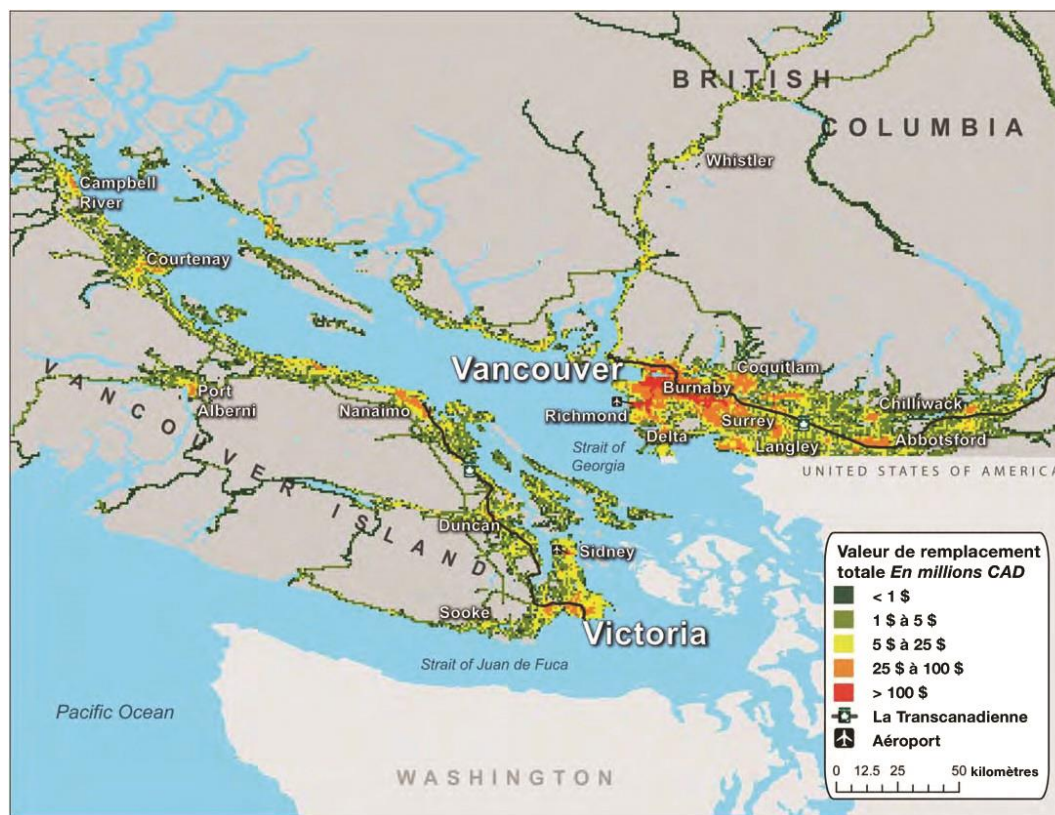


Illustration 35 : Carte de la valeur totale des biens assurés de Vancouver et Victoria



La valeur totale de l'infrastructure est démontrée à l'illustration 36. L'infrastructure peut être privée, publique ou autoassurée, mais chaque type n'a pu être déterminé à partir des données disponibles. Pour cette raison, les taux de pénétration du marché, qui constituent les mesures de la valeur totale des biens assurée par rapport à la valeur de tous les biens, n'ont pu être définis, et donc la valeur de l'infrastructure illustrée ici ne fait pas la distinction entre la valeur de tous les biens et celle des biens assurés.



**Illustration 36 : Valeur totale de l'infrastructure, scénario de l'Ouest**

Les profils les plus apparents sur la carte de l'infrastructure sont les réseaux routiers et ferroviaires, la voie ferrée étant particulièrement visible au sud-est à partir du centre-ville de Vancouver. Il y a également une grande concentration de la valeur autour des aéroports internationaux de Vancouver et de Victoria, de même que les régions portuaires entourant le havre de Vancouver.

## Risque

Dans les sections qui suivent, nous décrivons les divers aspects du risque représenté par le scénario; c'est-à-dire, les divers moyens par lesquels le tremblement de terre hypothétique causerait des dommages et des pertes. Le risque de tremblement de terre comprend la secousse tellurique, la liquéfaction, le glissement de terrain, l'incendie post-sismique et le tsunami.

### Secousse tellurique

Dans le scénario retenu pour la Colombie-Britannique, la secousse est de magnitude 9.0. L'épicentre est situé au large de la côte ouest de l'Île de Vancouver. Les paramètres de rupture détaillés pour cet événement figurent dans le tableau 17.

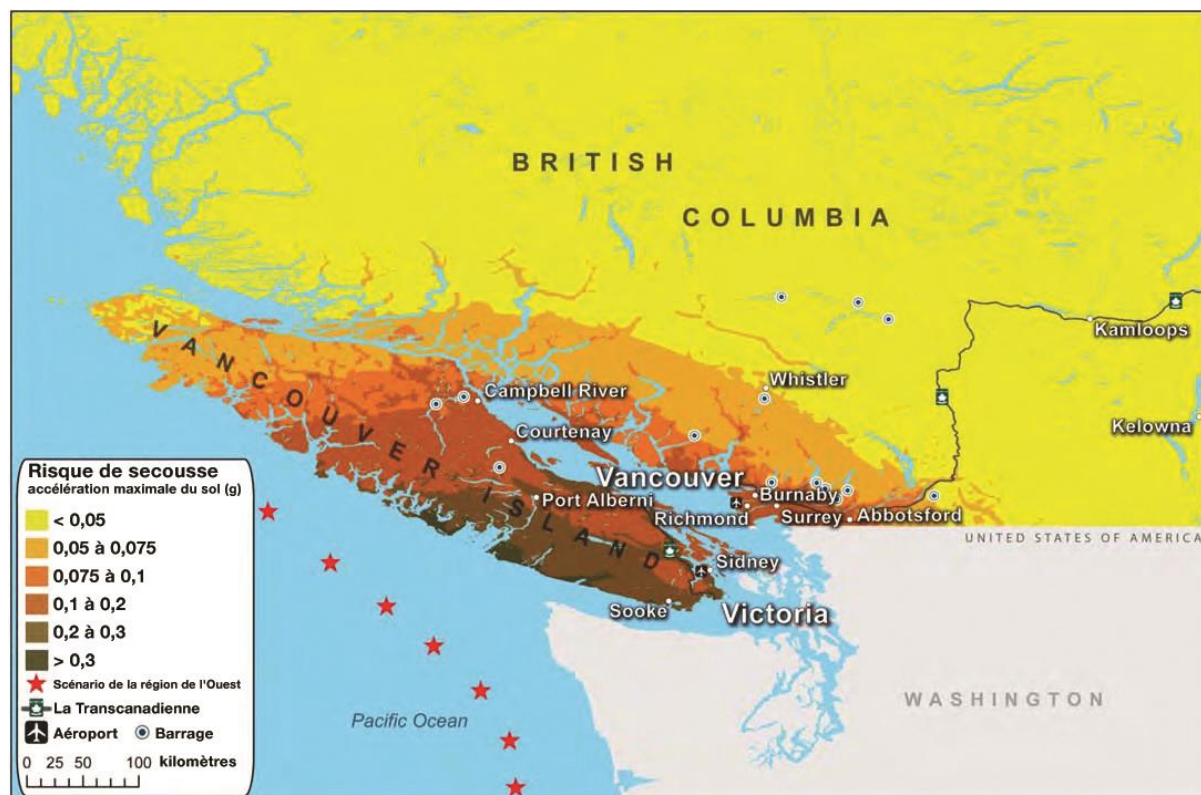
**Tableau 17 : Paramètres détaillés de la rupture pour le scénario de l'Ouest**

Magnitude	Latitude de l'épicentre	Longitude de l'épicentre	Profondeur	Longueur de la rupture	Largeur de la rupture
9,0	44,706	-124,569	11 km	840 km	122 km

Un séisme peut entraîner des ondes sismiques de périodicités et de longueurs variées.

Les édifices et l'infrastructure répondent aux ondes sismiques de fréquences différentes de manière différente, selon leurs caractéristiques structurelles et leur hauteur.

Le modèle de tremblement de terre de la société AIR utilise plusieurs accélérations - y compris l'accélération maximale du sol (PGA) et des accélérations spectrales (mesures de l'intensité des ondes sismiques) de 0,3 seconde et de 1 seconde - pour définir le spectre du mouvement de sol à chaque endroit, calculer les dommages aux différents types de structures et calculer l'impact local des risques secondaires comme la liquéfaction et le glissement de terrain.



**Illustration 37 : Champ d'intensité du mouvement de sol (accélération maximale du sol) du scénario de l'Ouest. Chaque étoile rouge représente le centre d'une parcelle d'une faille rompue durant le séisme**

L'illustration 37 ci-dessus démontre le champ d'intensité du mouvement de sol exprimée en termes d'accélération maximale du sol (PGA; notez bien que le PGA est exprimé en unités g, la constante de gravitation). On s'attend au PGA le plus élevé excédant 0,3 g au sud de l'Île de Vancouver près de la source de la rupture. L'intensité du mouvement de sol décroît en fonction de la distance de la source de la rupture.

On s'attend à ce que Vancouver et Victoria connaissent un PGA de 0,1 à 0,3 g. Delta et Richmond pourraient connaître un mouvement de sol plus élevé que les régions avoisinantes parce qu'elles sont situées sur des sédiments mous du delta Fraser, qui tendent à amplifier le mouvement de sol.



**Illustration 38 : Carte MM du scénario de l'Ouest. Chaque étoile rouge représente le centre d'une parcelle d'une faille rupturée durant le séisme**

L'illustration 38 fournit un autre aperçu du risque de secousse, en utilisant cette fois l'échelle MM. Comme nous l'avons mentionné dans la Section 5, l'échelle MM décrit l'intensité d'un séisme en termes plus descriptifs.

L'illustration 39 est une carte MM plus détaillée pour Vancouver et Victoria. Comme on peut le constater sur l'illustration 39, l'intensité de la secousse est aussi élevée que MM VIII dans certains secteurs de Delta, Richmond et Victoria. Avec cette intensité, les édifices en maçonnerie non renforcée subiront des dommages importants, y compris un effondrement partiel. Certains murs en maçonnerie vont tomber et certaines cheminées et monuments pourraient être tordus et renversés. Victoria est, bien entendu, une des plus vieilles villes du Pacifique Nord-Ouest et est réputée pour ses nombreux édifices historiques en maçonnerie non renforcée.

Une grande région, couvrant Surrey, Burnaby, Coquitlam et l'Île de Vancouver subiront des secousses d'intensité VII à l'échelle MM. Si on se rappelle du tableau 16, à ces niveaux d'intensité, nous prévoyons des dommages importants, plus particulièrement aux édifices moins bien construits (comme les édifices en maçonnerie non renforcés) et des dommages légers à considérables dans les structures moyennement et bien construites.

La valeur totale de tous les biens dans le même secteur se trouve dans l'illustration 40 ci-dessous.

Lorsqu'on examine la répartition de l'exposition au risque de même que les empreintes d'intensité, nous remarquons qu'il y a une importante accumulation évidente de la valeur à risque dans les secteurs qui connaissent d'importantes secousses, et on s'attend donc à des pertes importantes dans ces secteurs.

De même, l'illustration 41 démontre le mouvement de sol par accélération maximale du sol qui est bien corrélé aux dommages de l'infrastructure. L'illustration 42 montre la valeur de l'infrastructure dans la région.

En combinant l'exposition au risque et l'empreinte du mouvement de sol, on remarque des dommages importants et une perte de l'infrastructure est possible au nord de Richmond et à Burnaby, Coquitlam et Victoria. En outre, les valeurs de PGA élevées à Richmond et Delta, qui peuvent connaître un effondrement du sol, augmentent la possibilité de dommages dus à la liquéfaction.





Illustration 39 : Carte de MM pour Vancouver et Victoria



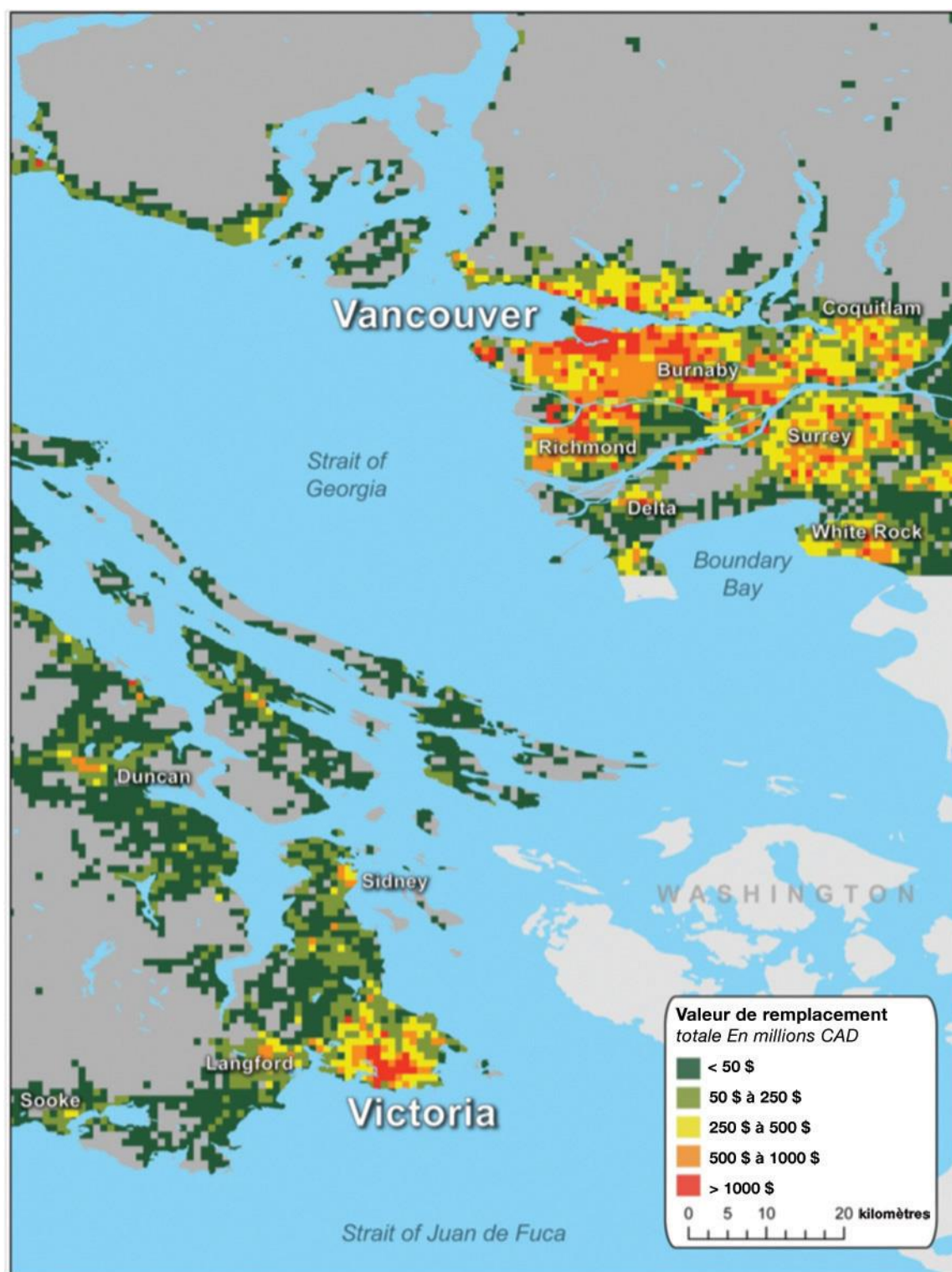


Illustration 40 : Valeur totale de tous les biens, Vancouver et Victoria

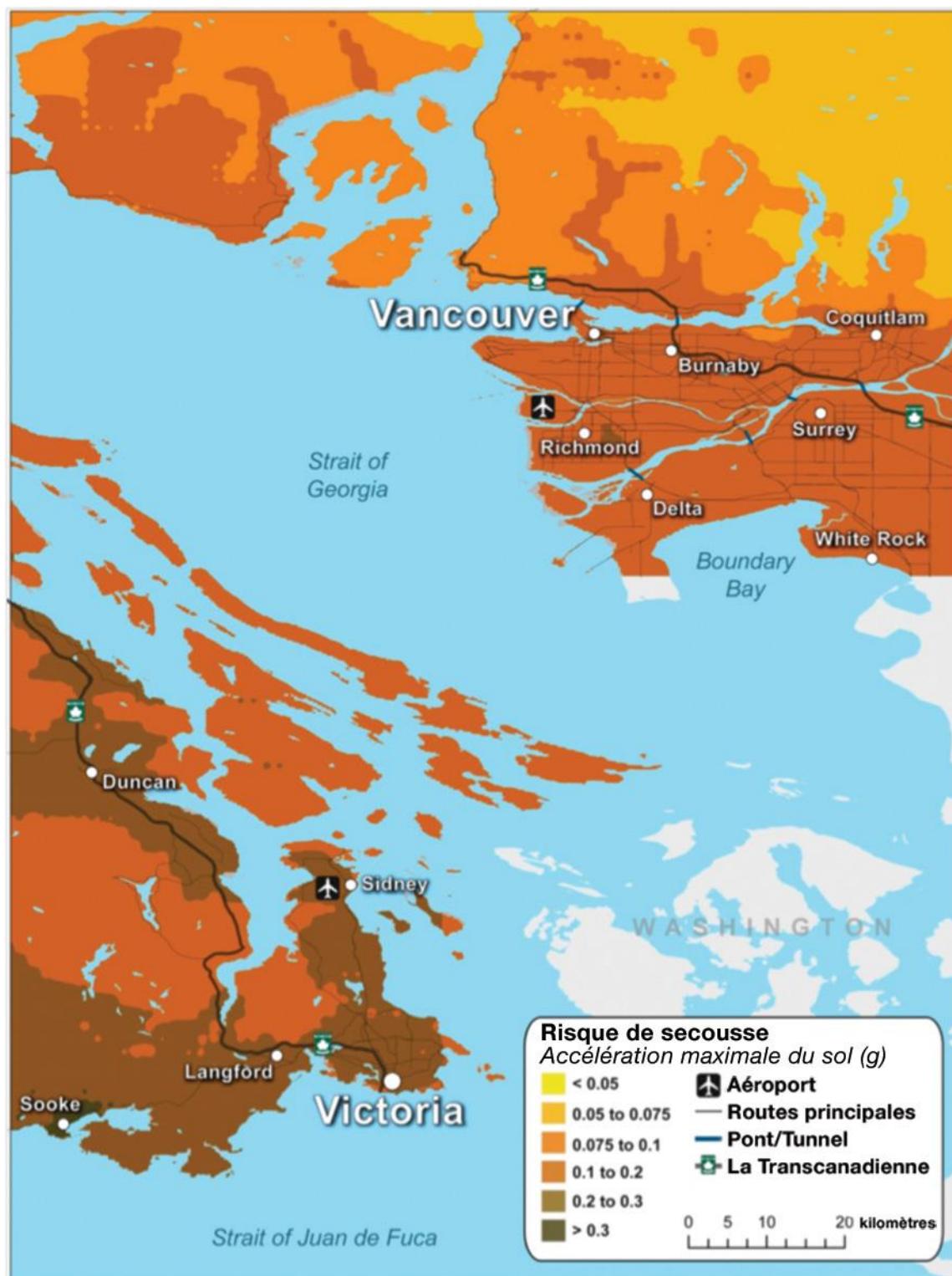


Illustration 41 : Champ d'intensité du mouvement de sol (accélération maximale du sol) pour Vancouver et Victoria

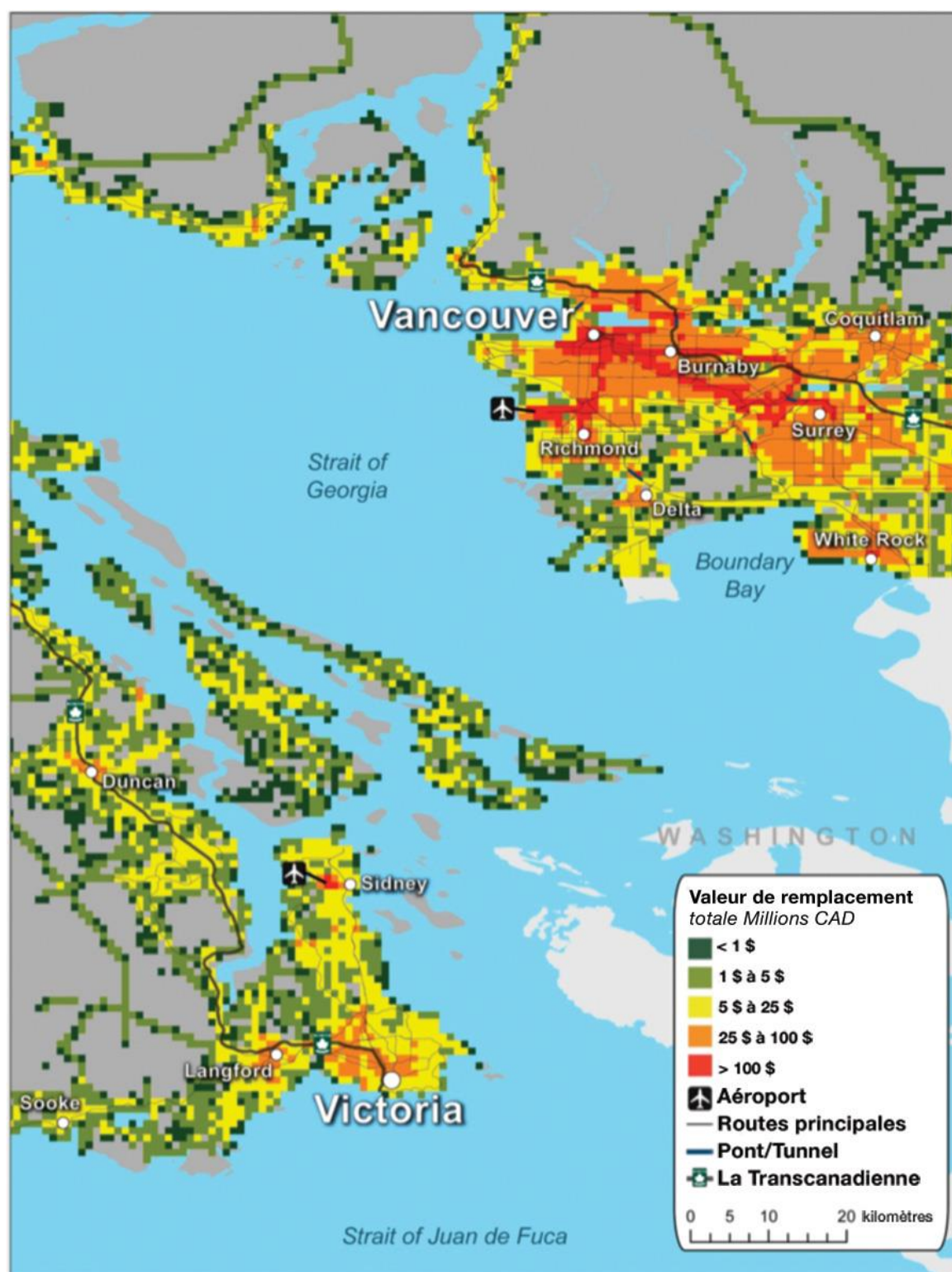
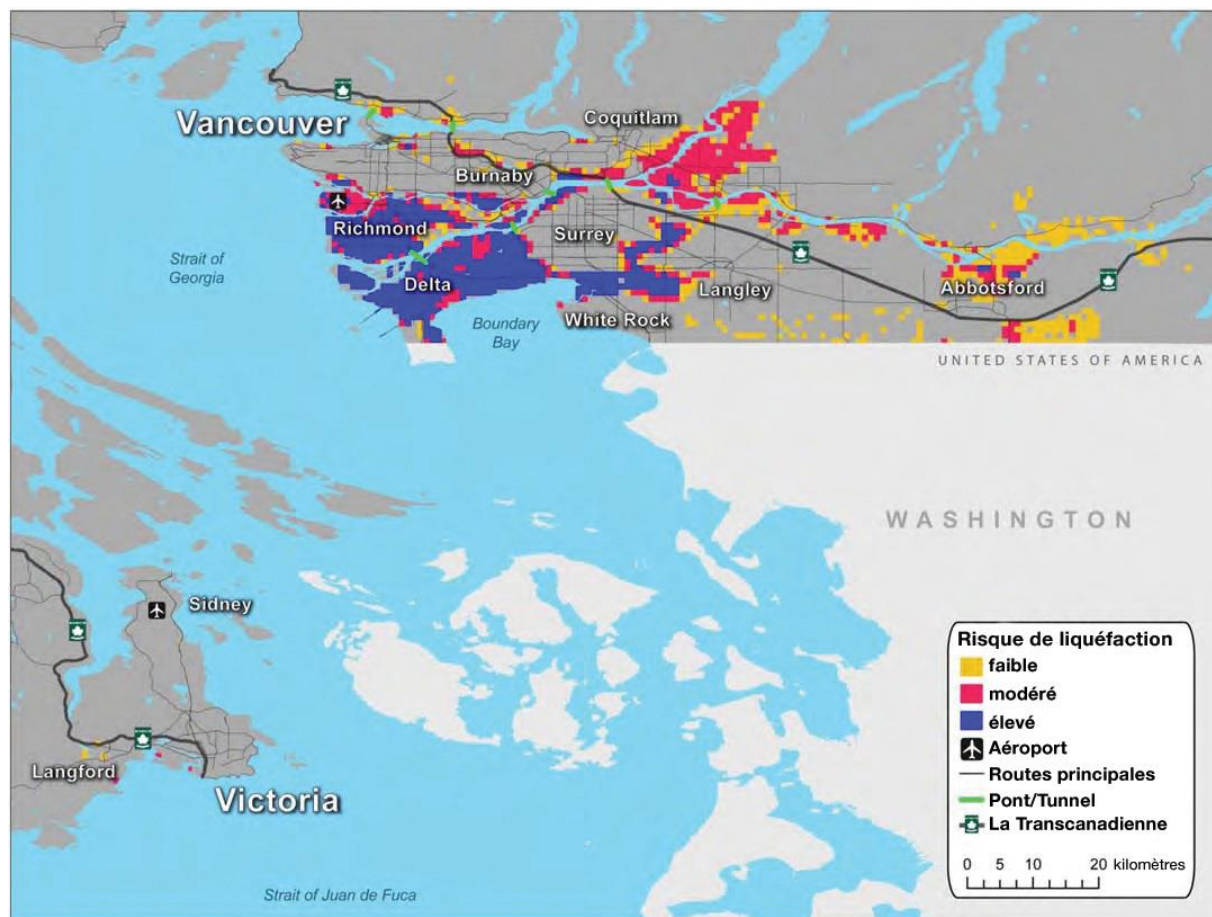


Illustration 42 : Valeur totale de l'infrastructure, Vancouver et Victoria



### Liquéfaction

D'après le scénario de l'Ouest, le séisme devrait causer des dommages de liquéfaction dans les secteurs qui reposent sur de jeunes sédiments holocènes saturés du delta du fleuve Fraser (l'holocène est l'époque géologique qui date approximativement d'il y a 12 000 ans à nos jours). Pour prédire des dommages de liquéfaction, il faut déterminer les sols susceptibles de liquéfaction, les niveaux d'eau souterraine et l'intensité de la secousse tellurique. Une carte du risque de liquéfaction, en fonction de ces paramètres, a été créée pour l'événement du scénario et fait partie de l'illustration 43 ci-dessous.



**Illustration 43 : Carte du risque de liquéfaction pour le scénario de l'Ouest**

Dans les régions où le risque de liquéfaction est de niveau modéré à élevé, comme il est illustré sur la carte du risque de liquéfaction, les dommages seront associés à la secousse tellurique et à la rupture du sol en raison de la liquéfaction. Des dommages de liquéfaction sont prévus à Delta, Richmond et à des parties de Burnaby, Surrey, Port Coquitlam, Pitt Meadows, Maple Ridge et Abbotsford en raison des sédiments meubles granuleux, une nappe d'eau près de la surface du sol et une secousse tellurique de longue durée.

Le tremblement de terre du scénario de l'Ouest aurait une longue durée de secousse tellurique en raison de sa magnitude élevée. Plus la durée des événements est longue, plus il y a de liquéfaction en raison de l'accumulation de pression élevée de l'eau interstitielle avec la secousse plus élevée. La liquéfaction fait en sorte qu'un sol solide devient temporairement mou et entraîne un déplacement permanent du sol.

Ces déplacements permanents du sol causes des dommages importants aux édifices et au réseau vital. Les édifices peuvent se tasser, pencher ou glisser en raison de la rupture sous-jacente. La plupart des immeubles bas et moyennement élevés de la région du Grand Vancouver ont préinstallé des remblais de sable dans leurs fondations. Certains des immeubles de hauteur moyenne ou de grande hauteur sont construits sur les fondations sur pilotis. Le risque de liquéfaction sera réduit par ces améliorations aux fondations. D'autre part, les immeubles dont les fondations sont plus faibles, pourraient connaître des dommages plus élevés en raison des changements inégaux du nivellement de la surface.

L'effondrement du sol induit par la liquéfaction a également un impact important sur le réseau vital comme les routes, les chemins de fer, les ponts et les pipelines souterrains. Le réseau de transport dans la vallée du Bas Fraser comprend des routes, des autoroutes, des ponts et des tunnels dans les régions où le risque de liquéfaction est de modéré à important. D'importants tassements de sable meuble saturé peut faire plier les voies ferrées, rupturer les surfaces de la route et endommager les fondations des ponts et les tunnels. La liquéfaction peut également endommager les pistes de l'aéroport au moyen d'un tassement inégal. Les conduites souterraines et de surface dans les secteurs de risque de liquéfaction de niveau modéré à élevé seront également touchées. Certaines des digues entourant la région du delta de Fraser visant prévenir les inondations lors de marées hautes peuvent être affectées par la liquéfaction.

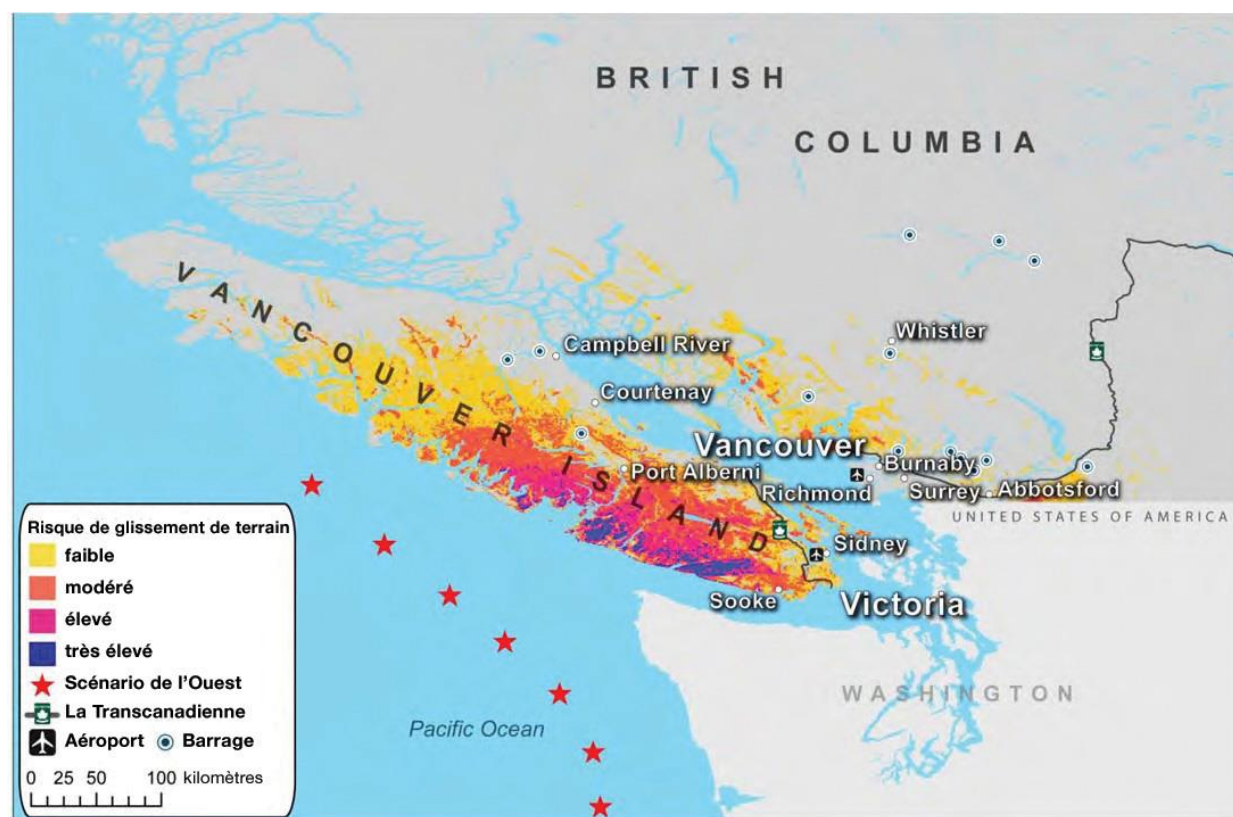
Nous prévoyons de légers dommages de liquéfaction dans les hautes terres de la région du Grand Vancouver, y compris la ville de Vancouver, en raison des sols qui sont moins susceptibles et des niveaux moins élevés d'eau souterraine. Dans la région du Grand Victoria, nous prévoyons des dommages de liquéfaction uniquement dans plusieurs endroits artificiellement remplis le long de la rive.

Il convient de noter que l'approche régionale adoptée dans la présente étude peut fournir une estimation raisonnable des dommages de liquéfaction, mais la prédiction des effets de liquéfactions particuliers à un site exigent des données géotechniques particulières à chaque site.

#### **Glissement de terrain**

L'événement du scénario de l'ouest prévoit déclencher des glissements de terrain dans le sud de l'Île de Vancouver et les montagnes de la côte sud de la Colombie-Britannique. Des cartes du risque de glissement de terrain pour le scénario de l'Ouest se trouvent dans les illustrations 44 et 45. Le risque de glissement de terrain fait référence au potentiel de glissement de terrain à titre de fonction du sol/type de roche, topographie et intensité de la secousse tellurique. Les principales routes, lignes ferroviaires et lignes de transmission de l'énergie dans les secteurs de grands risques de glissement de terrain seraient bloquées et endommagées par les glissements de terrain durant le séisme.

Même si l'événement du scénario de l'Ouest peut ne pas entraîner de glissement de terrain dans les régions urbaines de Vancouver et Victoria, des blocages possibles aux réseaux vitaux interrompraient l'activité économique.



**Illustration 44 : Carte du risque de glissement de terrain pour le scénario de l'Ouest**



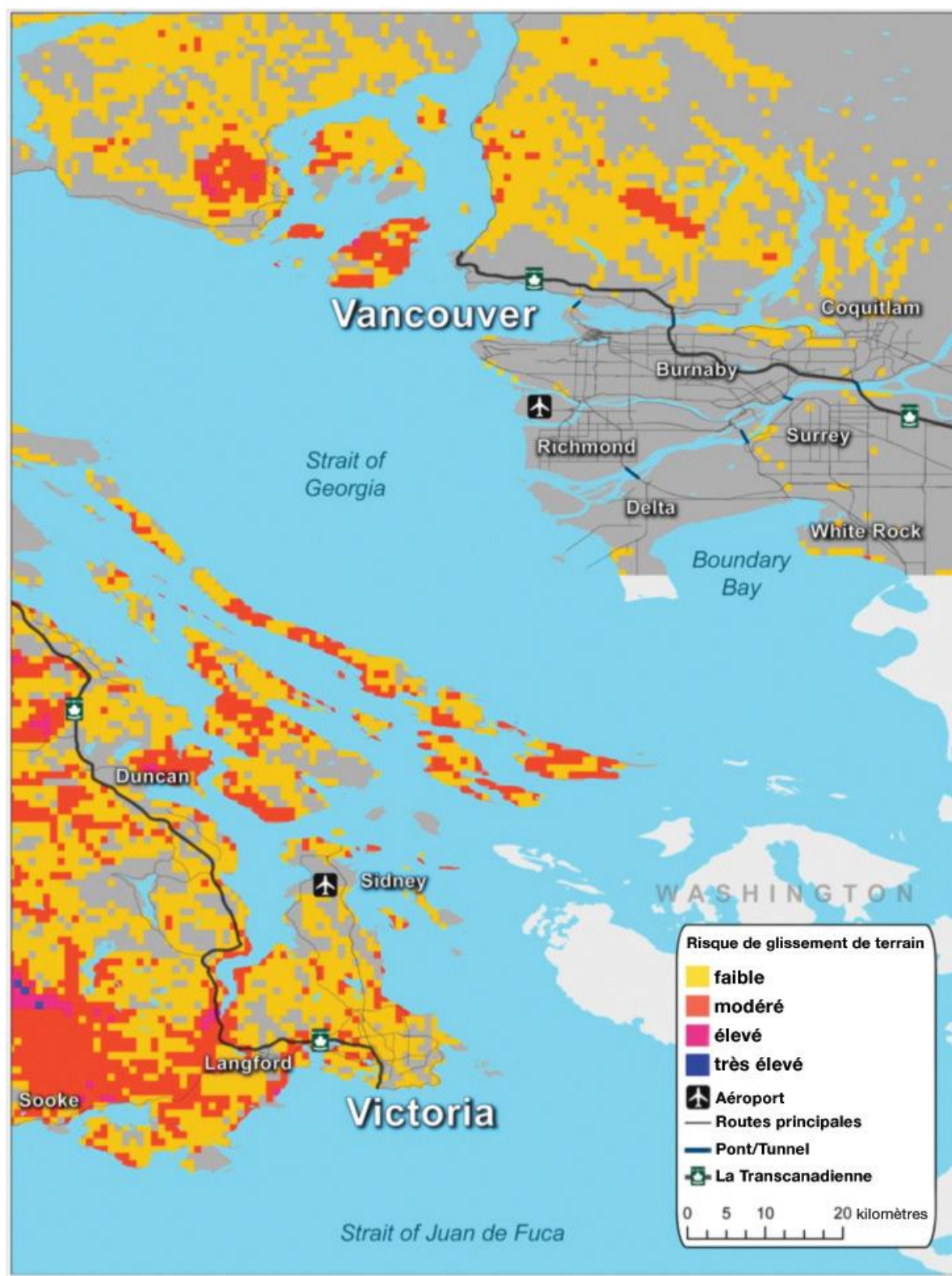


Illustration 45 : Carte du risque de glissement de terrain à Vancouver et Victoria

***Incendie consécutif à un tremblement de terre***

Les séismes qui surviennent dans les régions développées peuvent causer des incendies en raison de dommages aux édifices occasionnés par la secousse tellurique. Le risque d'incendie post-sismique est lié à la densité de construction et au niveau de mouvement de sol, entre autres facteurs. Le scénario de l'Ouest est un événement dans une grande zone de subduction qui entraîne un mouvement de sol dans un vaste secteur de la Colombie-Britannique (voir les illustrations 37 et 38). Les principaux endroits touchés par des incendies post-sismiques sont les régions du Grand Vancouver et de Victoria. Une vitesse du vent de 19 km/h a été retenue pour le scénario en fonction des données climatiques locales. Vous trouverez ci-dessous l'évaluation du risque d'incendie post-sismique attribuable à ce séisme. L'évaluation suggère que des incendies locaux intenses, capables de se propager à plusieurs édifices et à l'occasion d'un quadrilatère à l'autre, représenteront un défi pour les premiers intervenants dans les régions de Vancouver et de Victoria.

***Environnement de la construction***

La plupart des maisons unifamiliales de la Colombie-Britannique ont des charpentes en bois et un revêtement extérieur combustible. Après un important séisme, un incendie peut croître et se propager rapidement à ces maisons. Les édifices incombustibles, comme ceux dont l'extérieur est en verre et acier ou en béton, des matériaux communément utilisés pour les édifices commerciaux et les immeubles appartements, tendant à avoir un risque plus faible de propagation d'incendie, mais ils ne sont pas complètement à l'abri de tout risque. Par exemple, un incendie dans un édifice proche pourrait se propager à un édifice incombustible par les fenêtres de l'édifice, comme nous l'avons constaté dans les incendies consécutifs au tremblement de terre de Kobe, au Japon, en 1995.

La plupart des édifices du centre urbain de Vancouver sont à très grande proximité d'autres structures, ce qui augmente le risque de propagation d'un édifice à l'autre. Les maisons et autres structures dans les régions suburbaines et rurales sont plus espacées, ce qui peut empêcher l'incendie de se propager.



**Illustration 46 : Une maison historique avec une charpente en bois à Victoria, Colombie-Britannique (World Housing Encyclopedia)**

#### *Mouvement de sol*

Le plus puissant mouvement de sol survient sur le côté ouest, légèrement développé, de l'Île de Vancouver, qui a un risque limité d'incendie post-sismique en raison de la faible densité de construction. Il n'en demeure pas moins que le mouvement de sol qui sera ressenti dans les régions plus densément peuplées du Grand Vancouver et de Victoria est suffisamment puissant pour allumer un nombre important d'incendies post-sismiques.

#### *Ignitions*

Immédiatement après la secousse tellurique, plusieurs incendies vont s'allumer. Les feux sont la plupart du temps allumés par des éléments qui sont tombés sur des éléments chauffants ou par des courts-circuits électriques ou la rupture de conduites à gaz. Des édifices commerciaux peuvent être inoccupés, ce qui peut laisser le feu se propager alors qu'il n'y a personne pour l'éteindre pendant une période prolongée.



**Illustration 47 : Un important incendie fait rage dans le port d'Odaiba à la suite du séisme et du tsunami à Sendai en 2011 au Japon (Hikosaemon)**

Les premières heures après le tremblement terre représentent le plus grand défi pour les premiers intervenants, parce que cette période coïncide avec le point culminant du nombre d'incendies simultanés. Toutefois, en raison du niveau des ressources d'extinction et de la répartition spatiale dispersée des scénarios, bon nombre d'incendies initiaux seront maîtrisés avant que d'autres ignitions tardives se produisent (voir la ligne de temps pour l'ignition au tableau 18). La ligne de temps de l'ignition causée par le tremblement de terre dans toute la région touchée ne comprend pas les incendies qui ont été allumés par leur proximité d'incendies aux quadrilatères adjacents et ne comprend que les incendies qui se sont allumés de manière indépendante en raison du séisme. La plupart des ignitions retardées sont attribuables au rétablissement du courant dans un secteur où les systèmes d'alimentation électrique ont été endommagés. Globalement, la secousse tellurique issue d'un séisme entraînera des incendies dans 55 à 65 pâtés de maisons dans les deux jours suivant le séisme.

Près de 50 % des incendies allumés par le tremblement de terre auront lieu dans la région du Grand Vancouver, alors que seulement 10 % des incendies semblables auront lieu dans la région de Victoria. Quelques incendies sont concentrés dans le secteur central des affaires de Vancouver, où le risque d'ignition est augmenté en raison des lignes aériennes d'électricité qui sont à proximité des édifices de hauteur moyenne et de grande hauteur. La région de Burnaby connaîtra un nombre élevé d'incendies comparativement à la région du Grand Vancouver. D'autres foyers d'incendies sont répartis dans la région touchée, dans de petites collectivités.



Les petites collectivités vont probablement subir moins d'incendies simultanés, mais un feu qui s'allume peut ravager plusieurs édifices dans un quadrilatère, voire même tout le quadrilatère.

**Tableau 18 : Ligne de temps des ignitions d'incendie**

Temps écoulé depuis le séisme	Ignitions primaires cumulatives
20 minutes	12
1 heure	24
3 heures	48
10 heures	54

#### *Étendue*

Nous prévoyons des incendies d'ampleurs diversifiées à la suite de ce tremblement de terre, des maisons unifamiliales aux incendies qui s'étendent sur plusieurs quadrilatères. En moyenne, chaque incendie devrait durer environ 3 heures. La durée de ces incendies suggère qu'ils touchent plusieurs édifices moyens ou une grande maison unifamiliale dans chaque quadrilatère touché.

Bien que la vitesse du vent retenue dans ce scénario soit de 19 km/h, la vitesse moyenne du vent pour la région touchée par ce séisme est inférieure, aux environs de 11 km/h, selon les données historiques. Certains des 55 à 65 incendies primaires qui ont été allumés par le tremblement de terre allument par la suite des incendies aux quadrilatères avoisinants. Les incendies se propagent à un total de près de 100 quadrilatères dans le secteur touché et brûlent une superficie totale de 1,5 à 2,5 millions de pieds carrés de plancher d'édifice. La vitesse du vent modérée de 19 km/h et la disponibilité des ressources de suppression suffisantes vont atténuer les pertes subies en raison de cet événement, ce qui aurait un impact plus grand si les conditions créaient un environnement plus susceptible au risque d'incendie.

#### *Suppression*

Étant donné les antécédents d'incendies post-sismiques dans d'autres centres peuplés lors de séismes comme à San Francisco et Los Angeles, en Californie; ou à Kobe, au Japon; la ville de Vancouver a mis sur pied un système spécialisé de protection contre les incendies (DFPS) dans le but d'être prêt en cas d'incendies résultant d'un séisme semblables au présent scénario. Le DFPS est un système auxiliaire d'alimentation en eau conçu pour résister à une forte secousse tellurique et protéger le district d'affaires central de Vancouver. Le système a été conçu pour modifier le système d'alimentation en eau déjà en place dont les principales lignes de transmission ont un risque élevé de dommages en raison de la liquéfaction. Les ressources du DFPS n'ont jamais été mises à l'essai, mais leur conception se fonde sur d'autres systèmes existants qui ont très bien performé dans des conditions de séisme.

À l'extérieur du secteur protégé par le DFPS, l'alimentation en eau sera la principale source d'atténuation des incendies allumés après le tremblement de terre.



Les secteurs les plus à risque de liquéfaction, qui peut causer des dommages importants aux systèmes d'alimentation en eau et réduire ou éliminer le débit d'eau, réside entièrement à l'extérieur du secteur protégé par le DFPS, c'est-à-dire la région de Richmond. Victoria ne subira pas beaucoup de liquéfactions, mais les tuyaux d'alimentation en eau pourront quand même être endommagés par la secousse tellurique.

D'importants dommages à l'alimentation en eau ont été observés lors du tremblement de terre de Northridge en 1994, ce qui a forcé les services d'incendie à utiliser les piscines et autres moyens de s'alimenter en eau (Scawthorn et coll., 2005). S'il y a une défaillance importante du système d'alimentation en eau dans la région de Vancouver, des incendies peuvent se propager et être hors de contrôle et occasionner des dommages à une région beaucoup plus grande comme ce fut le cas lors du tremblement de terre de Kobe en 1995. (Scawthorn, et coll., 2005).

Un facteur secondaire dans l'extinction des incendies après un fort séisme est la préparation des services d'incendie à opérer à pleine capacité à la suite d'un tel événement. La plupart des services d'incendie de la région ont des plans et des procédures pour ce genre de scénario, mais ils ont en fait très peu d'expérience dans le domaine.

D'autres facteurs peuvent entraîner des dommages exacerbés en raison d'incendies consécutifs à la suite d'un tremblement de terre. Certaines stations d'incendie peuvent subir des dommages structurels, comme ce fut le cas lors du tremblement de San Francisco en 1906, alors que 10 stations d'incendie ont subi d'importants dommages (Scawthorn, et coll., 2005). Heureusement, en 1906 à San Francisco, aucun camion n'a été endommagé, mais il demeure possible que des dommages à une caserne de pompiers fassent en sorte que les camions qu'elles abritent soient inaccessibles. En outre, certaines rues peuvent devenir impassibles, en raison des débris que bloquent les routes, comme nous l'avons observé lors du tremblement de terre de Kobe en 1995 (Scawthorn, et coll. 2005), et ceci forcerait les camions à trouver une autre route. Les systèmes de communication peuvent être hors d'état ou inondés, ce qui empêcherait les résidents de signaler un incendie, comme ce fut le cas lors du tremblement de terre de Kobe en 1995 (Thomas, 2005) et de Loma Prieta en 1989 (Scawthorn en 1992). Des inconvénients comme ceux-ci augmentent le temps qui s'écoule avant l'arrivée des pompiers et permettent au feu de se propager avant de pouvoir être éteints. Dans 50 des simulations qui ont été modélisées dans la présente, une interaction de plusieurs de ces simulations a été saisie, y compris les dommages à la caserne de pompiers et le délai à signaler les incendies qui a entraîné des pertes qui étaient plus de trois fois la moyenne pour ce scénario.

Il est peu probable qu'un incendie majeur fasse rage dans ces conditions, étant donné que les camions d'incendie seront probablement plus nombreux que le nombre d'incendies dans les régions touchées et les vents ne compliqueront pas les efforts déployés pour éteindre les incendies. Toutefois, des dommages peuvent être importants dans des endroits isolés.

(Notez bien que dans les illustrations sur les incendies post-sismiques qui suivent, les diamants représentent la perte pour un seul incendie post-sismique, tandis que les carrés, ou les pixels de couleur, représentent la perte moyenne pour un incendie post-sismique.)

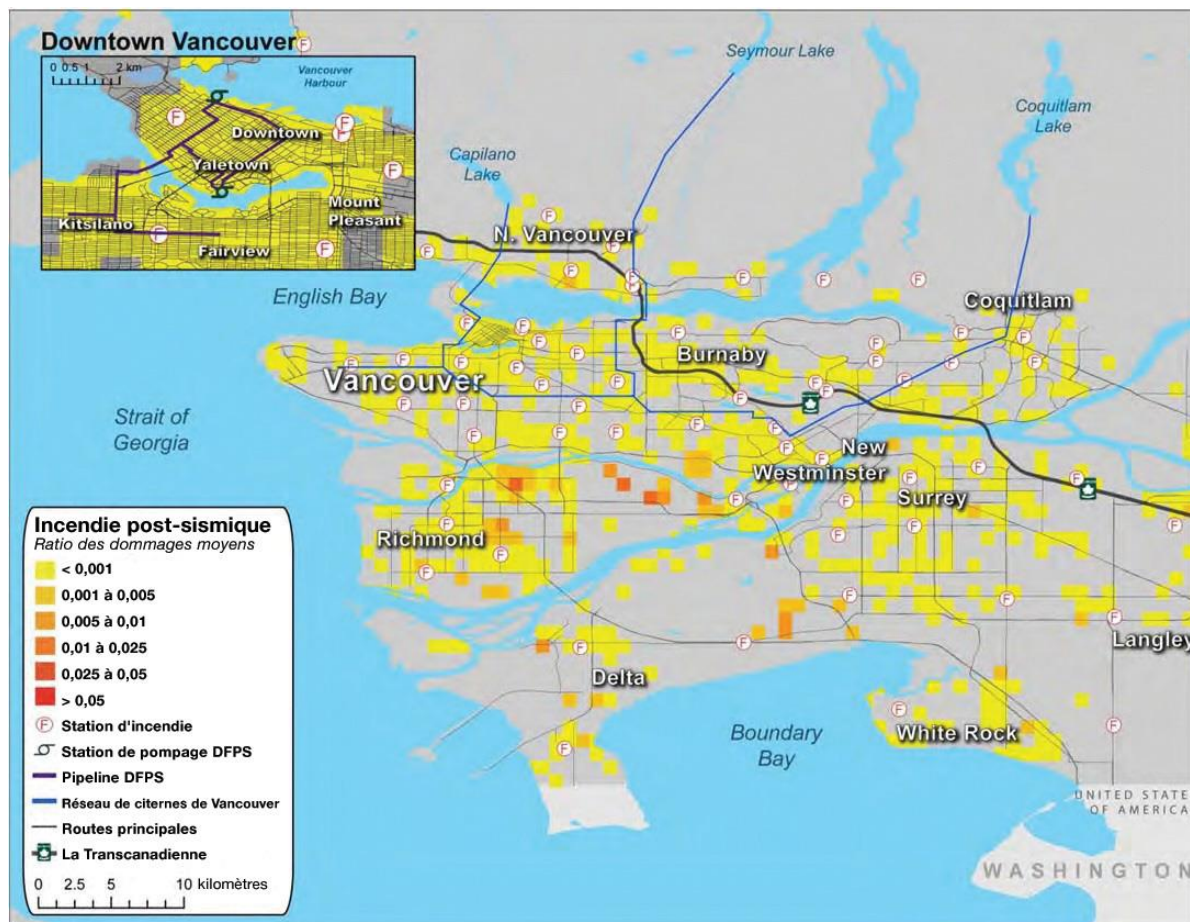


Illustration 48 : Répartition du ratio de toute l'étendue des dommages moyens d'incendies post-sismiques du scénario de l'Ouest



**Illustration 49 : Une répartition possible des dommages causés par un incendie post-sismique dans le scénario de l'Ouest**

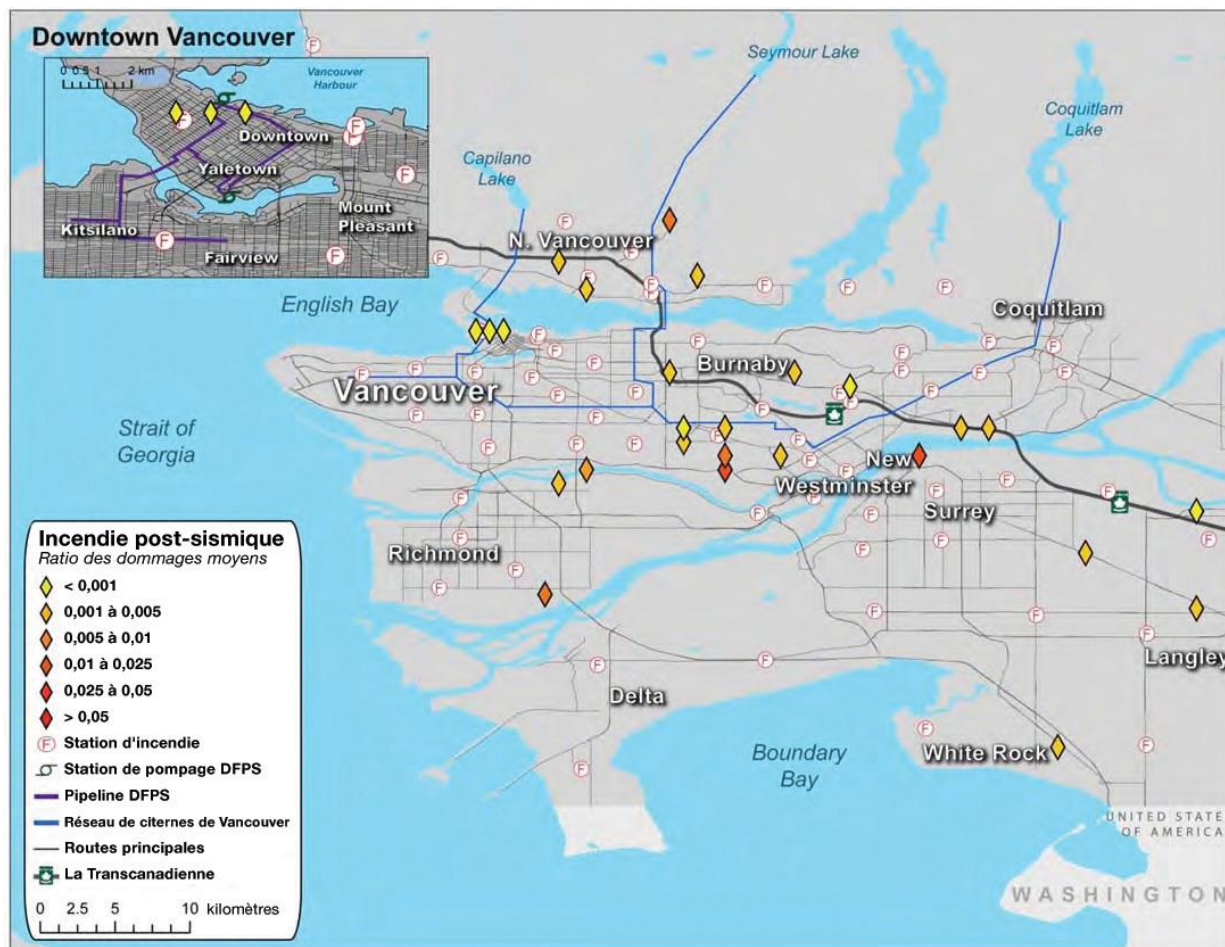
L'empreinte des dommages, décrite dans l'illustration 48 se fonde sur les résultats moyens de 50 simulations d'incendie, n'indique pas une empreinte plus étendue de la propagation d'un incendie en moyenne. Elle identifie plutôt le secteur touché par le scénario de l'Ouest ayant un potentiel important d'incendies post-sismiques. L'empreinte des pertes est plus élevée dans l'illustration 49, qui illustre les résultats d'une seule simulation d'incendie, parce que l'empreinte moyenne tient compte de la variabilité de l'endroit de l'ignition et d'autres paramètres. Elle donne lieu à une carte qui met en lumière les secteurs à risque de dommages d'incendie post-sismique du scénario de tremblement de terre dans la présente étude de cas.



**Illustration 50 : Ratio des dommages moyens à la suite d'incendies post-sismiques pour la région de Vancouver**

L'illustration 50 démontre le ratio des dommages moyens à la suite d'incendies post-sismiques dans la région du Grand Vancouver, et indique les secteurs qui ont un potentiel de pertes importantes attribuables à un incendie post-sismiques. Cette carte indique l'emplacement des stations d'incendie et de l'infrastructure DFPS.





**Illustration 51 : Une répartition possible des dommages causés par un incendie post-sismique dans la région du Grand Vancouver**

L'illustration 51 démontre les résultats d'une seule des nombreuses simulations d'incendies, chacune des simulations a réalisé une répartition différente d'incidents possibles, et chacune a contribué à la moyenne établie.

La moyenne de la répartition du ratio des dommages moyens pour la région de Victoria est représentée dans l'illustration 52 et une répartition possible des dommages attribuables à un incendie post-sismique se trouve dans l'illustration 53.



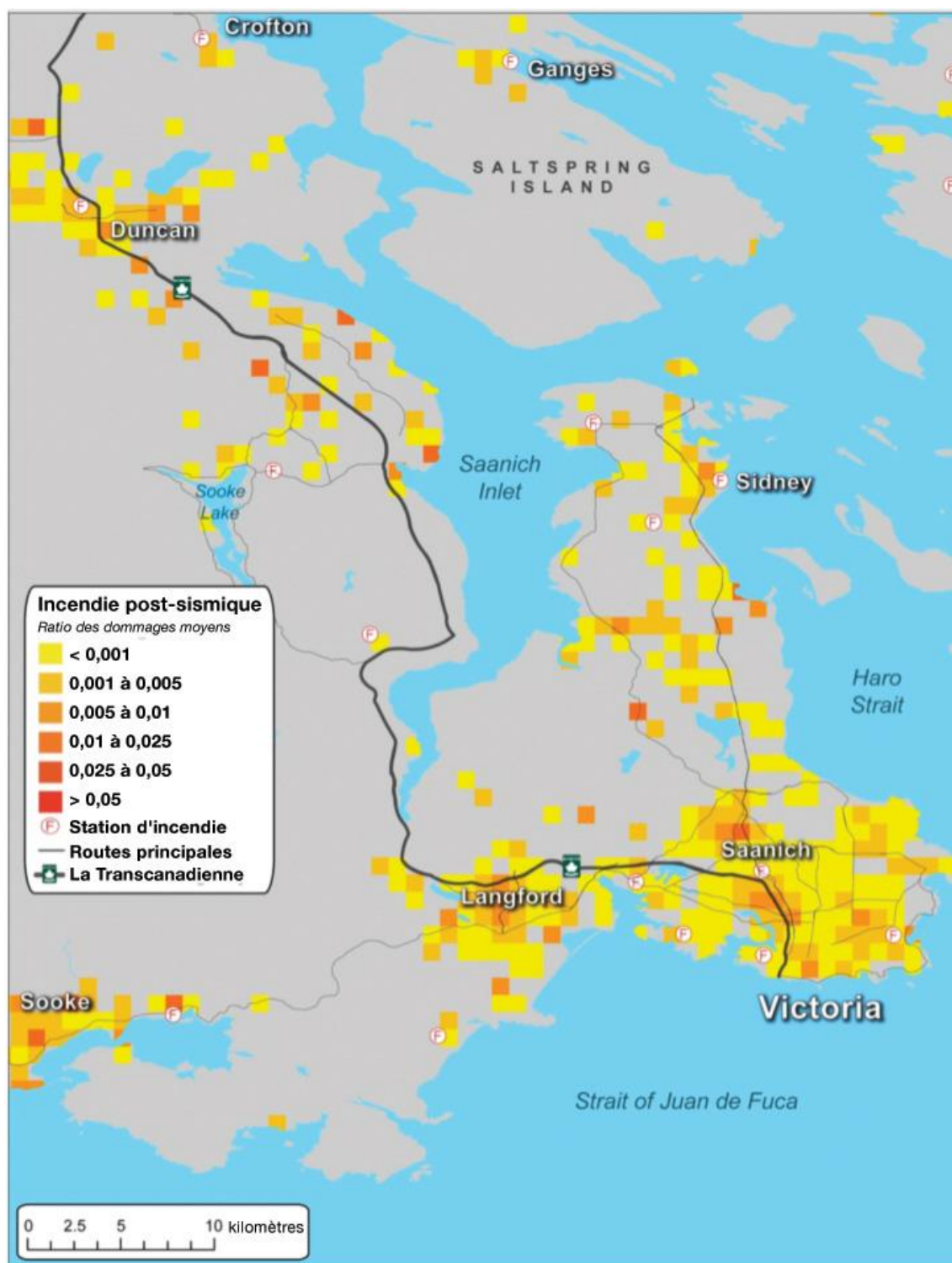


Illustration 52 : Répartition du ratio des dommages moyens à la suite d'incendies post-sismiques pour la région de Victoria



Illustration 53 : Une répartition possible des dommages causés par un incendie post-sismique dans la région de Victoria

## Tsunami

Le scénario de l'Ouest est un événement dans une grande zone de subduction qui est capable de déplacer un volume important d'eau et créer un tsunami qui peut toucher une bonne partie de la côte.

L'illustration 54 démontre le déplacement d'eau initial, en mètres, du modèle de tsunami, de même que l'endroit des segments de la faille utilisée dans l'initialisation.

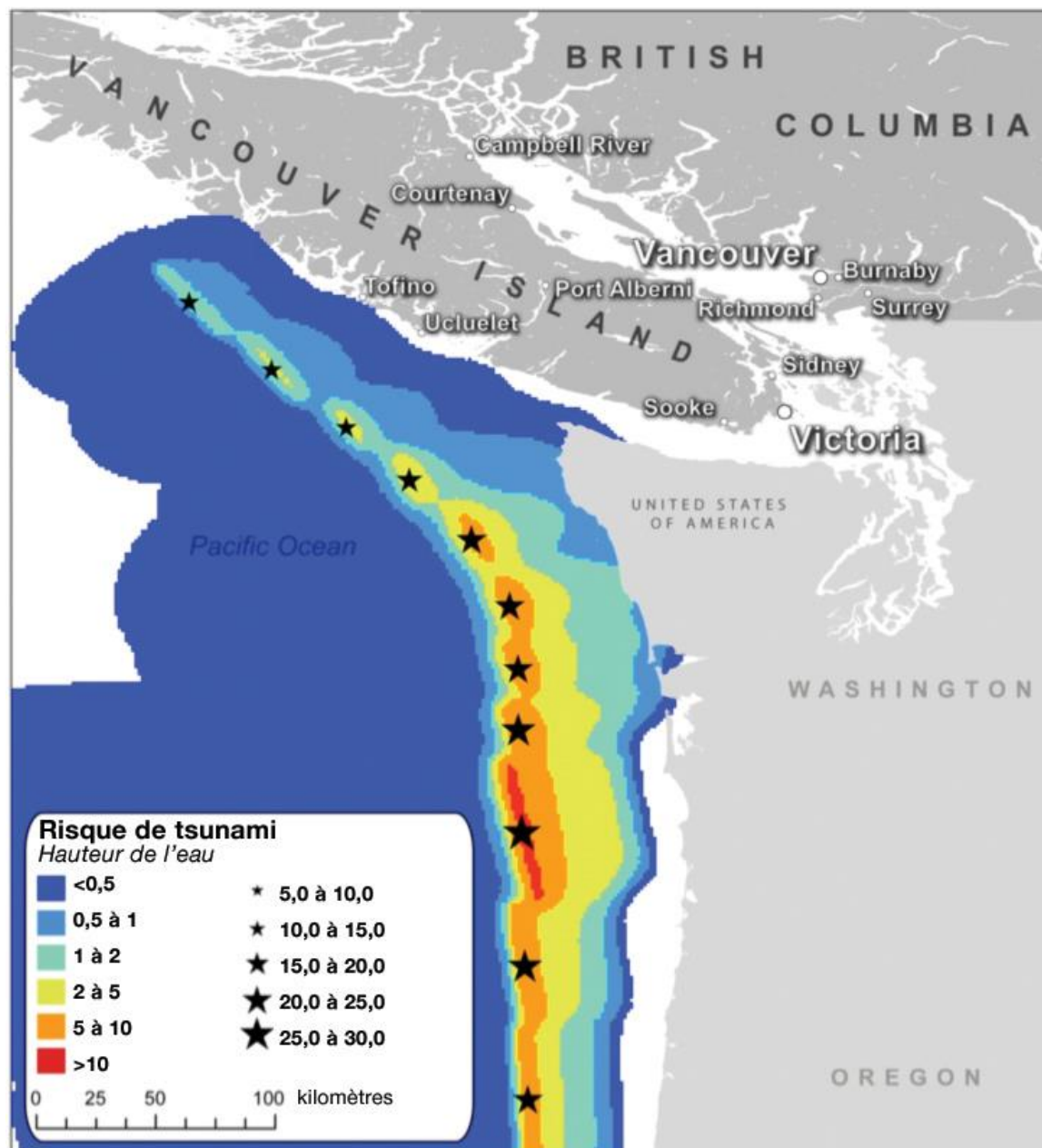


Illustration 54 : Le déplacement d'eau initial (m) attribuable au séisme du scénario de l'Ouest et emplacement des segments de la faille (étoiles)

Le déplacement d'eau maximal est de 12 m, avec d'importantes zones démontrant un déplacement de 2,5 m ou plus. Un graphique sommaire illustre le temps d'arrivée de l'onde de tsunami (illustration 55) et devrait servir de référence alors que le temps d'évolution du tsunami est tracé dans les deux prochains paragraphes. Le scénario de l'ouest a été évalué aux fins de tsunami en utilisant plusieurs conditions de marée différentes, y compris une marée neutre (par ex., pas de marée), marée basse à Vancouver et marée haute à Vancouver. Étant donné que la marée dans la région de Vancouver peut varier de plusieurs mètres, elle peut alors avoir un impact significatif sur les dommages causés par un tsunami. Les résultats des illustrations 55 et 56 et les descriptions connexes ne tiennent pas compte de la marée locale; le tsunami a lieu à marée haute (basse) aurait un niveau plus élevé (moins élevé) que ce qui est illustré dans la présente discussion. L'étape de la marée ne modifie pas le temps de l'onde de tsunami et l'interprétation de l'augmentation du niveau d'eau en raison du tsunami est plus facile en l'absence de condition d'onde de marée de fond localisée.

Les prochains paragraphes décrivent la progression du tsunami à partir du moment où il atteint le Canada.

Environ 30 minutes après l'irruption du séisme, l'onde de tsunami frappe la côte de la Colombie-Britannique et un large secteur de la côte est touché par une onde de tsunami de plus de 1,0m. À ce moment donné, la crête de l'onde de tsunami est forcée de traverser le détroit de Juan de Fuca qui, sans îles ni autres blocages, permet au tsunami de passer au travers avec très peu d'obstacles (bien qu'une partie de l'énergie de l'onde soit absorbée par la côte).

60 minutes après l'irruption, l'onde de tsunami continue de se diriger dans les fleuves du sud-ouest de la Colombie-Britannique, et atteint une bonne distance dans les terres. La crête de l'onde de tsunami a presque fini de se déplacer dans le détroit de Juan de Fuca et approche rapidement la ville de Victoria.

90 minutes après l'irruption, l'onde de tsunami s'est déplacée dans le détroit de Juan de Fuca et touche Victoria. L'onde interagit maintenant avec plusieurs petites îles, qui tendent toutes à absorber l'énergie et à réduire l'onde de tsunami alors qu'elle essaie de continuer son chemin. La vague de pic est toujours de 1 à 2,5 m ce qui pourrait causer des dommages aux basses régions de la côte.

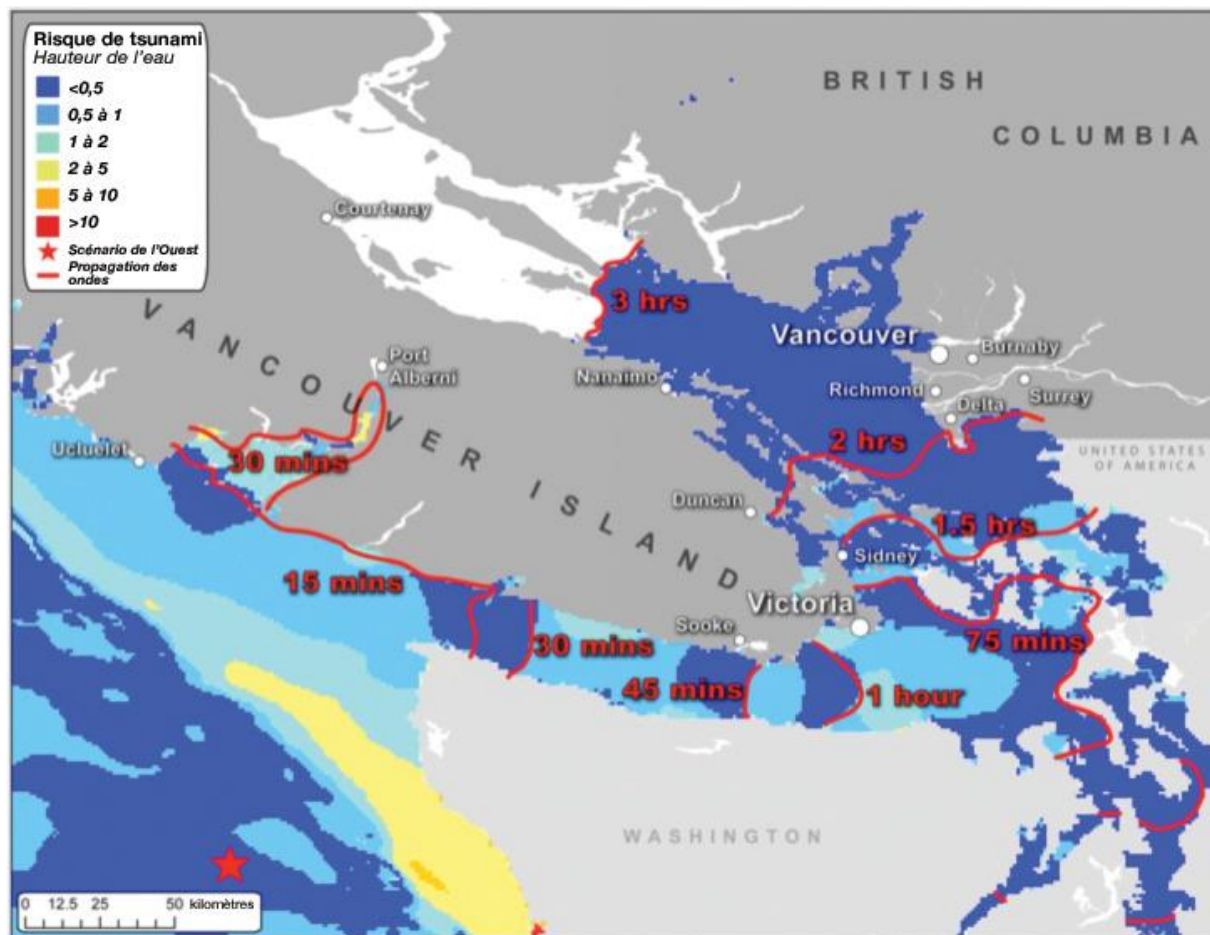
120 minutes après l'irruption, l'onde de tsunami a complètement enveloppé la ville de Victoria, et les secteurs de l'ouest de Victoria font face à un tsunami de 1 à 2,5 m. L'onde de tsunami a atteint Boundary Bay au sud de Vancouver, bien que l'onde soit de taille largement réduite en raison de l'interaction avec les nombreuses îles qui se trouvent au sud de Vancouver.

150 minutes après l'irruption, l'onde de tsunami atteint le nord de Vancouver et sa hauteur (habituellement de 1,0 m ou moins) est modeste comparativement aux valeurs précédentes. Au sud de Vancouver, dans une région qui va de Bellingham à White Rock, on observe des niveaux d'eau au-dessus de l'onde de marée de fond de 1,0 à 2,5 m sur une vaste région.

170 minutes après l'irruption, l'onde continue de se propager au nord de Vancouver, bien que la taille maximale au-dessus de l'onde de marée de fond soit davantage réduite de 0,5 à 0,75 m. Pendant tout



l'événement de tsunami, de nombres réflexions et des fluctuations à fréquences plus élevées dans le niveau de l'eau sont évidentes, alors que l'onde frappe les terres, et réfléchit et interagit avec d'autres parties de l'onde de tsunami.

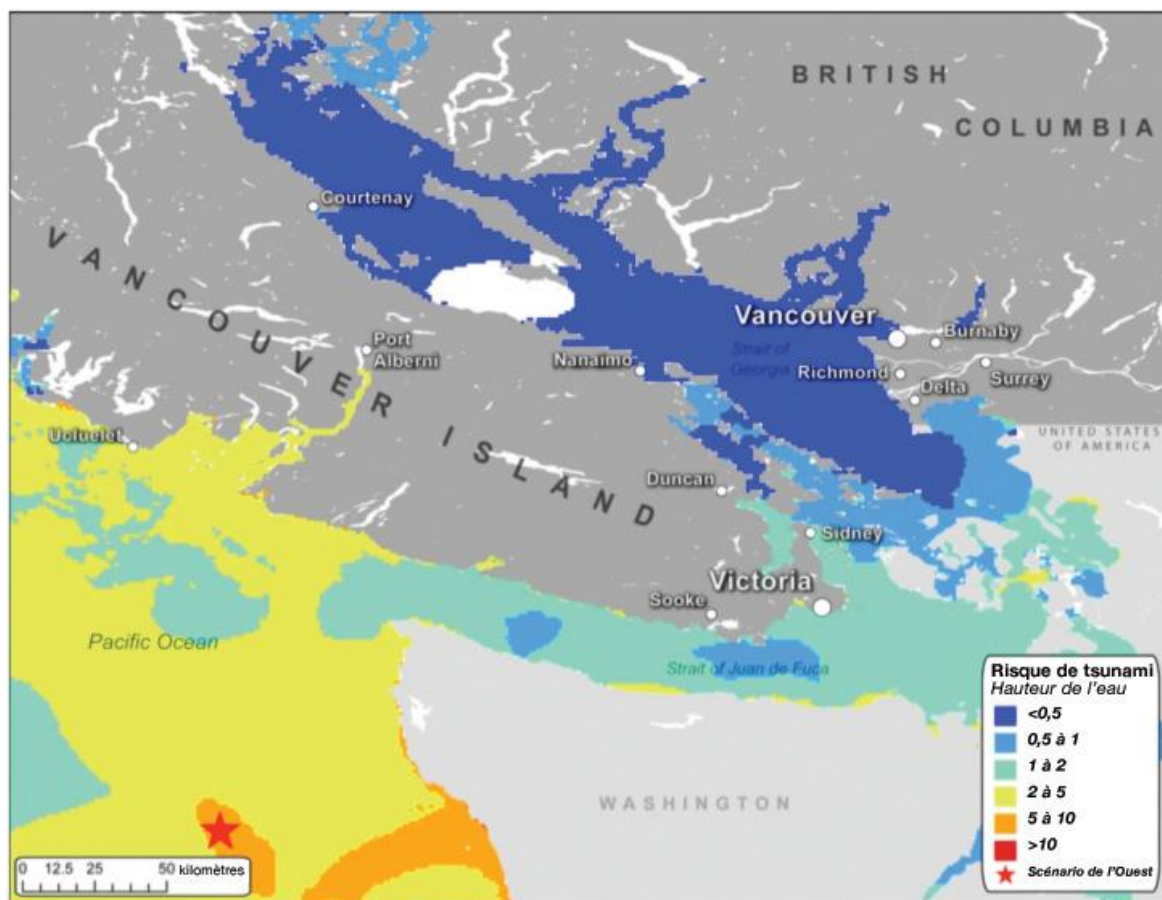


**Illustration 55 : Ligne de temps du tsunami et hauteur de l'onde**

On remarque une augmentation du niveau d'eau en raison du tsunami de  $> 5$  m le long de la côte de l'état de Washington et des secteurs isolés de l'Île de Vancouver (illustration 56).

On observe un tsunami dont l'onde maximale est de 2,5 près de la ville de Victoria alors que, comme nous l'avons décrit précédemment, l'atténuation entraîne des hauteurs maximales près de la ville de Vancouver de l'ordre de 1 m, sauf au sud de la ville où dans des secteurs isolés, elles atteignent 2,5m.





**Illustration 56 : Hauteur maximale de l'eau au-dessus de l'onde de marée de fond**

### ***Vulnérabilité et dommages du scénario de l'Ouest.***

Après avoir examiné en profondeur les divers risques qui accompagnent un important tremblement de terre, la prochaine considération importante consiste à trouver de quelle manière le séisme affectera les structures. La présente section explore la vulnérabilité des édifices et les dommages qui en découlent.

Les renseignements de la base de données d'AIR sur l'exposition au risque de l'industrie, de même qu'un examen des documents publiés sur les édifices de la Colombie-Britannique, révèlent les différents types de construction et le rendement attendu des édifices de la région lors d'un séisme. Des renseignements essentiels sur la vulnérabilité des édifices de la Colombie-Britannique par rapport à une secousse tellurique sont fournis dans la section qui suit.

La croissance rapide de la population de la Colombie-Britannique est associée à la valeur croissante des biens assurés dans la province. En fait, le recensement de 2011 indique que la Colombie-Britannique se classe au troisième rang des provinces en matière de rapidité de croissance au Canada (données de Statistique Canada). Avec une croissance de 7 % depuis 2006, la population de la province était d'environ 4,4 millions en

2011. Plus de 85 % de la population réside en milieu urbain. Le nombre total de maisons privées, selon le recensement de 2011, était de 1 945 365, dont les types les plus communs sont la maison unifamiliale et les immeubles appartements.

La plupart des édifices résidentiels de la Colombie-Britannique sont des constructions en bois (AIR's IED, 2012; Ventura et coll., 2005; Onur et coll., 2005, Ventura et Kharrazi, 2002). En fait, les édifices résidentiels à construction de bois sont particulièrement communs dans le sud-ouest de la Colombie-Britannique, dans les régions de Vancouver et de Victoria, qui sont particulièrement à risque dans le scénario de l'ouest. La faible proportion d'édifices résidentiels qui reste consiste souvent en une construction de maçonnerie. Les édifices commerciaux et industriels, toutefois, sont souvent en béton armé et en acier, bien que certains soit faits de bois ou de maçonnerie.

Au Canada, une maison unifamiliale en bois typique consiste en une charpente en bois avec des cadres en bois horizontaux qui forment les planchers et des cadres de bois verticaux utilisées comme murs internes et externes. Le rez-de-chaussée comprend habituellement une plateforme de solives couvertes de contreplaqué qui repose directement sur des fondations en béton à l'aide de boulons d'ancrage ou indirectement sur des poutres. La structure du toit consiste en des fermes en bois préfabriquées couvertes d'un revêtement et de tuiles de couverture. D'après Ventura et Kharrazi (2002), trois catégories d'âge distinctes peuvent être identifiées pour ces édifices au Canada : avant 1940, de 1940 à 1980 et après 1980. Ces catégories d'âges correspondent aux changements dans la technologie de production du bois qui affecte la performance sismique de ces édifices. Par exemple, la catégorie de 1940 à 1980 tient compte d'un changement dans les produits de revêtement des planches aux panneaux comme le contreplaqué avec comme conséquence un changement en terme de performance des murs. Certains styles de construction populaires dans cette catégorie sont des maisons à charpentes et à poteaux des années 1950, le « Spécial Vancouver » de la fin des années 1950 jusqu'au milieu des années 1960 et les « maisons monstres » des années 1980.

La majorité des immeubles appartements de 4 étages et moins dans le sud de la Colombie-Britannique sont des constructions en bois. Ces édifices ont de nombreux murs porteurs à l'intérieur et leurs murs extérieurs sont plaqués en bois, en briques ou en métal. Avant la fin des années 1960 et le début des années 1970 étaient habituellement construites sans stationnement souterrain. Après les années 1970, toutefois, la plupart des édifices appartements construits en bois dans la province comprennent un niveau de stationnement souterrain.

La construction en bois dans le secteur commercial et industriel comprend souvent un ou deux étages. Les édifices commerciaux sont habituellement regroupés dans des secteurs de commerce de détail alors que les structures industrielles sont souvent situées individuellement sur de gros terrains. Leurs murs extérieurs ont une charpente en bois, avec des parements plaqués en bois, vinyle, brique ou métal. Les grands édifices de ce genre sont habituellement divisés en segments à l'aide de murs coupe-feu en maçonnerie (Ventura et coll. 2005).

Historiquement, les constructions en bois ont un bon rendement lors de tremblements de terre. Le comportement satisfaisant des structures en bois est attribué à leur poids léger et à la solidité de leurs matériaux. Les clous maintenant les jonctions dans les constructions à charpente en bois offrent plus de

flexibilité et fournissent donc une plus grande capacité d'absorption de l'énergie durant une secousse sismique. La fixation de revêtement et de fini aux solives et gougeons de bois utilisant de nombreuses jonctions fournit plus de redondance dans le transfert des forces du séisme à la base. En outre, l'interaction des panneaux structurels avec la charpente en bois fournit des effets de mur de contreventement et améliore le comportement sismique. Selon le Conseil canadien du bois, un problème typique des constructions en bois est la faiblesse du premier étage, souvent en raison de l'utilisation de l'espace comme garage ou espace de rangement. De faibles connexions aux fondations, l'utilisation de poutres et la faiblesse ou la pesanteur des cheminées sont des faiblesses remarquées dans les constructions en bois.

Alors que la construction en maçonnerie non renforcée (MNR) est courante uniquement dans les plus vieilles parties de Vancouver et de Victoria, les constructions en maçonnerie renforcée sont très courantes en Colombie-Britannique, particulièrement pour les édifices commerciaux, institutionnels et industriels. Bon nombres d'édifices en MNR ont été récemment modifiés pour mieux répondre aux séismes. Les édifices en MNR de trois étages ou moins étaient chose courante pour les édifices commerciaux et industriels jusqu'au milieu des années 1970. Les édifices de hauteur moyenne en MNR de six étages ou moins étaient également très courants pour les édifices commerciaux et industriels avant les années 1940.

Les édifices en MNR comptent sur des murs de maçonnerie pour résister à la gravité et aux charges latérales et sont reconnues pour avoir eu un piètre rendement lors de séismes ailleurs dans le monde. Depuis 1973, le Code national du bâtiment du Canada (CNB) exige que tous les édifices en maçonnerie situés dans les secteurs de sismicité active (ce qui inclut presque toute la Colombie-Britannique) soient construits avec des renforcements.

Le rendement des édifices en maçonnerie renforcée lors de séismes est grandement amélioré comparativement à la MNR. Bien que les murs performant habituellement bien avec ce type de construction, la connexion des planchers au mur est habituellement le point faible, particulièrement pour les édifices qui datent d'avant 1985. Les édifices en maçonnerie renforcée, avec vitrine ou diaphragmes flexibles tendent à être endommagés en raison de l'effet de torsion.

Les dommages non structuraux et au vitrage (fenêtres) sont des exemples de problèmes courants pour ces édifices.

Bien que la charpente parasismique en béton armé ne soit pas très commune en Colombie-Britannique, les charpentes de béton avec des murs intercalaires et des charpentes en béton avec murs de contreventement sont chose courante dans les édifices institutionnels, commerciaux et industriels. Les charpentes en béton avec intercalaire en béton (dans les édifices à bureaux antérieurs à 1950) ne sont pas conçues pour les forces sismiques et n'ont pas un bon rendement lors de séismes. Par contre, ceux construits après 1985 se comportent habituellement bien. Les dommages non structuraux et les dommages au placage sont des exemples de problèmes connus avec ces types d'édifices lorsqu'ils sont exposés à une secousse tellurique.

Les constructions en acier sont également chose courante pour les édifices industriels. En particulier, les charpentes en acier avec murs en béton ont souvent été utilisées dans les édifices industriels peu élevés construits après les années 1970 et les édifices institutionnels de hauteur moyenne et tours à bureaux. Ces

types d'édifices comptent sur une charpente en acier et des murs de contreventement (situés surtout près des cages d'ascenseur ou des escaliers, ou du périmètre de l'édifice) résistent bien aux charges latérales et font bonne figure lors de séismes. Les édifices de ce genre construits après 1985 ont un bien meilleur rendement, particulièrement si les murs ont été répartis dans les parois. Les dommages à ces édifices sont souvent causés par l'effet de torsion.

Les dommages aux composantes non structurales sont une autre forme de dommages typiques à ces édifices. Alors que la charpente parasismique et les structures à charpente en acier ne sont pas très courantes en Colombie-Britannique, une charpente en acier avec des murs de contreventement en béton sont chose commune pour les bureaux et les édifices industriels légers construits avant les années 1950. Elle performe habituellement bien lors de séismes, même si la plupart de ces édifices construits avant les années 1950 n'étaient pas conçus pour faire face aux forces sismiques. Les édifices qui ont des irrégularités dans leur plan et leur hauteur sont plus propices aux dommages en raison de l'effet de torsion. Des dommages non structuraux et la chute de murs de briques constituent d'autres formes de défaillance pour ces édifices.

### ***L'impact des codes de calcul sismique sur la vulnérabilité en Colombie-Britannique***

En règle générale, le rendement sismique des édifices construits est étroitement lié à l'austérité des codes du bâtiment en fonction desquels ils sont conçus. La rigueur des exigences en matière de conception sismique fournit une mesure implicite pour évaluer la vulnérabilité sismique des édifices. Au Canada, les lignes directrices pour déterminer les forces de la conception (gravité, séismicité, vent, neige, etc.) sont définies dans le Code national du bâtiment du Canada (CNB). Les exigences détaillées pour les différents types de structures pour faire face aux séismes sont établies dans les normes sur la conception sismique publiées par l'Association canadienne de normalisation (CSA).

Les codes sont habituellement établis à la suite de séismes dévastateurs et évoluent avec l'accumulation de nouvelles connaissances des risques et du comportement des édifices. La première réglementation canadienne en matière d'édifices résistant aux tremblements de terre a été publiée par le CNB en 1941. Depuis sa publication, le code a été revu de manière significative plusieurs fois pour tenir compte des conclusions des recherches plus récentes. La philosophie de la conception sismique a également subi une transformation, passant d'une conception fondée sur les contraintes admissibles à une conception sismique de robustesse ultime et à une conception sismique fondée sur le rendement des édifices. Dans la section qui suit, nous donnons un aperçu de l'évolution des codes de conception sismique au Canada.

Le code CNB de 1941 se fondait sur le Uniform Building Code de 1935 (UBC 1935). La première carte de zonage de séismicité a été publiée dans la version de 1953 du CNB. La carte de zonage du CNB de 1953 délimitait quatre zones fondées sur les sites d'importants événements historiques. La majorité du Canada avait une zone 0 (sans besoin de considération sismique). La zone qui avait les forces les plus importantes (zone 3) comprenait des régions comme le sud et l'ouest de la Colombie-Britannique dans l'Ouest et la vallée du Saint-Laurent, dans l'Est du Canada. La conception des édifices se fondait sur les contraintes.

Le code a été mis à jour en 1960 et en 1965 pour tenir compte des effets de torsion et pour ajouter le « facteur

importance ». Toutefois, la carte de zonage sismique du CNB de 1953 est demeurée telle quelle. La philosophie de conception sous-jacente du CNB de 1965 se fondait sur la conception en fonction des contraintes, mais en dernier lieu, la conception en fonction des forces a été permise pour les structures en béton en guise d'alternative selon le American Concrete Institute (ACI), 1963. La première carte de zonage de probabilité sismique a été publiée dans la version de 1970 du CNB. Cette carte de zonage se fondait sur l'accélération maximale du sol avec un intervalle de récurrence de 100 ans (probabilité de dépassement de 0,01) et démontrait quatre zones sismiques en ce qui a trait aux calculs de l'effort sismique. Le CNB de 1970 a introduit le facteur de flexibilité structurale dépendant de la période et tenait également compte des effets d'un mode plus élevé au moyen d'une force concentrée au haut de la structure. Dans l'évolution du code, le CNB de 1970 constitue une mise à jour importante.

Le code a par la suite été mis à jour en 1975, 1977 et 1980; toutefois, la carte de zonage sismique est demeurée inchangée. En 1975 un facteur de fondations a été introduit pour tenir compte des effets du sol meuble. En outre, une analyse dynamique a été présentée comme procédure de rechange. Un changement dans le facteur de réponse sismique dans le CNB de 1980 a entraîné une certaine augmentation des forces de la conception sismique pour les édifices peu élevés et les édifices de taille moyenne, tout en diminuant les forces de la conception sismique pour les édifices plus hauts (période plus grande que 1,0 seconde). Une nouvelle carte de zonage sismique est entrée en vigueur avec la version de 1985 du CNB, code basé sur le risque avec une probabilité de dépassement de 10 % sur une période de 50 ans (intervalle de récurrence de 475 ans). La carte présentait l'accélération maximale du sol et la vitesse au sol maximale. Certaines améliorations ont également été apportées à la formule de l'effort sismique.

L'édition suivante du code (CNB 1990) utilisait le même zonage sismique que l'édition de 1985 du CNB, mais incluait des changements à la formule de l'effort sismique. Une mise à jour en 1995 offrait des facteurs de modification de la force additionnels et une nouvelle formule pour la période de construction des édifices et les excentricités de torsion. La carte de zonage du CNB de 1985 était toujours utilisée dans le CNB de 1995. Une étape importante de l'évolution du code fut l'introduction de l'approche de l'aléa sismique uniforme (UHS) dans la version de 2005 du CNB. Dans cette approche, qui était une adaptation du NEHRP de 1997 des États-Unis, les forces sismiques étaient calculées en utilisant l'accélération spectrale d'un site donné avec une probabilité de dépassement de 2 % sur une période de 50 ans (intervalle de récurrence de 2 475 ans). La formule pour calculer l'effort sismique a également été largement modifiée. En outre, le code intégrait deux types de facteur de modification de la force, un facteur concernant la ductilité (capacité de dissipation de l'énergie) et un autre concernant la sur-résistance (la résistance des réserves au-delà de la limite d'élasticité).

La plus récente version du code, le CNB de 2010 est essentiellement la même que celle du CNB de 2005, sauf en ce qui concerne une réduction mineure dans le risque de courte période et une légère augmentation du risque de longue période dans les zones de faible activité sismique comme Toronto. L'effort sismique minimal a également été mis à jour. Une comparaison de l'effort sismique pour diverses structures à Vancouver et à Montréal démontre une tendance générale à la hausse de 1970 à 2005 (Mitchell et coll., 2010).



Bien que Vancouver et Victoria soient parmi les premières villes à adopter des codes du bâtiment, elles n'ont pas adopté la première version du CNB lorsqu'il a été publié en 1941. Alors que les dispositions relatives à la sismicité du CNB n'aient été intégrées aux règlements concernant les bâtiments de Vancouver en 1963, la ville n'a adopté le CNB dans son ensemble qu'en 1973. En règle générale, les édifices construits avant 1970 en Colombie-Britannique n'ont pas tenu compte des considérations sismiques. L'illustration 57 comprend la carte de risque sismique au Canada qui fait partie du CNB de 2010 (en termes d'accélération spectrale de 0,5 seconde). Comme le démontre l'illustration, le sud-ouest de la Colombie-Britannique a les risques les plus élevés; par conséquent, on s'attend à ce que les édifices de cette région soient conçus selon des normes élevées concernant la résistance aux tremblements de terre.

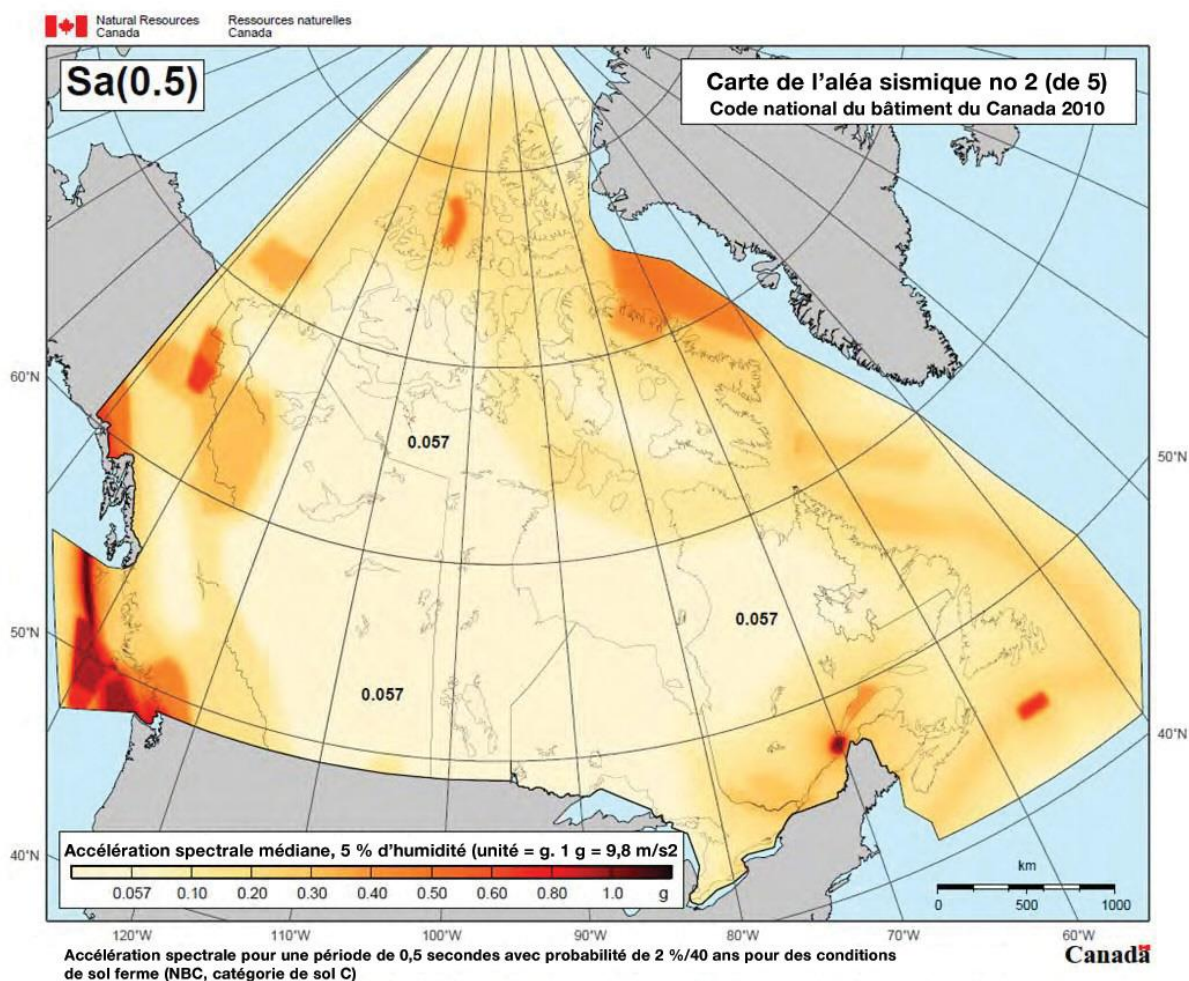


Illustration 57 : Carte de l'aléa sismique au Canada d'après le CNB de 2010

## 6.2 Estimation des pertes économiques et assurées

### Pertes économiques

La présente section offre le détail des évaluations de pertes économiques et assurées, résultats du scénario de l'Ouest. Les pertes économiques comprennent les pertes directes et indirectes des dommages aux édifices et aux biens meubles, de même que les pertes directes et indirectes résultant des dommages aux infrastructures. Les pertes directes et indirectes peuvent contribuer aux pertes économiques du scénario de l'Ouest. Ils sont décrits en détail ci-dessous.

### Pertes directes

Les pertes directes sont celles infligées par les dommages aux biens et aux infrastructures. Les pertes d'exploitation directes, qui font référence à la réduction immédiate ou à l'arrêt de la production économique dans un immeuble endommagé ou un immeuble coupé d'au moins un des réseaux vitaux de services publics, sont également présentées dans le contexte de pertes directes.

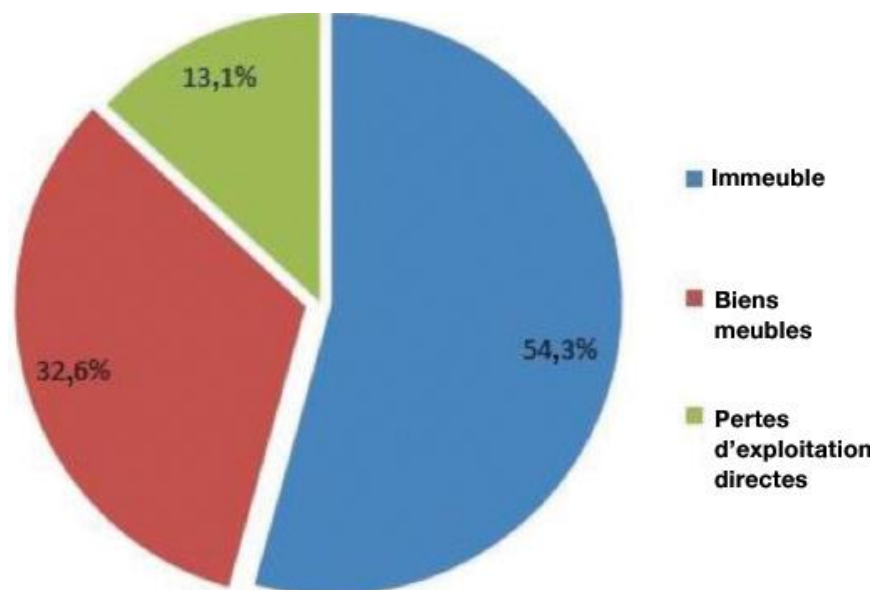
L'événement cause un total de 62 000 millions CAD en pertes économiques directes aux biens et infrastructures de la Colombie-Britannique. De ce total, 60 112 millions CAD sont infligés aux biens et les 1 888 millions CAD qui restent aux infrastructures.

On doit noter que les pertes présentées précédemment comprennent les pertes en raison de dommages aux édifices, leurs biens meubles et pertes d'exploitation attribuables à la réduction ou à l'arrêt immédiat de la production dans les immeubles endommagés ou la perte de service. Les pertes indirectes dues à l'interconnectivité entre les secteurs économiques et les infrastructures sont exclues des données précédentes et sont présentées de manière distincte dans les sections suivantes. Le tableau 19 offre un résumé de toutes les pertes directes visant les biens selon le risque et la garantie. L'illustration 58 présente la contribution de chaque garantie aux pertes totales.

**Tableau 19 : Sommaire de toutes les pertes directes visant les biens par garantie**

	Immeuble	Biens meubles	Pertes d'exploitation directes	Total	Contribution du risque
Secousses	25 543	18 067	6363	<b>49 972</b>	83,1 %
Tsunami*	2623	1181	469	<b>4273</b>	7,1 %
Incendie post-sismique	311	147	76	<b>534</b>	0,9 %
Liquéfaction et glissement de terrain	4148	213	971	<b>5332</b>	8,9 %
<b>Total</b>	<b>32 625</b>	<b>19 608</b>	<b>7879</b>	<b>60 112</b>	
Contribution de la garantie	54,3 %	32,6 %	13,1 %		

Toutes les données sont en millions et comprennent une hausse subite de la demande



#### Illustration 58 : Contribution de chaque garantie à toutes les pertes directes visant les biens

Dans le tableau 20 suivant, nous fournissons un sommaire de toutes les pertes directes visant les biens selon le risque et selon la catégorie d'assurance, et à l'illustration 59, la proportion des pertes totales attribuables à chaque catégorie d'assurance. Le tableau 21 offre le sommaire de toutes les pertes visant l'infrastructure du scénario de l'Ouest par catégorie.

**Tableau 20 : Sommaire de toutes les pertes directes visant les biens par catégorie d'assurance**

	Résidentielle	Commerciale/ industrielle	Automobile	Agriculture	Total	Contribution du risque
Secousses	19 451	30 219	199	102	<b>49 972</b>	83,1 %
Tsunami	2417	1614	238	5	<b>4273</b>	7,1 %
Incendie post-sismique	214	307	12	1	<b>534</b>	0,9 %
Liquéfaction et glissement de terrain	2378	2839	78	37	<b>5332</b>	8,9 %
<b>Total</b>	<b>24 461</b>	<b>34 979</b>	<b>527</b>	<b>145</b>	<b>60 112</b>	
Contribution de la catégorie d'assurance	40,7 %	58,2 %	0,9 %	0,2 %		

Toutes les données sont en millions et comprennent une hausse subite de la demande

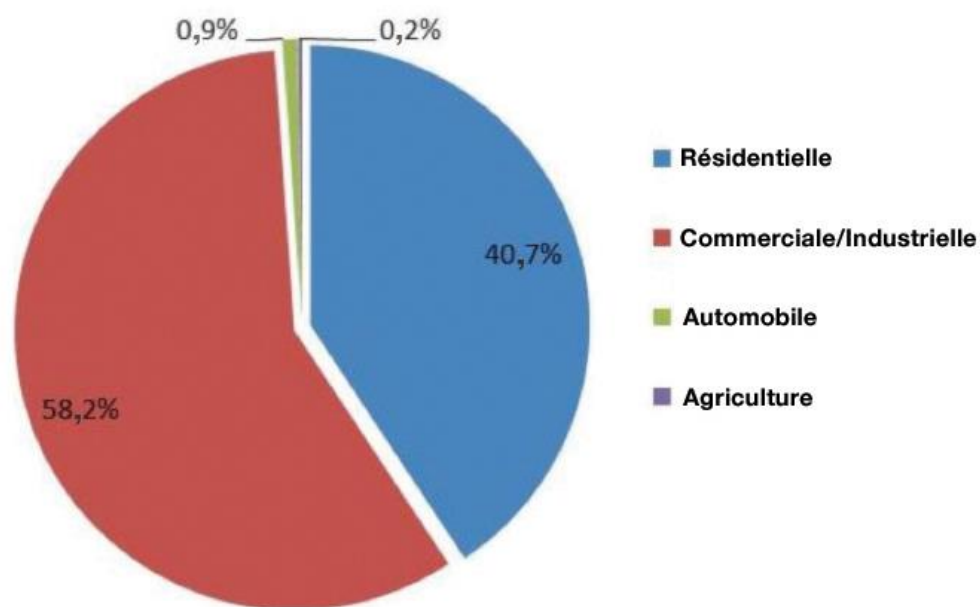


Illustration 59 : Contribution de chaque catégorie d'assurance à toutes les pertes directes visant les biens

Tableau 21 : Sommaire de toutes les pertes visant les infrastructures par catégorie

	Transport		Aéroport	Port	Pipelines			Électricité/ télécom	Total	Contribution du risque
	Routier	Ferroviaire			Gaz	Pétrole	Eau			
Secousse	260	64	241	173	40	0	21	246	<b>1044</b>	55,3 %
Tsunami*	62	2	0	17	0	0	1	10	<b>91</b>	4,8 %
Incendie post-séisme	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0,0 %
Liquéfaction et glissement de terrain	256	26	77	71	186	1	90	44	<b>753</b>	39,9 %
<b>Total</b>	<b>578</b>	<b>92</b>	<b>318</b>	<b>261</b>	<b>226</b>	<b>1</b>	<b>112</b>	<b>300</b>	<b>1888</b>	
Contribution des catégories	30,6 %	4,9 %	16,8 %	13,8 %	12,0 %	0,1 %	5,9 %	15,9 %		

Toutes les données sont en millions et comprennent une hausse subite de la demande

## Pertes indirectes

Les pertes indirectes sont dues aux interruptions de la chaîne d'approvisionnement, aux infrastructures et à l'interconnectivité des secteurs économiques. Les pertes indirectes sont évaluées en analysant soigneusement les répercussions liées à la chaîne d'approvisionnement ou à la chaîne de clients directement des entreprises affectées directement. Le calcul des pertes indirectes contribue à l'impact des pertes visant les biens et les infrastructures sur l'économie globale de la région par différents secteurs. À remarquer que les secteurs utilisés ici correspondent à ceux définis dans le Système de classification des industries de l'Amérique du Nord (SCIAN).

Dans la présente étude, l'impact des pertes indirectes est estimé pour l'électricité, le gaz naturel, le pétrole, et les services d'eau, les systèmes de communication, et les réseaux de transport comme les chemins de fer, aéroports, ports maritimes, et les routes, à l'aide d'un modèle entrée-sortie. L'analyse entrées-sorties est un modèle statique et linéaire de tous les achats et ventes entre les secteurs d'une économie en fonction des relations technologiques de production (Rose et Miernyk, 1989). Le modèle a été conçu par le lauréat du prix Nobel, Wassily Leontief, et est l'outil d'analyse d'impact économique le plus largement utilisé. Il a été largement utilisé pour analyser l'impact économique des séismes et autres risques naturels (voir, par ex., ATC, 1991; Shinozuka et coll., 1998; Rose et Lim, 2002; et Gordon et coll., 2007; FEMA, 2008).

La résilience d'un réseau – sa capacité à conserver sa fonctionnalité suivant une perturbation – a un impact significatif sur les pertes indirectes totales. Bien qu'une entreprise ou un service puisse avoir recours à plusieurs stratégies pour demeurer opérationnel après une interruption, les quatre plus importantes<sup>10</sup> tactiques de résilience<sup>8</sup> sont prises en considération dans la présente étude :

- Conserver les matériaux ou services importants pendant la production;
- Compter sur des processus de production qui ne sont pas touchés par les interruptions de services publics (par ex., la majorité de la production agricole n'exige pas d'électricité).
- Rattraper la perte de production en effectuant des heures supplémentaires ou en ajoutant des quarts de travail
- Réorienter les vols, navires, camions, et autres, afin d'assurer que les cargaisons arriveront à temps, en dépit des dommages au réseau de transport.

Dans la présente étude, nous présentons les pertes indirectes pour chaque scénario sous une gamme présentant les limites supérieures (sans résilience), limites inférieures (considérant toutes les résiliences applicables), et les évaluations médianes (compte tenu de toutes les résiliences applicables, mais ces résiliences ne sont pas nécessairement mises en application efficacement, comme on pourrait s'y attendre à

<sup>8</sup> À remarquer que toutes ces stratégies représentent une résilience statique, selon laquelle une fonctionnalité continue après interruption est atteinte sans réparation ni reconstruction. De plus, il convient de noter que selon les études publiées, les effets de ces quatre tactiques de résilience l'emportent grandement sur les effets d'autres tactiques de résilience non mentionnées ici. Pour une discussion en profondeur des types de résilience, veuillez consulter le rapport « *Analyse des impacts économiques indirects des scénarios de séisme en Colombie-Britannique et au Québec* », par D. Wei, A. Rose, et M. Lahr, lequel est inclus en annexe.



la suite d'un séisme majeur). Il convient de noter que dans les estimations des pertes totales indirectes de chaque secteur de l'économie, des rajustements sont effectués pour prévenir la duplication de l'impact des différentes interruptions.

Les pertes indirectes totales dans le scénario de l'Ouest sont de 21 385 millions CAD sans résilience (limite supérieure), 4 103 millions CAD avec toutes les sources de résilience (limite inférieure), et 12 744 millions CAD avec les mesures de résilience « réalistiquement » mises en application (médiane). Le tableau 22 présente les pertes indirectes de sources diverses, avec et sans résilience, après le rajustement pour les duplications potentielles. Le tableau présente également la médiane des estimations de pertes indirectes.

Comme on peut le constater dans le tableau, les pertes indirectes associées à la perte d'immeubles ont la contribution la plus élevée aux pertes totales indirectes, avec et sans résilience. De plus, une comparaison des résultats avec et sans résilience indique que si toutes les sources de résilience sont pleinement effectives, les pertes indirectes peuvent être largement réduites (en moyenne de 82 % dans ce scénario). Cependant, la mise en œuvre de la résilience devrait se retrouver en-dessous de ce potentiel en raison de problèmes de gestion, interdépendances inattendues des activités d'exploitation, et les conditions de la chaîne d'approvisionnement qui empêchent une entreprise de reprendre ses activités, même si ses installations ont été complètement réparées ou reconstruites. Par conséquent, les pertes indirectes actuelles se retrouvent entre la limite supérieure et la limite inférieure des pertes présentées ici, la médiane étant évaluée à 12 744 millions CAD étant considérée comme étant la plus probable.

**Tableau 22 : Pertes indirectes visant les infrastructures de diverses sources**

Source de l'impact	Sans résilience	Avec résilience	Avec résilience – médiane
Dommages aux immeubles	18 612	3802	11 207
Perturbation des oléoducs	34	4	19
Perturbation des gazoducs	396	13	205
Perturbation de l'approvisionnement en	564	32	298
Perturbation de l'approvisionnement énergétique	671	86	379
Perturbation du réseau de télécommunication	852	49	450
Perturbation des aéroports	83	41	62
Perturbation des ports de mer	111	55	83
Perturbation du réseau routier	44	11	27
Perturbation du réseau ferroviaire	18	9	14
<b>Total</b>	<b>21 385</b>	<b>4103</b>	<b>12 744</b>

Toutes les données sont en millions

Les pertes totales présentées dans le tableau 22 peuvent être ventilées en pertes par secteur de l'économie. Les tableaux 23 et 24 présentent les pertes indirectes de chaque secteur de l'économie de diverses sources de perturbations, respectivement sans et avec les effets de résilience. Il convient de noter que les données de ces tableaux sont avant le rajustement pour duplications potentielles.

**Tableau 23 : Pertes indirectes sectorielles par source d'impact sans résilience**

Secteur	Bâtiment	Pétrole	Gaz	Eau	Énergie	Télécom	Aéroports	Ports maritimes	Routes	Chemins de fer	Pertes totales de résultats
Cultures et animaux	111	1	6	9	11	13	1	7	1	1	161
Sylviculture et exploitation forestière	228	1	13	18	22	27	1	11	2	1	323
Pêche, chasse et trappe	5	0	0	1	1	1	0	1	0	0	9
Activités de soutien à l'agriculture et foresterie	32	0	2	3	4	5	0	2	0	0	49
Extraction minière, pétrole et gaz	349	2	25	36	43	54	5	20	3	4	541
Services publics	190	1	11	16	19	24	0	0	1	0	260
Construction	2072	6	65	93	111	141	0	43	7	1	2539
Fabrication	2014	7	80	114	136	172	23	61	17	8	2631
Vente en gros	806	3	33	47	56	71	7	15	5	1	1045
Commerce de détail	1538	4	47	68	80	102	10	0	5	2	1856
Transport et entreposage et marges bénéficiaires du transport	1194	5	60	85	101	128	23	49	11	6	1662
Industries de l'information et de la culture	814	2	28	39	47	59	6	12	4	2	1012
Finance, assurance, immobilier, location et location-bail	2618	11	131	187	222	282	32	0	13	4	3500
Services professionnels, scientifiques et techniques	1127	4	40	57	68	87	8	0	3	1	1396
Services administratifs, de gestion des déchets et de remédiation	508	2	21	29	35	44	4	0	2	1	645
Services d'éducation	96	0	2	3	4	5	0	0	0	0	111
Soins de santé et assistance sociale	556	2	20	29	35	44	2	0	2	0	690
Arts, divertissement et récréation	276	1	9	13	16	20	4	0	1	0	339

Secteur	Bâtiment	Pétrole	Gaz	Eau	Énergie	Télécom	Aéroports	Ports maritimes	Routes	Chemins de fer	Pertes totales de résultats
Services d'hébergement et d'alimentation	810	3	29	41	48	61	13	0	3	0	1007
Autres services (sauf l'administration publique)	711	1	16	22	26	33	0	0	1	0	811
Fournitures d'exploitation, de bureau, de cafétéria et de laboratoire	416	2	25	35	42	54	0	0	0	0	574
Voyage, divertissement, publicité et promotion	561	2	27	38	46	58	0	0	0	0	733
Institutions sans but lucratif desservant les ménages	211	1	13	18	21	27	2	0	1	0	294
Secteur gouvernemental	1369	8	89	126	150	191	25	0	7	3	1968
<b>Total</b>	<b>18 612</b>	<b>68</b>	<b>793</b>	<b>1128</b>	<b>1342</b>	<b>1704</b>	<b>166</b>	<b>221</b>	<b>87</b>	<b>37</b>	<b>24 158</b>

Toutes les données sont en millions

**Tableau 24 : Pertes indirectes sectorielles par source d'impact avec résilience**

Secteur	Bâtiment	Pétrole	Gaz	Eau	Énergie	Télécom	Aéroports	Ports maritimes	Routes	Chemins de fer	Pertes totales de résultats
Cultures et animaux	30	0	0	1	2	1	0	4	0	0	39
Sylviculture et exploitation forestière	63	0	1	2	4	2	1	5	0	1	78
Pêche, chasse et trappe	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Activités de soutien à l'agriculture et foresterie	9	0	0	0	1	0	0	1	0	0	11
Extraction minière, pétrole et gaz	21	0	0	0	1	0	2	10	1	2	37
Services publics	52	0	1	1	4	2	0	0	0	0	60
Construction	197	0	0	2	3	2	0	22	2	1	228
Fabrication	114	0	0	1	2	1	12	31	4	4	169
Vente en gros	121	0	1	2	6	3	4	8	1	1	145
Commerce de détail	226	0	1	2	8	5	5	0	1	1	250
Transport et entreposage et marges bénéficiaires du transport	849	3	5	16	41	28	12	25	3	3	983
Industries de l'information et de la culture	32	0	0	0	1	0	3	6	1	1	44
Finance, assurance, immobilier, location et location-bail	320	1	2	5	17	11	16	0	3	2	378
Services professionnels, scientifiques et techniques	135	0	1	2	5	3	4	0	1	1	152

Secteur	Bâtiment	Pétrole	Gaz	Eau	Énergie	Télécom	Aéroports	Ports maritimes	Routes	Chemins de fer	Pertes totales de résultats
Services administratifs, de gestion des déchets et de remédiation	60	0	0	1	3	2	2	0	0	0	68
Services d'éducation	40	0	0	0	1	1	0	0	0	0	42
Soins de santé et assistance sociale	228	0	2	4	10	4	1	0	1	0	250
Arts, divertissement et récréation	113	0	1	2	5	3	2	0	0	0	127
Services d'hébergement et d'alimentation	333	1	3	8	15	9	6	0	1	0	375
Autres services (sauf l'administration publique)	355	0	1	3	10	5	0	0	0	0	375
Fournitures d'exploitation, de bureau, de cafétéria et de laboratoire	52	0	1	1	3	2	0	0	0	0	59
Voyage, divertissement, publicité et promotion	68	0	1	1	4	2	0	0	0	0	75
Institutions sans but lucratif desservant les ménages	87	0	1	2	6	3	1	0	0	0	101
Secteur gouvernemental	296	1	3	7	21	11	12	0	2	2	354
<b>Total</b>	<b>3802</b>	<b>8</b>	<b>26</b>	<b>64</b>	<b>173</b>	<b>97</b>	<b>83</b>	<b>111</b>	<b>22</b>	<b>18</b>	<b>4403</b>

Toutes les données sont en millions

Les pertes directes aux infrastructures constituent 3 % des pertes totales dans ce scénario. Ce ratio de pertes indirectes s'élève à 12 %. Lorsque nous considérons les pertes directes et indirectes, la contribution des infrastructures à la perte économique totale est de 5 %. Il est à noter que la contribution estimée des pertes d'infrastructures aux pertes totales est sujette à de grandes incertitudes.

Des études similaires pour différentes régions ont montré une vaste gamme de contribution des infrastructures, qui dépend de divers facteurs comme la situation socio-économique de la région à l'étude, le scénario choisi et la méthode d'évaluation des dommages, pour n'en nommer que quelques-uns. Dans les études comme le Scénario pour la Grande Secousse de 2008 (un séisme d'une magnitude de 7,8 de la faille de San Andreas du sud de la Californie) et l'étude de Munich Re (1992) des basses terres de la Colombie-Britannique, les pertes directes aux biens par les infrastructures contribuent à 1 à 8 % des pertes totales (les nombres les moins élevés correspondant au Scénario pour la Grande Secousse). Lorsque nous tenons compte des pertes économiques, ces nombres peuvent être plus élevés (de 8 à 25 %).

### **Pertes assurées**

Les pertes assurées, qui sont estimées à partir des pertes économiques, tiennent compte du niveau d'assurance en cas de séisme souscrit dans une région, aussi bien que des conditions de contrats d'assurance. Pour un complément d'information au sujet des hypothèses de pénétration de l'assurance et des conditions de contrats qui ont une incidence sur les pertes assurées présentées dans ce rapport, voir la section 3.6.

Les pertes assurées du scénario de l'Ouest atteignent un total de 20 431 millions CAD. Les pertes sont calculées en utilisant les plus récentes conditions de contrats et les estimations les plus favorables de taux de participation dans les régions discutées à la section 3.6.

En règle générale, les contrats d'assurance qui couvrent les tremblements de terre utilisent deux franchises, l'une les pertes non causées par le séisme (la franchise régulière du contrat), et une autre pour les pertes causées par le séisme. Dans le calcul des pertes assurées du présent rapport, dans le cas où il n'y avait qu'une perte causée par le séisme, nous avons utilisé la franchise de séisme. Lorsqu'il n'y avait que des pertes par incendie post-sismique, nous avons utilisé la franchise régulière du contrat. S'il y avait des pertes par séisme et par incendie post-sismique, nous avons utilisé la franchise la plus élevée, ce qui est la pratique normale de l'industrie.

Les réactions des compagnies d'assurances aux récentes modifications législatives en Colombie-Britannique ont eu pour résultat de faire évoluer les conditions des contrats. Pour cette raison, nous avons effectué un test de sensibilité en utilisant les franchises du contrat où il y avait des pertes par séisme et par incendie ; la perte qui en résulte serait de 44 % plus élevée.

Il convient de noter que les pertes touchant les infrastructures ne contribuent aucunement aux pertes assurées totales présentées ici. Les infrastructures peuvent être assurées privément, publiquement ou autoassurées, mais la prévalence de chacun de ces types d'assurance ne pouvait être déterminée à partir des données disponibles. Pour cette raison, les taux de pénétration du marché, qui sont des mesures de la valeur totale des biens assurés par rapport à la valeur de tous les biens, ne pouvaient être déterminés.

Le tableau 25 ci-dessous offre un sommaire de toutes les pertes visant les biens assurés selon le risque et la garantie, et l'illustration 60 indique la proportion de chaque garantie aux pertes totales illustrées et l'illustration 63 présente la proportion des pertes attribuables à chaque garantie.



Tableau 25 : Sommaire des pertes visant les biens assurés selon le risque et la garantie

	Immeuble	Biens meubles	Pertes d'exploitation directes	Total	Contribution du risque
Secousses	9024	5671	2383	<b>17 078</b>	83,6 %
Tsunami	739	203	175	<b>1117</b>	5,5 %
Incendie post-sismique	206	90	41	<b>337</b>	1,6 %
Liquéfaction et glissement de terrain	1465	59	374	<b>1898</b>	9,3 %
<b>Total</b>	<b>11 433</b>	<b>6023</b>	<b>2974</b>	<b>20 431</b>	
Contribution à la garantie	56,0 %	29,5 %	14,6 %		

Toutes les données sont en millions et comprennent une hausse subite de la demande

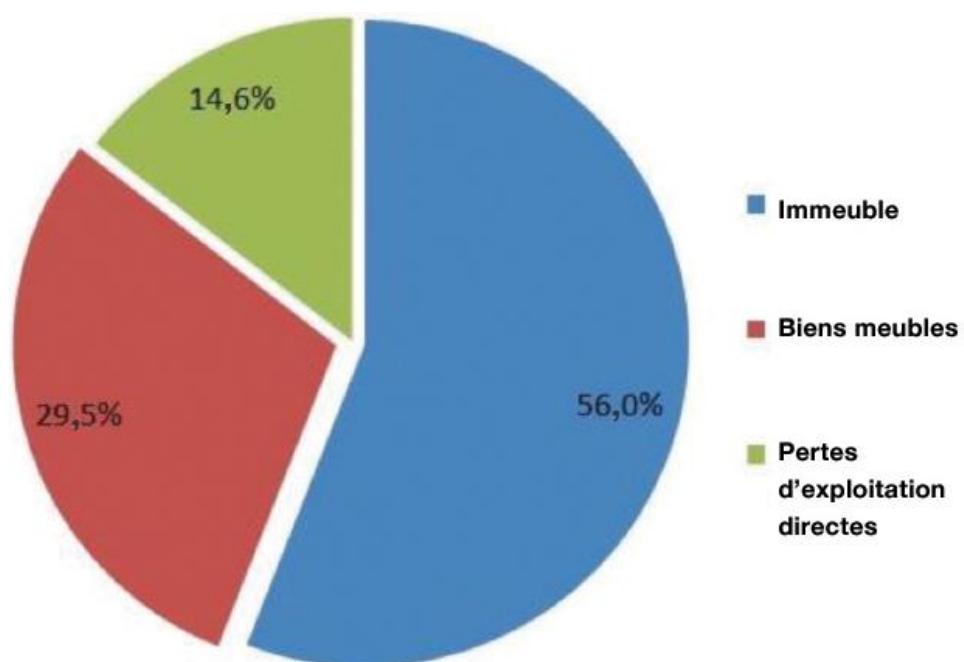
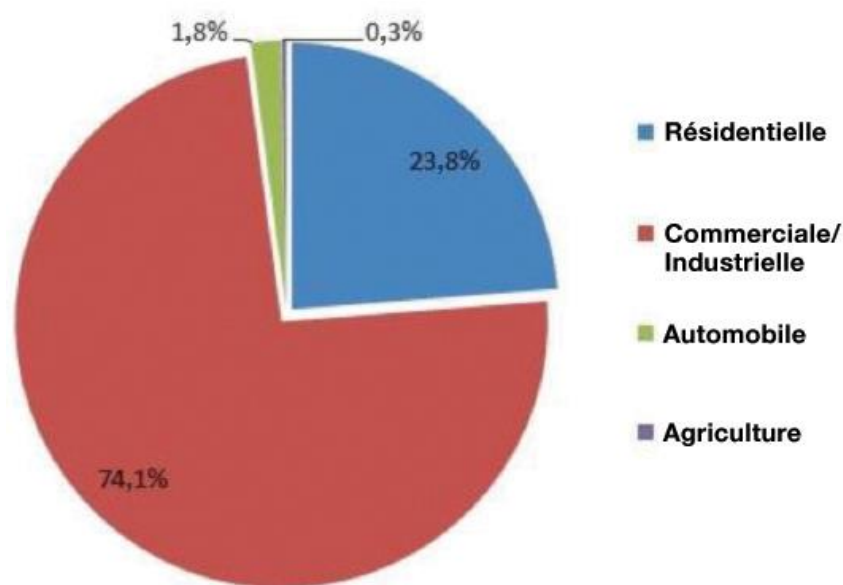


Illustration 60 : Contribution de chaque garantie aux pertes visant les biens assurés

**Tableau 26 : Sommaire des pertes visant les biens assurés par catégorie d'assurance**

	Résidentielle	Commerciale/ industrielle	Automobile	Agriculture	Total	Contribution du risque
Secousse	4154	12 784	102	38	<b>17 078</b>	83,6 %
Tsunami	-	901	213	3	<b>1117</b>	5,5 %
Incendie post-sismique	147	182	8	0	<b>337</b>	1,6 %
Liquéfaction et glissement de	556	1276	51	16	<b>1898</b>	9,3 %
<b>Total</b>	<b>4856</b>	<b>15 144</b>	<b>373</b>	<b>58</b>	<b>20 431</b>	
Contribution de la catégorie d'assurance	23,8 %	74,1 %	1,8 %	0,3 %		

Toutes les données sont en millions et comprennent une hausse subite de la demande

**Illustration 61 : Contribution de chaque catégorie d'assurance aux pertes totales des biens assurés**

Les pertes automobiles présentées au tableau 26 comprennent les pertes du séisme couvertes en vertu de contrats d'assurance automobile. En Colombie-Britannique, la Insurance Corporation of British Columbia (ICBC) offre tous les contrats d'assurance automobile obligatoire, de même que la vaste majorité des contrats d'assurance facultative qui couvre les séismes. La somme des sinistres automobiles assurées du scénario de l'Ouest est présentée au tableau 27 ci-dessous qui fait la distinction entre les sinistres couverts par l'ICBC et ceux couverts par les assureurs privés.

Tableau 27 : Sommaires des sinistres automobiles assurés par assureur

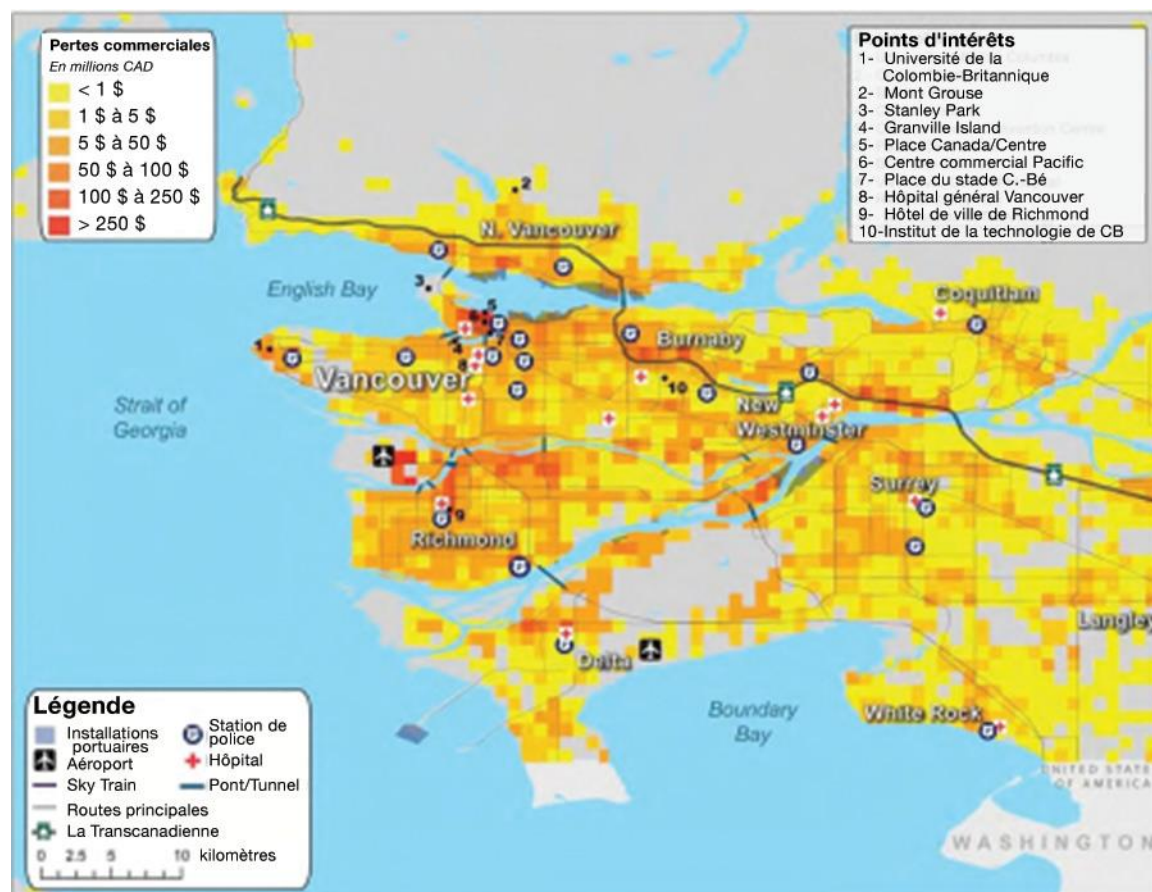
	ICBC	Autres assureurs	Total
<b>Sinistre assuré</b>	<b>336</b>	<b>37</b>	<b>373</b>
Contribution de l'assureur	90,0 %	10,0 %	

Toutes les données sont en millions

Les pertes commerciales/industrielles sont décrites dans les trois prochaines illustrations. L'illustration 62 indique les pertes totales de la région entière, l'illustration 63 présente les pertes du secteur de Vancouver et l'illustration 64 montre les pertes à Victoria et ses environs.



Illustration 62 : Pertes commerciales assurées du scénario de l'Ouest



**Illustration 63 : Pertes commerciales assurées dans le secteur de Vancouver**

Nous remarquons que les secteurs à pertes élevées sont dispersés dans la région, avec des concentrations évidentes dans le centre-ville de Vancouver, le nord de Richmond et les bâtiments industriels de l'île Annacis sur le fleuve Fraser. Tout aussi évidentes sont les pertes associées aux biens commerciaux de l'Aéroport international de Vancouver qui sont en sus des pertes visant les infrastructures du site inscrites dans le tableau 28.

Les pertes dans la région du Grand Victoria présentées dans l'illustration 64 sont des centres de population de concentration similaire, particulièrement le centre-ville de Victoria, où les pertes commerciales reflètent la valeur du développement le long des autoroutes 1 et 17.



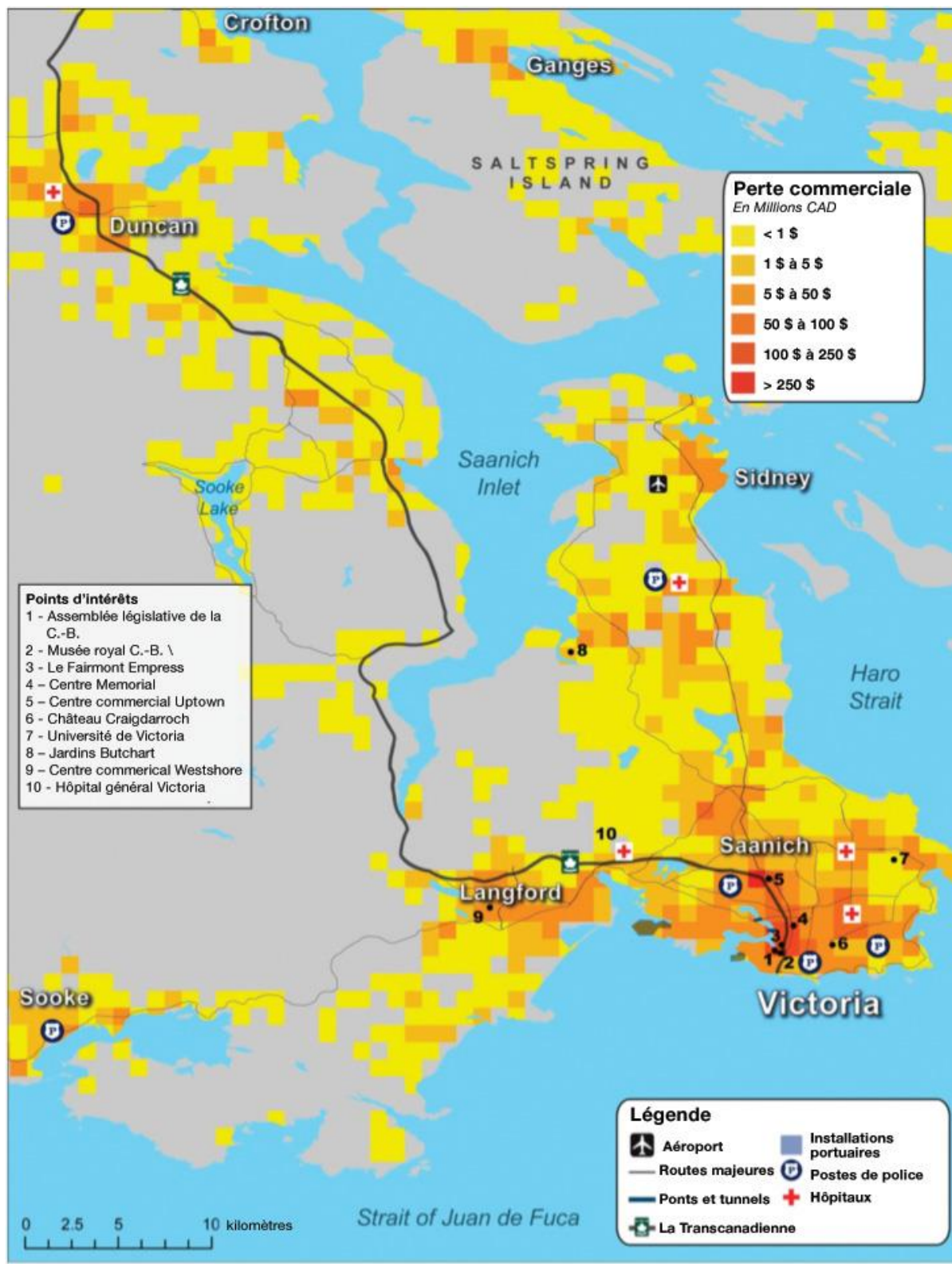


Illustration 64 : Pertes commerciales à Victoria



Les pertes résidentielles sont indiquées dans les trois illustrations suivantes. Les pertes de la région entière sont présentées à l'illustration 65, celles de la région de Vancouver sont données à l'illustration 66 et les pertes de Victoria sont indiquées à l'illustration 67.

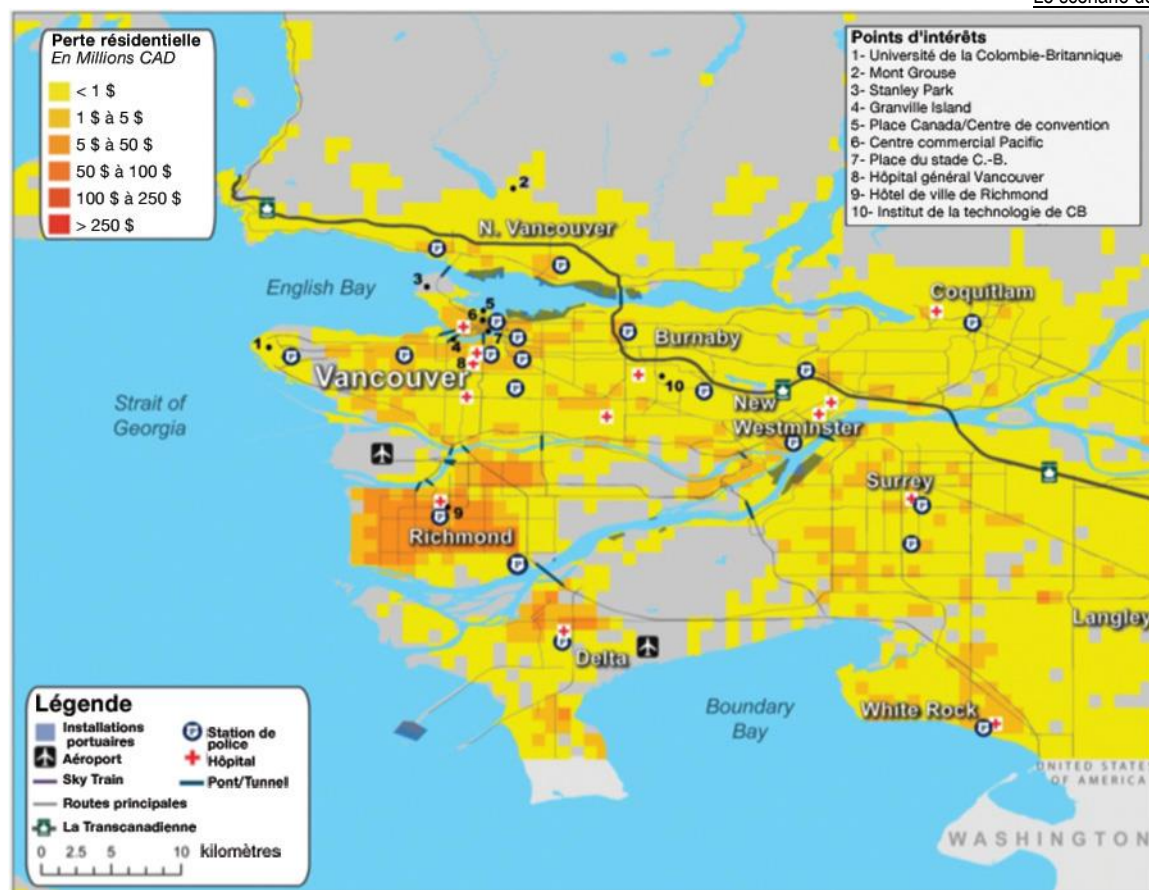


**Illustration 65 : Pertes résidentielles du scénario de l'Ouest**

L'illustration 65 ci-dessous montre comment les pertes visant les biens résidentiels suivent la répartition de la population remarquée à l'illustration 28.

Les communautés sont principalement situées le long des rives du Détroit de Georgia et à l'est de Vancouver, avec les plus concentrations les plus élevées en terme de population et de valeur des biens des régions du Grand Vancouver et du Grand Victoria. Partout ailleurs dans la région touchée par le séisme, la densité de la population et la répartition des biens résidentiels assurés sont très peu élevées.

Les pertes résidentielles notées sur l'illustration 65 reflètent la densité accrue et la valeur améliorée des biens assurés dans les centres peuplés. En règle générale, les pertes les plus élevées par km<sup>2</sup> sont constatées dans les principales municipalités de la région.



**Illustration 66 : Pertes résidentielles à Vancouver**

Les pertes résidentielles sont évidentes dans la région du Grand Vancouver. Le niveau de perte élevé à Vancouver tient compte de la planification méticuleuse du développement de haute densité qui contribue autant à son caractère vivable pour laquelle Vancouver est réputée. Les niveaux de pertes élevés à Richmond tiennent compte du degré de secousse vécu et le plus haut niveau de risque de liquéfaction de la région.

Des îlots sans pertes sont apparents, et certains tiennent compte du fait que les secteurs abritent plusieurs parcs et aires de conservation. Le grand espace sans perte de Delta, par exemple, est principalement occupé par 40 km<sup>2</sup> de la tourbière Burns – la plus grande tourbière bombée de la côte ouest de l'Amérique du Nord qui occupe le quart de Delta.

Les pertes résidentielles sont similaires dans la majorité de la région du Grand Victoria (illustration 67), avec des niveaux élevés de pertes dans les secteurs urbains les plus développés.

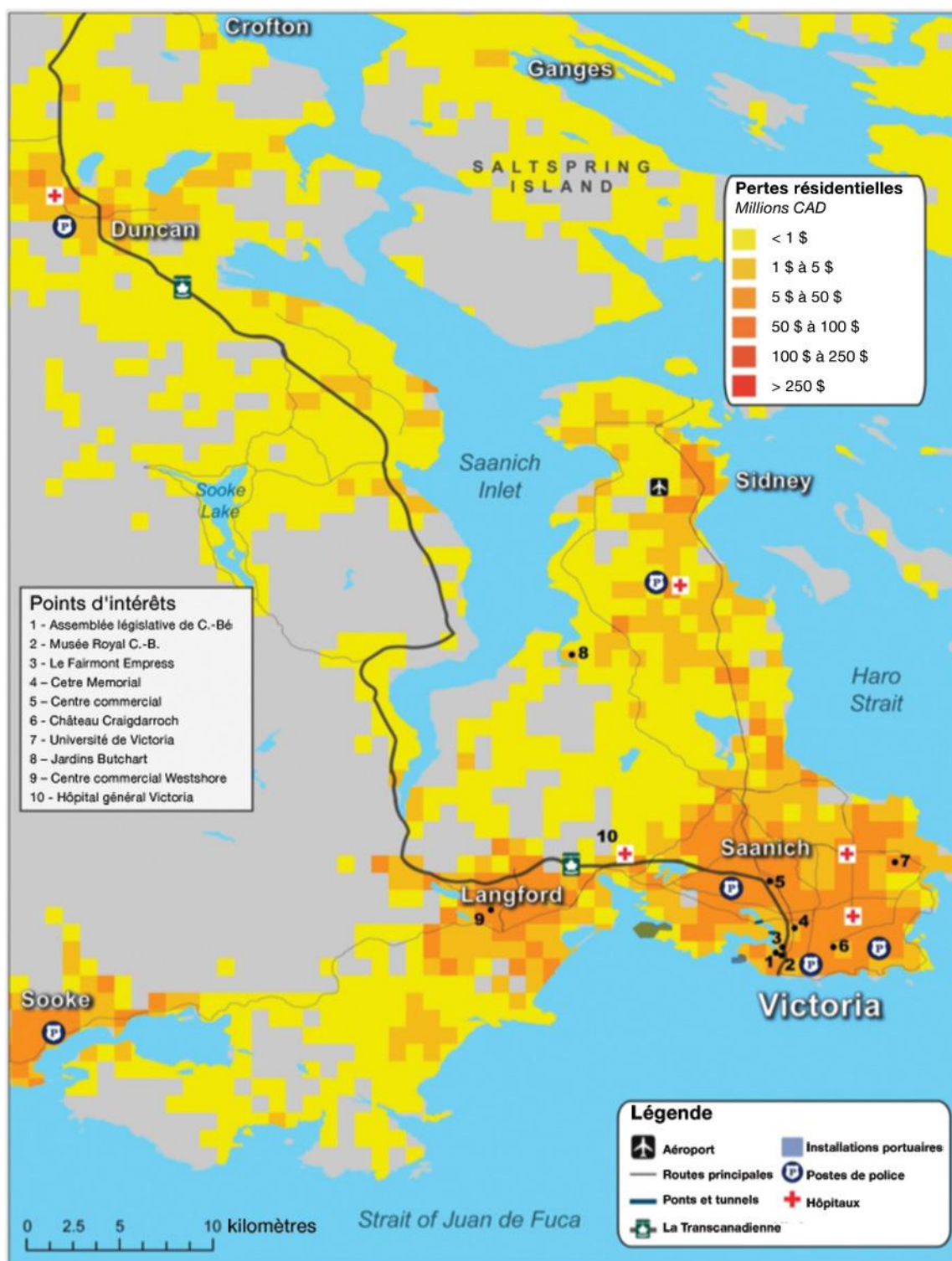
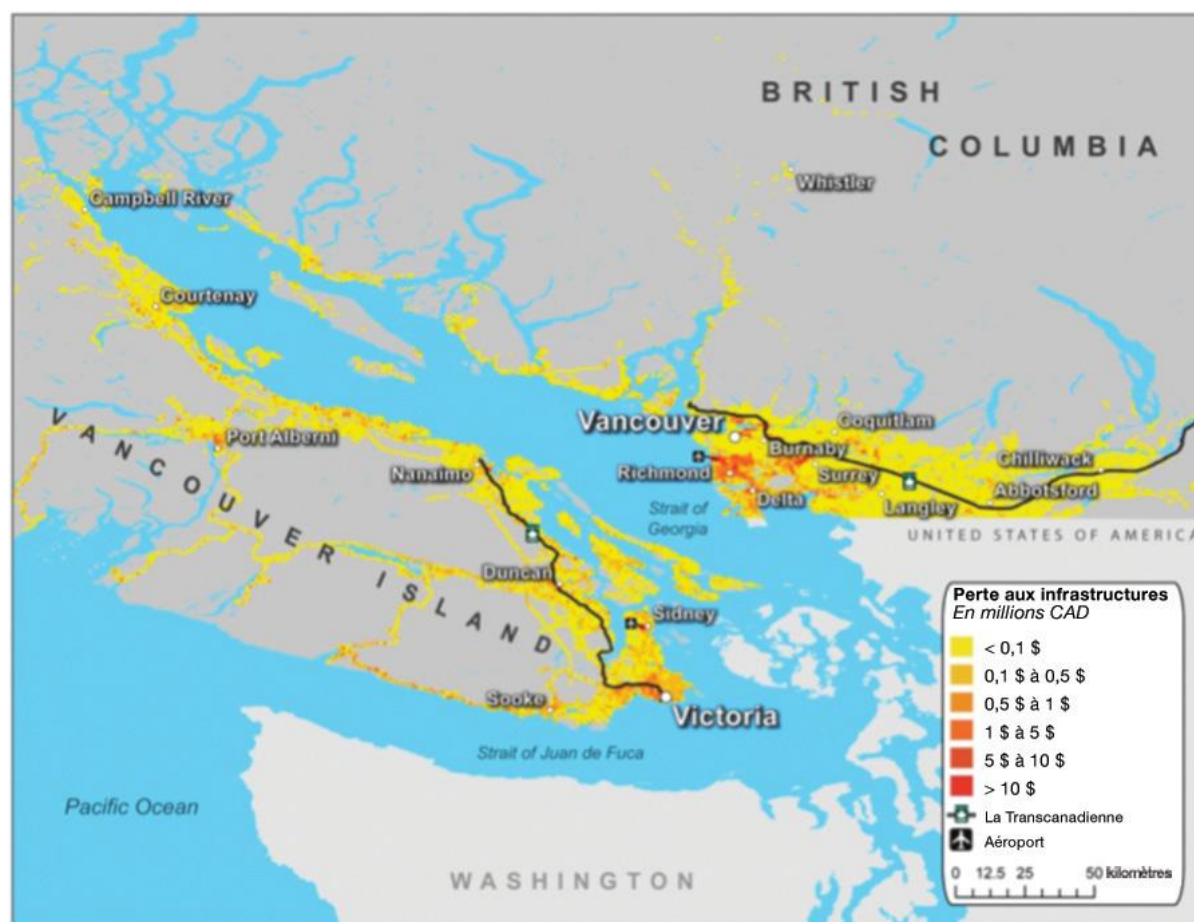


Illustration 67 : Pertes résidentielles à Victoria



### Infrastructure

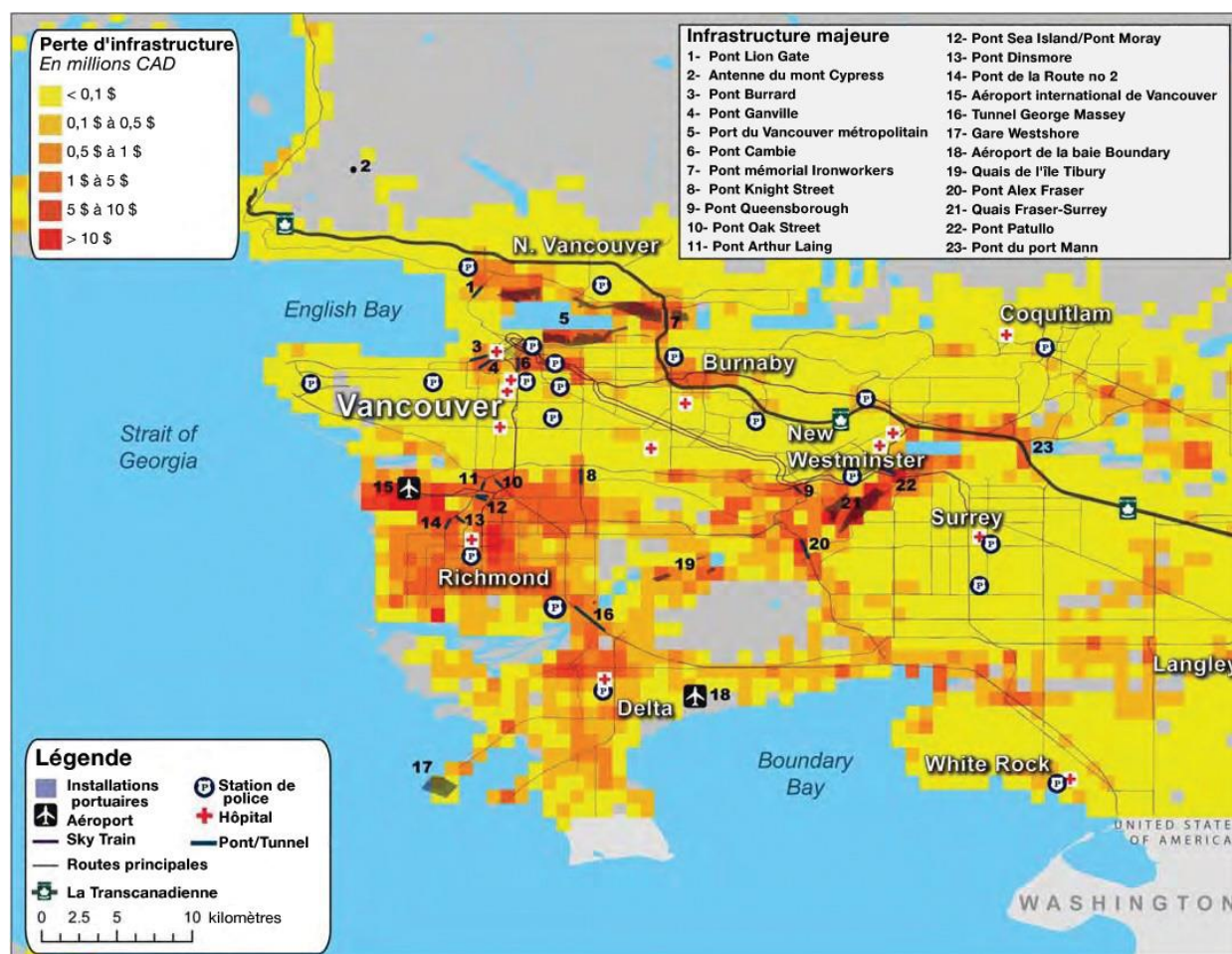
Les pertes visant les infrastructures dans la région sont détaillées à l'illustration 68. Plus de détails sont fournis pour la région de Vancouver à l'illustration 69 et la région de Victoria à l'illustration 70.



**Illustration 68 : Pertes visant les infrastructures dans le scénario de l'Ouest**

Les infrastructures de la région suivent le développement des communautés. Ce sont les artères qui les alimentent de services essentiels comme l'électricité, l'eau et les communications, les routes, chemins de fer et ponts qui les relient. Il s'agit du réseau vital qui leur permet de fonctionner et de faire prospérer leur économie.

L'illustration 68 montre de faibles niveaux de perte dans les communautés de la région. Les pertes touchant les routes de l'Île de Vancouver, où les secousses ressenties sont les plus fortes de la région. La catégorie de perte la plus importante est celle des dommages aux routes qui contribue aux pertes totales des infrastructures pour la région notée au tableau 28.



**Illustration 69 : Pertes visant les infrastructures de la région du Grand Vancouver**

Les pertes visant les infrastructures de la région du Grand Vancouver notées à l'illustration 69 présentent généralement un niveau peu élevé de pertes avec des îlots occasionnels de pertes élevées. Nous constatons un niveau élevé de perte à Richmond, en raison d'un niveau de risque de liquéfaction plus élevé auquel les routes et pipelines sont particulièrement vulnérables. Nous constatons également des pertes importantes aux ponts de la région et à l'Aéroport international de Vancouver. Elles tiennent compte surtout des dommages par liquéfaction aux pistes de l'aéroport en plus des pertes touchant les biens commerciaux au site noté à l'illustration 63.

Les pertes visant les infrastructures dans la région du Grand Victoria présentent une répartition similaire de pertes peu élevées, avec des îlots occasionnels de pertes légèrement plus élevées. Nous remarquons des pertes plus élevées à l'Aéroport international de Victoria.



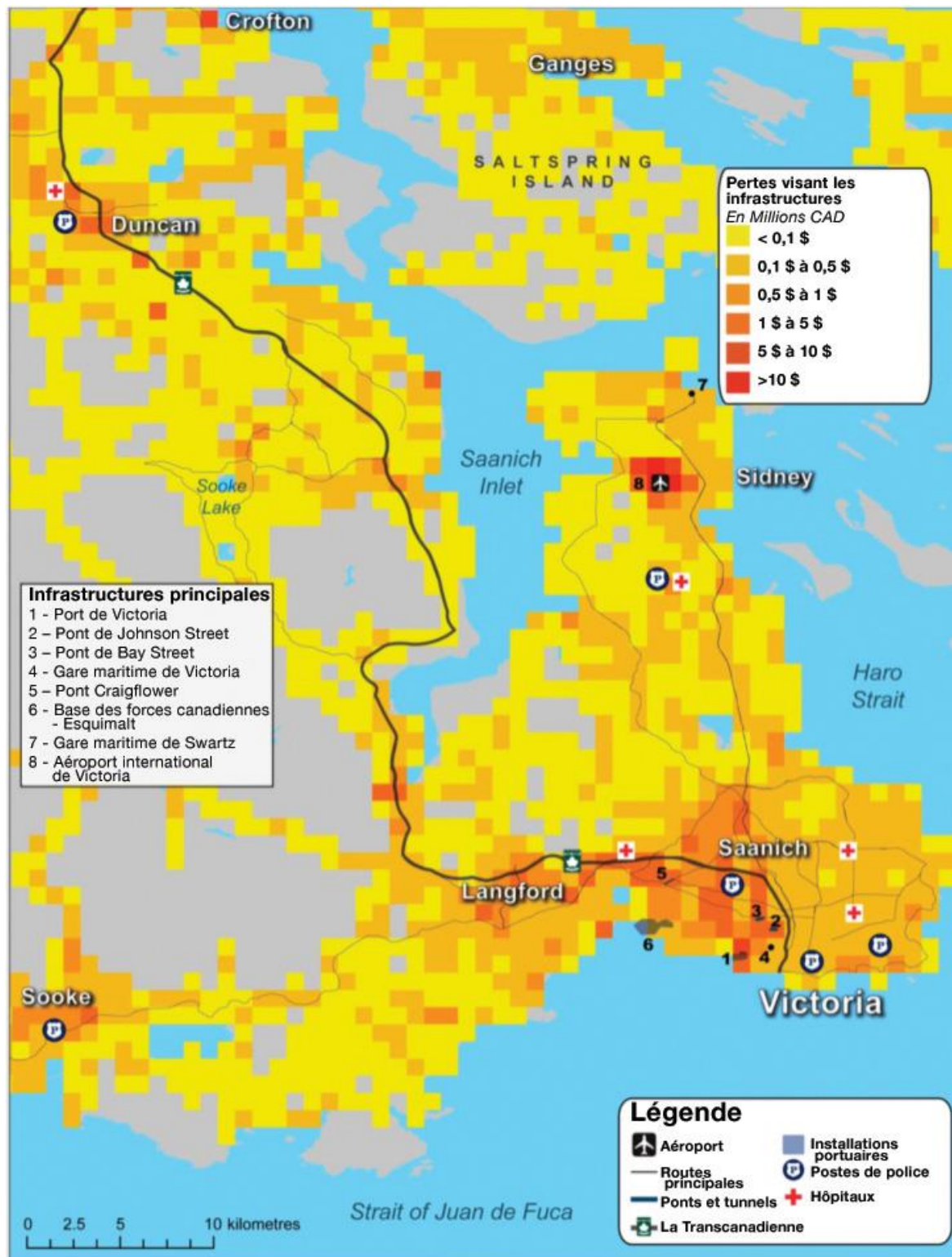


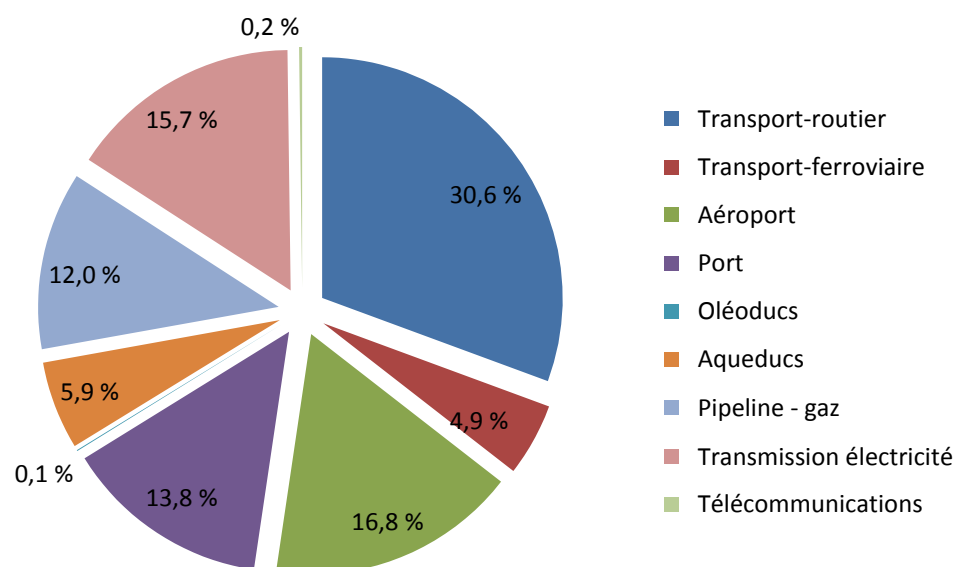
Illustration 70 : Pertes visant les infrastructures de Victoria

La contribution de chaque type d'infrastructure aux pertes totales est présentée ci-dessous au tableau 28, et la proportion des pertes attribuables à chaque type d'infrastructure est donnée à l'illustration 71.

**Tableau 28 : Contribution de chaque type d'infrastructure aux pertes totales**

Type	Perte directe	Contribution du type
Transport – réseau routier	578	30,6 %
Transport-ferroviaire	92	4,9 %
Aéroport	318	16,8 %
Port	261	13,8 %
Oléoduc	1	0,1 %
Aqueduc	112	5,9 %
Pipeline - gaz	226	12,0 %
Système de transmission électrique	296	15,7 %
Système de télécommunication	4	0,2 %
<b>Total</b>	<b>1888</b>	

Toutes les données sont en millions



**Illustration 71 : Contribution de chaque type d'infrastructure aux pertes totales**

**Édifices publics**

Le tableau 29 offre un résumé de toutes les pertes nettes des édifices publics par catégorie et par garantie.

**Tableau 29 : Perte nette totale des édifices publics**

Perte aux édifices	Type	Édifices	Biens meubles	Pertes d'exploitation directes	Total	Contribution du type
Commercial	Soins de santé	325	189	124	<b>637</b>	42,6 %
	Gouvernement	230	128	88	<b>445</b>	29,8 %
	Éducation	183	106	70	<b>358</b>	23,9 %
Industriel	Établissements de services publics	17	25	13	<b>55</b>	3,7 %
<b>Total</b>		<b>755</b>	<b>448</b>	<b>295</b>	<b>1495</b>	
Contribution de la garantie		50,5 %	30,0 %	19,7 %		

Toutes les données sont en millions

## 7 Le scénario de l'Est

### 7.1 Description de l'événement

Le séisme au centre du scénario de la région de l'Est prend son origine dans le fleuve Saint-Laurent, presque 100 km au nord-est de la ville de Québec, la plus grande concentration de population et de biens de la région. Les gens à une distance de 800 km de l'épicentre de l'événement, et dans certains cas plus loin, seront en mesure de le ressentir à l'intérieur. La région touchée comprend les zones denses de population des secteurs longeant le sud du fleuve Saint-Laurent, les communautés autour de Saguenay, des parties du Nouveau-Brunswick, de l'est de l'Ontario, de la Nouvelle-Écosse et du nord de la Nouvelle-Angleterre, en plus d'une large bande du territoire moins densément peuplé des alentours.

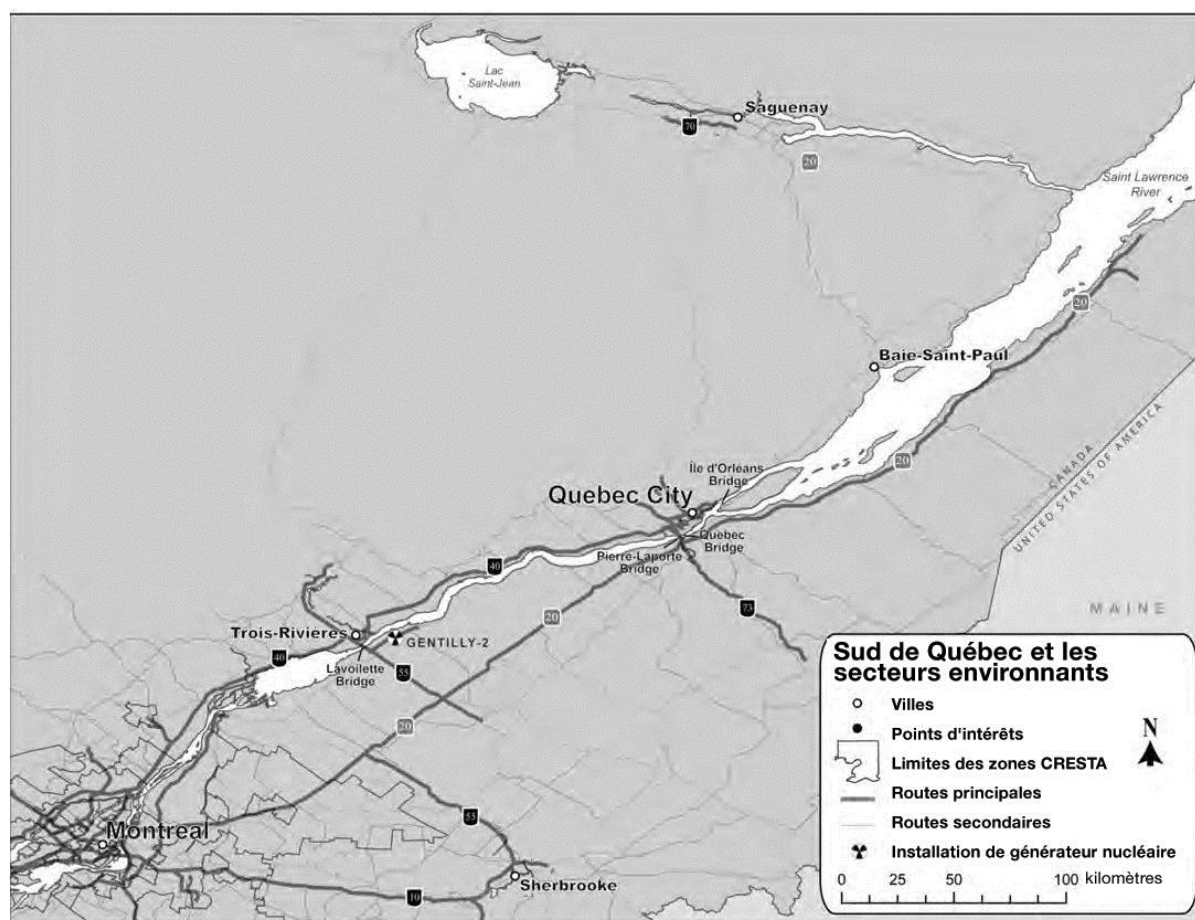


Illustration 72 : Principales municipalités incluses dans le scénario de l'Est



La région est divisée en deux par le fleuve Saint-Laurent, sous lequel le séisme prend son origine. Les plaines du Saint-Laurent suivent le fleuve en direction du nord-est vers la ville de Québec, ce qui est près du centre de la région du scénario et marque la transition du fleuve vers un estuaire à marée plus large. Les hautes terres laurentiennes au nord et les monts Notre-Dame au sud accompagnent le fleuve jusqu'à sa décharge dans le golfe Saint-Laurent.



**Illustration 73 : Les districts de la Haute-Ville historique et de la Basse-Ville de Québec, y compris des installations portuaires en premier plan (Datch 78, Wikimedia)**

La mention de la ville de Québec évoque des images pittoresques de la pierre historique dont sont construits les secteurs de la haute et de la basse ville. En raison de ses multiples attractions, la ville de Québec est une destination touristique populaire et offre une infrastructure de tourisme de classe mondiale. Elle est également la capitale provinciale et abrite l'Assemblée nationale du Québec et les ministères gouvernementaux. Le secteur des services domine son économie, mais la ville accueille également plusieurs sièges sociaux et un solide secteur manufacturier, et est devenue un centre majeur pour l'industrie des sciences de la vie. Son emplacement aux abords du fleuve Saint-Laurent lui offre un port en eau profonde d'importance pour la circulation maritime tant pour le transport des marchandises que pour les bateaux de croisière.

En amont et à l'ouest de la ville, s'étendant loin de l'épicentre du séisme, se trouve la dense population de la ville de Québec – le corridor de Windsor – la région la plus intensément industrialisée du Canada. Le séisme ne sera ressenti à Trois-Rivières qu'au niveau VI de l'échelle de MM (échelle de Mercalli modifiée), et au niveau V à Montréal (voir le tableau 16 pour une description des niveaux de MM). Les dommages aux installations nucléaires, comme la centrale de Gentilly déclassée, près de Trois-Rivières, ne sont pas modélisés par l'AIR.



### **Le scénario de l'événement**

Ce séisme survient tôt en décembre, et les températures moyennes de jour à Québec atteindront à peine - 5 degrés Celsius. Le ciel sera probablement très couvert et la probabilité de précipitations en ce jour est de 73 %. La précipitation prendrait la forme de neige légère ou modérée. La vitesse typique des vents varie entre 0 et 28 km/h, n'excédant que rarement les 42 km/h. Ce scénario présente une vitesse des vents de 28 km/h, ce qui s'inscrit bien dans les valeurs possibles. Les vents proviendront le plus probablement de l'ouest ou de l'est.

Comme pour le scénario de la région de l'Ouest, l'heure du jour où surviendra le séisme n'est pas significative d'un point de vue des pertes assurées, et n'est donc pas prise en considération dans cet exercice. Un important séisme coïncidant avec l'heure de pointe pourrait cependant entraîner un nombre élevé de lésions corporelles, mais ceci se trouve hors de la portée de la présente étude.

L'événement du scénario de la région de l'Est est un puissant séisme, d'une magnitude de 7,1, survenant à une profondeur de 10 km. L'emplacement de l'épicentre (47,245° de latitude, -70,470° de longitude) se trouve sous le fleuve Saint-Laurent, à mi-chemin environ entre Baie-St-Paul sur la rive nord et Montmagny au sud.

### **Domages prévus**

Dans ce scénario, la secousse tellurique est responsable de la plus grande majorité des pertes nettes, et comme il s'agit d'un événement à l'intérieur des terres, aucun tsunami n'est généré. Le scénario de la région de l'Ouest modélise un événement d'une magnitude beaucoup plus puissante de 9, l'épicentre de celui-ci se trouvant à environ 300 km de Vancouver. Mais comme l'épicentre du séisme du scénario de la région de l'Est à proximité, la ville de Québec et les environs ressentiront des secousses beaucoup plus violentes que ce que présente le scénario de Vancouver. Avec un niveau de VII sur l'échelle MM, l'expérience de secousses fortes à très fortes dans la ville et ses environs, il sera difficile de se tenir debout ou de marcher et de conduire une automobile. Pour une explication de l'échelle MM, ses niveaux d'intensité et une description de leurs impacts, voir le tableau 16.

Les structures de conception moderne devraient obtenir une bonne performance, mais les édifices de maçonnerie moins bien construits, en particulier, pourraient être sérieusement endommagés par la chute de cheminées, plâtre lâche, corniches, briques et tuiles, parois supérieures et parapets. Des fissures se développeront même dans les structures de maçonnerie les mieux construites. Les édifices historiques de maçonnerie non renforcée, très répandus dans la haute et la basse ville de Québec par exemple, sont particulièrement à risque.

**La Vallée du Saint-Laurent**

Les secousses les plus fortes et les plus dommageables du séisme seront ressenties dans les communautés rurales longeant les rives nord et sud du fleuve Saint-Laurent, dans un rayon d'environ 50 km de l'épicentre. Dans ces zones, les secousses seront de niveau VIII. La liquéfaction et les glissements de terrain contribueront significativement aux dommages anticipés le long du fleuve Saint-Laurent.



**Illustration 74 : Dommage par séisme lorsqu'une maison n'est pas fixée à sa fondation (J.K. Nakata, U.S. Geological Survey)**

Le secteur près de la station de ski du Mont-Sainte-Anne dans la ville de Beaufort, à environ 40 km au nord-est de la ville de Québec, comprend de l'hébergement temporaire, des édifices à appartements et des édifices commerciaux peu élevés. On prévoit d'importants dommages à la station de ski et aux environs immédiats. Il est à noter qu'en plus des secousses telluriques, des glissements de terrain peuvent aussi contribuer à la somme des dommages dans cette région.

Des dommages substantiels aux bâtiments de bois de la station de ski, qui constituent pour une large part de l'hébergement, peuvent inclure de larges fissures diagonales aux panneaux muraux, le desserrement ou même bris de tiges de renforts diagonales, le glissement ou la division aux joints boulonnés et un mouvement latéral permanent des planchers et plafonds. On s'attend également à des fissures aux fondations, glissement des structures sur les fondations et un effondrement partiel des constructions de type « sur pilotis », le cas échéant.

Les dommages aux édifices de maçonnerie (tant renforcée que non renforcée) pourraient être très lourds. On s'attend de voir des ruptures aux murs, des défaillances partielles des structures de plafonds et planchers, ou même des effondrements partiels. L'étendue des dommages aux édifices de maçonnerie sera si étendue qu'elle pourrait les rendre hors d'état pendant plusieurs mois.

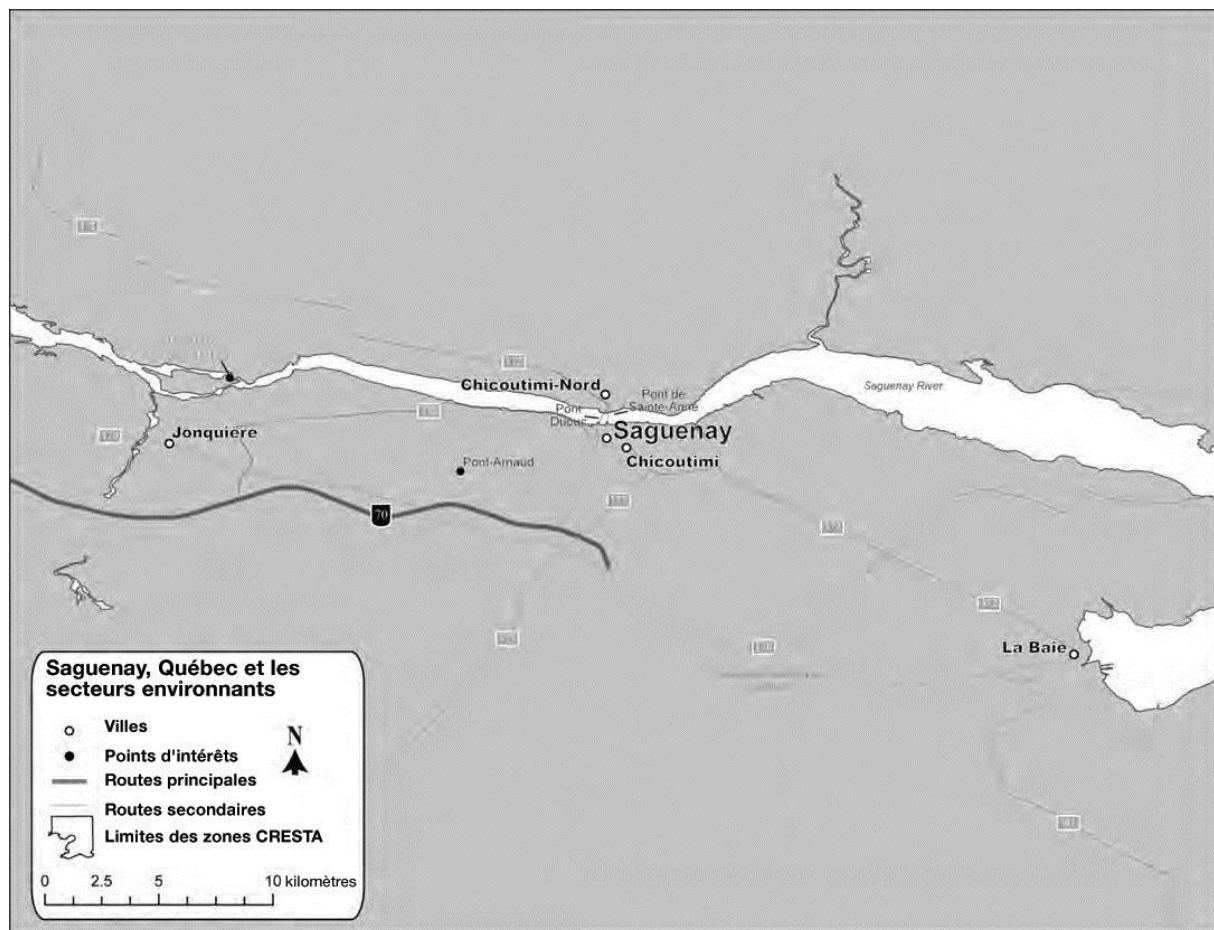
On prévoit également des dommages substantiels aux édifices de béton armé et d'acier à Saint-Ferréol-les-Neiges, le long de la route 360. Plusieurs contreventements et autres éléments de structure auront dépassé leur limite élastique ce qui entraînera une déformation latérale permanente de la structure. Certains éléments de structure ou connexions dépasseront leur capacité maximale, ce qui sera apparent sur les renforts qui se seront tordus ou brisés, aux brides tordues, aux soudures brisées, ou aux joints boulonnés rompus. Les ancrages de boulons aux colonnes peuvent être étirés. L'effondrement partiel des parties de structures est possible par la défaillance de certains éléments ou joints importants. En raison de la sévérité de leurs dommages, ces édifices pourraient être hors d'état aux fins de réparation et de reconstruction pendant plus de trois mois.

Les défaillances du sol, en particulier les glissements de terrain, pourraient largement contribuer aux dommages dans ces secteurs, spécialement dans les zones élevées près du fleuve à Sainte-Anne-de-Beaupré. La sévérité et l'étendue des dommages peuvent avoir un impact significatif sur les entreprises de cette région.

En plus des immeubles commerciaux, les édifices résidentiels des régions mentionnées précédemment, particulièrement les édifices de maçonnerie non renforcée de la ville de Beaupré, pourraient subir de très lourds dommages, ou même être complètement détruits. Des dommages de cette nature seront largement répandus et s'étendront aussi loin qu'à Saint-Tite-des-Caps et de l'autre côté du fleuve à Montmagny, Berthier-sur-Mer et Cap-Saint-Ignace.

### ***Saguenay***

Les édifices résidentiels et commerciaux de Saguenay (voir l'illustration 75) et Port Alfred subiront des dommages allant de négligeables à légers. Les dommages aux structures de bois incluront de petites fissures aux coins de portes et fenêtres et aux intersections des murs et plafonds. Des fissures capillaires pourraient être décelées sur certains murs de maçonnerie endommagés. Les pertes d'exploitation pourraient durer quelques jours, alors que d'autres ne subiront aucune interruption de service.



**Illustration 75 : Les communautés environnantes à Saguenay**

#### *Parc de la Chute Montmorency*

Le Parc de la Chute-Montmorency est le site d'une grande chute – la Chute Montmorency – située à environ 12 km de la ville de Québec, à la limite entre le territoire de Beauport, la ville de Québec, et Boischatel. Les établissements commerciaux de ce secteur et les villes des alentours pourraient subir des dommages modérés pendant le séisme. Alors que des dommages de niveau modéré aux édifices de béton armé et d'acier pourraient causer moins d'une semaine de pertes d'exploitation pour réparation et reconstruction, des dommages plus importants aux maçonneries (spécialement celles non renforcées) causeront une interruption plus étendue (pouvant atteindre trois mois).

Les immeubles résidentiels du secteur de Boischatel et Chute-Montmorency, lesquelles sont principalement de faible hauteur, pourraient aussi subir des dommages de niveau modéré. Les dommages aux structures de bois avec placage de maçonnerie pourraient avoir de petites fissures aux coins des portes et fenêtres et aux joints boulonnés. Certaines cloisons pourraient exiger le remplacement des panneaux de gypse ou autres finis. Le temps de réparation pour ces constructions devrait d'être de moins d'une semaine.

Cependant, les édifices en maçonnerie de cette région seront plus sérieusement endommagés, présentant de plus larges fissures aux colonnes, poutres et murs porteurs, de même que des dommages aux plafonds et panneaux muraux extérieurs. Certains édifices de maçonnerie renforcée pourraient exiger jusqu'à un mois de réparation, alors que ceux en maçonnerie non renforcée pourraient être inutilisables pendant deux mois pour les réparations et la reconstruction.

Les ponts traversant la rivière Montmorency sur la route 138 (Boulevard Sainte-Anne) et la route 360 (avenue Royale) pourraient subir d'importants dommages. La réparation et la reconstruction de ces ponts pourraient exiger plusieurs mois et avoir un impact sévère sur le transport dans les communautés de l'autre côté du fleuve. Une destruction complète des constructions en maçonnerie surviendra sur l'île d'Orléans. On prévoit que plusieurs édifices subiront d'importantes défaillances aux murs ainsi que des défaillances partielles des structures de plafonds et planchers.

#### ***Ville de Québec***

Les édifices commerciaux de Place Fleur de Lys et des alentours pourraient subir des dommages de niveau modéré à important en raison des secousses telluriques. Dans certains édifices de maçonnerie, les dommages à la structure et au contenu seront suffisamment importants pour forcer une fermeture de plusieurs semaines pour réparation et restauration. Des dommages de niveau léger à modéré à l'édifice et au contenu, au béton armé, à l'acier et aux édifices de bois de ce secteur pourraient aussi mener à quelques semaines de temps d'arrêt pour réparation dans chaque cas.

Les ponts routiers enjambant la rivière St-Charles sur la route 440 (autoroute Dufferin-Montmorency) et les ponts routiers et ferroviaires sur la route 136 (boulevard Jean Lesage) de même que celui sur la route 175 (autoroute Laurentienne) pourraient subir des dommages de niveau modéré à étendu en raison des secousses telluriques. À ces niveaux de destruction, les dommages structuraux de certains éléments seront considérables. Ceci exigera des inspections minutieuses et un long processus de réparation et de reconstruction, ce qui pourrait exiger de trois à quatre mois. La fermeture de ces ponts, si requis, ralentira considérablement la circulation et le transport entre la ville de Québec et les secteurs peuplés de la cité de Limoilou.

De même, le pont de l'autoroute 440 traversant la rue Saint-Vallier pourrait subir des dommages de niveau modéré et être fermé pour inspection et réparation initiales pendant quelques jours. La pleine réparation des dommages et les travaux de reconstruction pourraient durer plus d'un mois.

Les dommages aux établissements en hauteur du secteur de la ville de Québec devraient être légers. Ces édifices devraient être opérationnels après l'inspection initiale. Les édifices résidentiels subiront principalement des dommages de niveau léger à modéré dans le centre-ville de Québec. Des dommages modérés surviendront aux édifices de maçonnerie non renforcée, causant plusieurs fissures dans les murs.



La perturbation à l'utilisation de ces demeures pourrait se poursuivre pendant des semaines. Certaines maisons mobiles ayant subi des dommages de niveau modéré pourraient être inhabitables pendant plusieurs jours. Certaines constructions de bois subiront de légers dommages sans aucune interruption d'utilisation.

Autour du centre-ville de Québec, la sévérité des dommages aux édifices sera variable. Dans Sillery, les constructions de maçonnerie renforcée subiront de légers dommages, comme des fissures aux murs ou la chute d'assez grands morceaux de plâtre. Il pourrait prendre moins d'une semaine pour remettre ces édifices en état. Les édifices résidentiels de Beauport pourraient subir des dommages allant de modéré à important. Certains édifices en bois avec placage de maçonnerie pourraient être hors d'état pendant quelques semaines. Les dommages structuraux prendront la forme de larges fissures diagonales en travers des panneaux des murs de contreventement; relâchement et/ou bris des tiges de renforts diagonales; et un mouvement latéral permanent des planchers et des plafonds.

Les dommages aux établissements de santé dans le secteur de la ville de Québec varieront également. Les secousses telluriques causeront certains dommages de niveau léger à modéré à l'Hôtel-Dieu de Québec, un hôpital universitaire affilié à l'école de médecine de l'Université Laval, situé au centre de la ville de Québec. Les dommages consisteront probablement en des fissures aux murs et à des chutes de plâtre et de cheminées, de même que les fissures aux cloisons, portes et cadres de fenêtres, et la chute de carreaux de plafond. En plus d'endommager les éléments structuraux, des dommages au contenu des édifices seront également très communs. L'étendue des dommages pourrait rendre certaines parties de l'hôpital inutilisables pendant quelques semaines. L'ensemble des travaux de réparation et de reconstruction pourrait prendre jusqu'à deux mois.

Le Centre Médical Berger est le plus grand édifice professionnel de Québec. Il y a plusieurs centres médicaux dans les environs, comme l'Hôpital du Saint-Sacrement (le principal hôpital psychiatrique) et l'Hôpital Jeffery Hale. Les établissements médicaux de ce secteur pourraient subir des dommages de niveau léger à modéré. La plupart des unités de soins de santé dans les édifices légèrement endommagés seront disponibles pour une utilisation immédiate, mais certaines d'entre elles pourraient être hors d'état pour une période allant jusqu'à deux mois pendant la réparation et la reconstruction complète.

On prévoit que l'Hôpital Laval ne subira que de légers dommages. Alors que la plupart des unités devraient demeurer en activité, certaines réparations et travaux de reconstruction pourraient durer quelques jours. On prévoit des dommages modérés au Centre Hospitalier Affilié Universitaire de Québec, l'Hôpital de l'Enfant-Jésus. Des dommages structurels, non structurels et de contenu pourraient être répandus dans certains édifices. Certaines parties de l'hôpital pourraient être hors d'état pour réparation et reconstruction pendant trois ou quatre mois.

Sur la rive opposée du fleuve Saint-Laurent, l'Hôtel-Dieu de Lévis devrait subir des dommages de niveau léger à modéré. Certaines parties de l'hôpital pourraient être hors d'état pour réparation, mais la plupart des unités devraient reprendre leurs activités après une inspection initiale.

### **Le Vieux-Québec**

Ce qui fait que cette région est une destination touristique aussi importante est le Vieux-Québec, qui comprend des édifices historiques construits au 17<sup>e</sup> et au 18<sup>e</sup> siècle. Le Vieux-Québec, désigné comme site du patrimoine mondial par l'UNESCO, comprend la Haute-Ville et la Basse-Ville. Au sein de ses fortifications, uniques en Amérique du Nord, la Haute-Ville comprend plusieurs édifices importants. Parmi eux se retrouve l'Hôtel de Ville, l'hôpital universitaire de l'Hôtel-Dieu de Québec, le Sanctuaire Notre-Dame-du-Sacré-Cœur et le fameux Château Frontenac.

Les dommages dans le secteur environnant les édifices du Parlement devraient être de légers à modérés. Les dommages aux édifices de hauteur moyenne, en acier et en béton, devraient être légers. On ne prévoit pas de temps d'arrêt pour ces édifices; après l'inspection initiale, les réparations pourraient durer moins d'une semaine. Cependant, des dommages modérés aux édifices de maçonnerie entraîneront un temps d'arrêt prolongé, et les travaux de réparation et de reconstruction pourraient prendre plus de deux mois. Les édifices en acier et en béton de ce secteur ne devraient pas subir de dommages importants, sauf quelques dérangements du contenu.

Les édifices historiques sont généralement des constructions de maçonnerie, souvent non renforcée. Ces édifices sont caractérisés par des murs de lourdes pierres ou de briques et par des planchers de bois. Bien que cette forme de construction les rende attractifs pour les touristes, elle les rend particulièrement vulnérables lors de séismes. Le poids élevé du matériel utilisé dans ces édifices combiné à des liens faibles et âgés entre les murs, planchers et fondations, fait en sorte que ces édifices sont vulnérables aux séismes, sauf s'ils ont été renforcés. Les dommages typiques à ces édifices pendant un séisme modéré incluent le déplacement et la chute de parapets, cheminées et pignons. Dans les cas de mouvements de sol plus importants, les murs, planchers, toits, porches et escaliers pourraient s'écrouler et les supports de la structure intérieure pourraient s'effondrer partiellement ou entièrement. De larges fissures diagonales pourraient apparaître, et les étages supérieurs pourraient s'effondrer, tandis que les édifices à structure de bois mal fixée pourraient glisser de leur fondation.

Un renforcement parasismique peut améliorer grandement la performance des édifices historiques. De tels renforcements des édifices historiques, bien que contraints par la préservation du caractère historique, peuvent être accomplis par le renforcement des éléments structuraux.

De tels renforcements peuvent comprendre l'ajout d'attaches ancrées, des joints de mortier renforcés, des ossatures contreventées ou résistantes, murs de contreventement et diaphragmes horizontaux.

Le séisme du scénario devrait causer des dommages structurels et non structurels aux édifices anciens de ce secteur. Pour les édifices de maçonnerie, il pourrait entraîner l'apparition de fissures sur plusieurs murs, la chute de grands morceaux de plâtre et l'effondrement partiel de cheminées. La chute de carreaux de plafond et de luminaires pourrait être répandue. Les dommages aux édifices anciens de béton, généralement aux murs remplis de maçonnerie non renforcée, devraient être de légers à modérés. Les dommages pourraient prendre la forme de fissures aux poutres, colonnes et murs porteurs, ainsi que de plus larges fissures aux murs pleins et le recouvrement mural extérieur, de même que la chute de mortier des joints des panneaux muraux. Le processus d'inspection, de réparation et de reconstruction de ces édifices devrait entraîner un temps d'arrêt de plus d'un mois.



Illustration 76 : La rue du Petit-Champlain, Vieux-Québec (Jeangagnon)

Le secteur historique de la Basse-Ville autour du Quartier du Petit-Champlain est un ancien quartier commercial où sont situées plusieurs boutiques d'art et d'artisanat, ainsi que la murale de la rue du Petit-Champlain. Cette zone abrite également le Musée de la civilisation. Les édifices commerciaux de ce secteur sont principalement des constructions basses à structure de maçonnerie. Des dommages modérés, comme il a été précédemment décrit, pourraient également survenir dans cette zone. Le temps d'arrêt pourrait prendre de quelques semaines à un mois. Les dommages à certains édifices de maçonnerie de hauteur moyenne pourraient être plus étendus et être hors d'état pendant une période pouvant durer deux mois. Alors que les dommages les plus anticipés de ce secteur seront dus aux secousses telluriques, certains incendies post-sismiques pourraient également contribuer aux dommages.

### Infrastructure

Les infrastructures portuaires et ferroviaires ne devraient pas subir de dommages importants, mais les secteurs de l'électricité et des télécommunications pourraient être les infrastructures les plus touchées. L'alimentation électrique devrait être coupée pendant plusieurs jours dans la ville de Québec et plusieurs des parties les plus développées de la région métropolitaine. (Beauport, Charlesbourg, les Rivières, Sainte-Foy-Sillery-Cap-Rouge etc.) Les communautés de l'est longeant le fleuve Saint-Laurent feront face à des pannes d'une durée s'étendant sur plusieurs jours. Les services de téléphonie cellulaire pourraient être instables pendant quelques jours suivant l'événement, probablement plus en raison du volume de tentatives d'appels qu'en raison des dommages aux infrastructures. Certaines des tours endommagées pourraient être remises en fonction en quelques jours, mais les autres, particulièrement dans la ville de Québec et à l'est, pourraient être hors d'état pendant quelques semaines. Certaines tours de Charlesbourg et de Beauport, au nord, pourraient être hors d'état pendant plusieurs semaines.

Les routes, pipelines et tunnels du secteur seront pour la plupart hors d'état pendant quelques jours mais, à certains endroits cela pourrait durer quelques semaines. La plupart des routes principales à Québec et dans les environs pourraient ne subir que des dommages de niveau léger en raison du tassement léger ou du décalage du sol. On ne prévoit pas de fermeture d'envergure (autre que pour quelques heures) de ces routes. Plus à l'est cependant, entre Baie-Saint-Paul et La Malbaie, des dommages modérés aux routes locales seront généralisés. Les dommages modérés aux routes impliquent plusieurs centimètres de tassement ou de décalage des routes. Une partie des dommages aux routes élevées longeant les rives pourrait être attribuée à des glissements de terrain.

Plusieurs ponts subiront des dommages de niveaux variés et devront être fermés pendant longtemps pour les réparations. Le temps de fermeture de ces ponts a un impact sur les routes et autoroutes locales de ces régions; cependant, le modèle ne prend pas en considération de telles interactions. Tous les ponts devront être inspectés avant d'être rouverts et les ponts plus stratégiques seront traités en priorité. Les ponts de moindre importance seront fermés pendant un temps considérable, jusqu'à ce que les ingénieurs d'inspection soient libres de leur accorder leur attention.



Plusieurs ponts donnant accès à la ville de Québec en provenance du nord pourraient être hors d'état pendant plusieurs semaines.

Le pont de l'Île d'Orléans – la seule voie d'accès à l'île – devrait subir des dommages étendus à complets en raison de secousses telluriques sévères et de liquéfaction. Les dommages pourraient être sous la forme de mouvements résiduels significatifs aux connexions, dommages aux ancrages et câbles, l'effondrement de tabliers ou le basculement des infrastructures en raison de la défaillance des fondations. À ce niveau de dommage, on prévoit une importante interruption de service. La restauration complète (si possible) pourrait exiger plusieurs mois.



**Illustration 77 : Les ponts de Québec et Pierre-Laporte, vus de la rive nord en hiver (Blanchardb à en.wikipedia)**

Plus sérieusement cependant, les seuls ponts à enjamber le fleuve Saint-Laurent seront sévèrement touchés. Le pont Pierre-Laporte devrait subir des dommages de niveau modéré à étendu sous la forme de mouvements résiduels significatifs aux connexions et dommages aux ancrages ou aux éléments d'acier et les connexions.

L'étendue des dommages exigera quelques mois pour obtenir une restauration complète, et de ce fait, causer une fermeture à la circulation pendant une durée considérable. Le pont de Québec comprend une autoroute et une voie ferroviaire. Les deux devraient subir des dommages modérés et la restauration complète pourrait nécessiter plusieurs semaines.



Les structures comme les aérogares, tours et hangars de l'aéroport Jean-Lesage, situés à environ 11 km au sud-ouest de la ville de Québec, pourraient subir des dommages de niveau mineur à modéré.

Généralement, ceux-ci incluront de petites fissures aux coins des portes et fenêtres et aux intersections des murs et des plafonds. Les fissures pourraient devenir apparentes sur des murs d'édifices de maçonnerie, colonnes et poutres de structure, et dans les murs porteurs d'édifices en béton armé. Certains carreaux de plafond pourraient se déplacer ou chuter des plafonds suspendus. Les pistes de l'aéroport pourraient être légèrement endommagées lors d'un tassement modéré du sol ou de la déformation de la surface de l'aire de trafic. Malgré des dommages modérés de cette nature, nous ne prévoyons aucune interruption importante ou perte de fonctionnalité à l'aéroport. Certains édifices pourraient exiger quelques jours pour rétablir une fonctionnalité complète après l'événement.

Le séisme pourrait causer d'importants dommages au port de Québec, tant en raison des secousses telluriques que par la liquéfaction. Les dommages les plus importants toucheront le Bassin Louise, où l'on prévoit des dommages de niveau modéré et sévère aux installations portuaires. Dans les installations au sud-ouest du Bassin Louise, les dommages devraient être moindres. En raison de l'étendue des dommages, certaines parties des installations portuaires (à Bassin Louise) pourraient être hors d'état pendant une ou deux semaines.

Les édifices dans le secteur du port devraient subir des dommages modérés, ce qui devrait se traduire par des fissures aux murs et connexions, et la chute de carreaux et parties de plafond et des accessoires fixes. L'équipement pourrait se déplacer considérablement et les tuyaux pourraient avoir des fuites à plusieurs endroits. Les structures d'acier et de béton armé pourraient aussi subir des dommages de niveau léger à modéré. Certains éléments en acier pourraient présenter des fissures visibles aux soudures ou des déformations aux joints boulonnés. Des dommages modérés aux édifices de béton armé pourraient survenir sous la forme de fissures dans les colonnes et poutres de structure, et dans les murs porteurs. Certains édifices de maçonnerie du secteur portuaire pourraient exiger jusqu'à un mois de réparation et restauration.

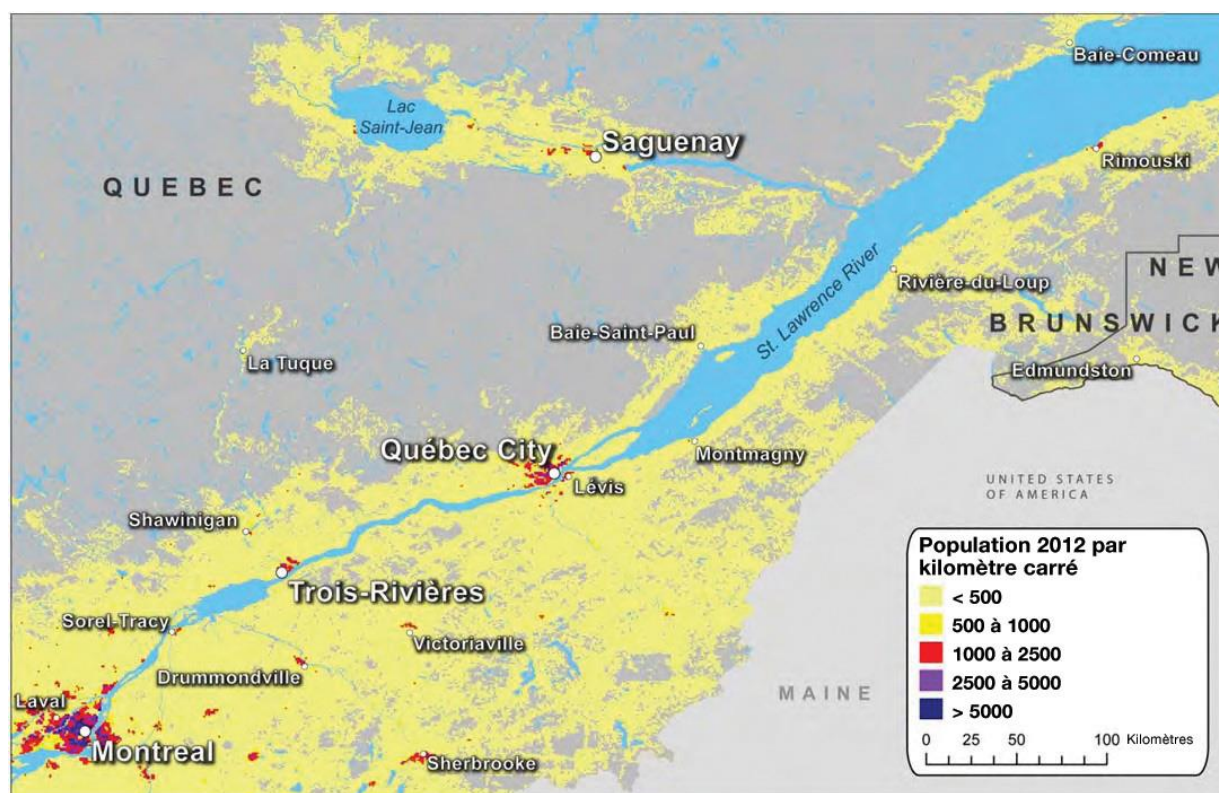
Les dommages dans d'autres ports comme Bécancour et Trois-Rivières pourraient être légers et ne devraient pas entraver les activités. Le plus grand port au Québec, situé à Montréal, ne sera pas touché par ce scénario.

Plusieurs hôpitaux et établissements d'enseignement dans les six arrondissements de la ville de Québec pourraient subir certains dommages, comme l'Hôtel de Ville, les quartiers généraux de la police, le Musée national des beaux-arts de Québec, et autres points d'intérêt. Les édifices gouvernementaux près de l'Hôtel de Ville pourraient subir des dommages de niveau léger à modéré. Des dommages aux structures de bois, de béton armé et d'acier seront légers, ce qui pourrait exiger quelques jours de réparation et de restauration.

Les édifices de maçonnerie devraient subir des dommages modérés, et certains pourraient être hors d'état pour réparation et restauration pendant plusieurs semaines.

### **Exposition au risque dans la région touchée par le scénario de l'Est**

À la fin de 2012, la population de Québec était évaluée à 8,1 millions d'habitants. De ce nombre, 3,8 millions demeuraient dans la région métropolitaine de Montréal, la seconde plus grande agglomération métropolitaine du Canada. De plus, au-delà de 1,2 million de personnes vivaient dans la région métropolitaine de Ottawa-Gatineau et plus de 750 000 personnes vivaient dans la région métropolitaine de la ville de Québec, la zone touchée par ce scénario étant la plus densément peuplée.



**Illustration 78 : Densité de population, scénario de l'Est**

L'illustration 78 présente la population par cellule de la grille de 1 km<sup>2</sup>, environnant le scénario de la région de l'Est. Bien que la ville de Québec ne comporte pas la population la plus importante de la région, elle a néanmoins une zone métropolitaine hautement concentrée qui pourrait souffrir d'un impact significatif en cas de séisme important dans la région de Charlevoix.

La ville de Québec possède un bon inventaire de biens et d'infrastructures exposés au risque qui pourraient être vulnérables si le scénario de l'Est survenait, et entraîner des pertes potentielles importantes.

Cependant, il ne suffit pas d'examiner la valeur globale de l'exposition au risque de ce secteur, comme il s'agit d'une répartition par type de biens, emplacement géographique et présence d'assurance en cas de séisme pouvant déterminer comment et par qui les dommages seraient ressentis.

La carte suivante présente la valeur globale de tous les immeubles résidentiels et la valeur globale des immeubles résidentiels, commerciaux et d'infrastructures assurés par cellule de la grille de 1 km<sup>2</sup> dans les secteurs à risque du scénario de l'Est. Les cartes de tous les biens présentent la valeur globale d'exposition au risque, alors que les cartes des biens assurés ne présentent que la valeur couverte par un contrat d'assurance en cas de tremblement de terre. La différence entre les deux cartes est la somme d'exposition au risque non couverte par les assureurs en cas de séisme, ce qui est dans certains cas assez élevée. Sur ces cartes, les bâtiments agricoles et les établissements et installations industriels font partie des édifices commerciaux. Les édifices publics sont aussi inclus dans les cartes de toutes les biens commerciaux, mais ne font pas partie des cartes des biens assurés de la présente section.

Les illustrations 79 et 80 comparent toutes les biens résidentiels et l'exposition au risque assuré des environs de l'événement de l'Est.

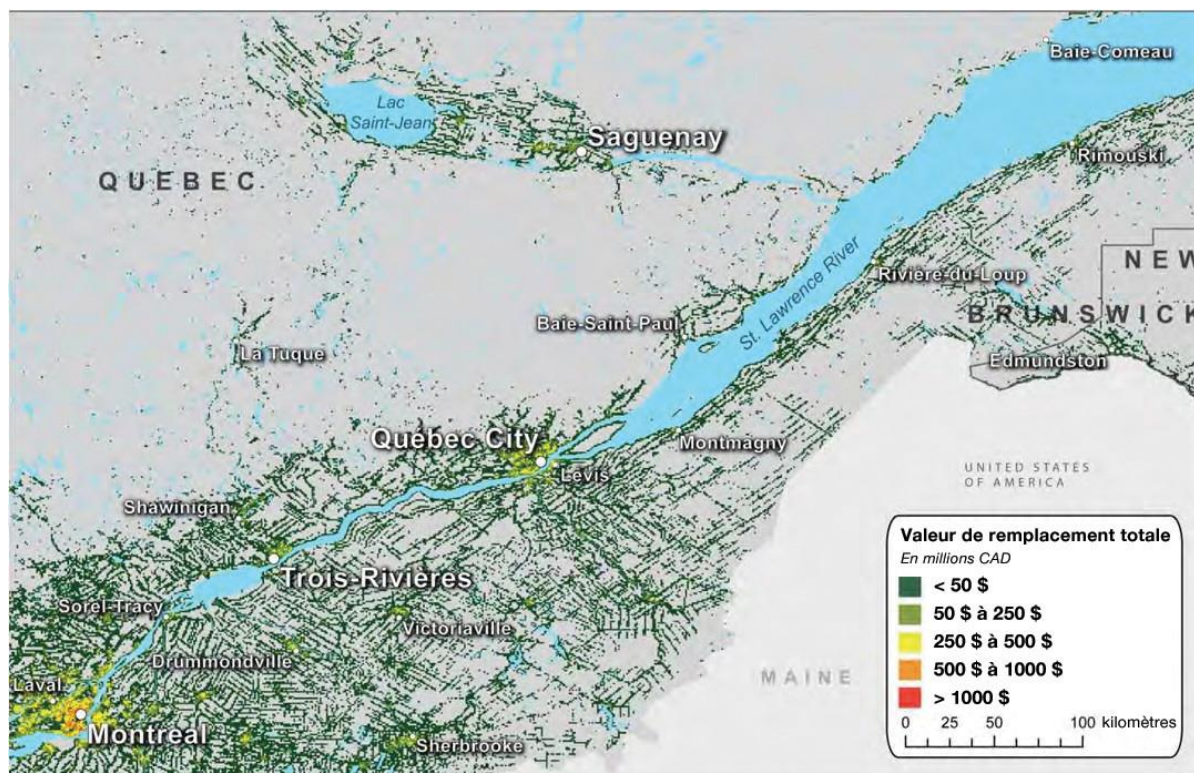
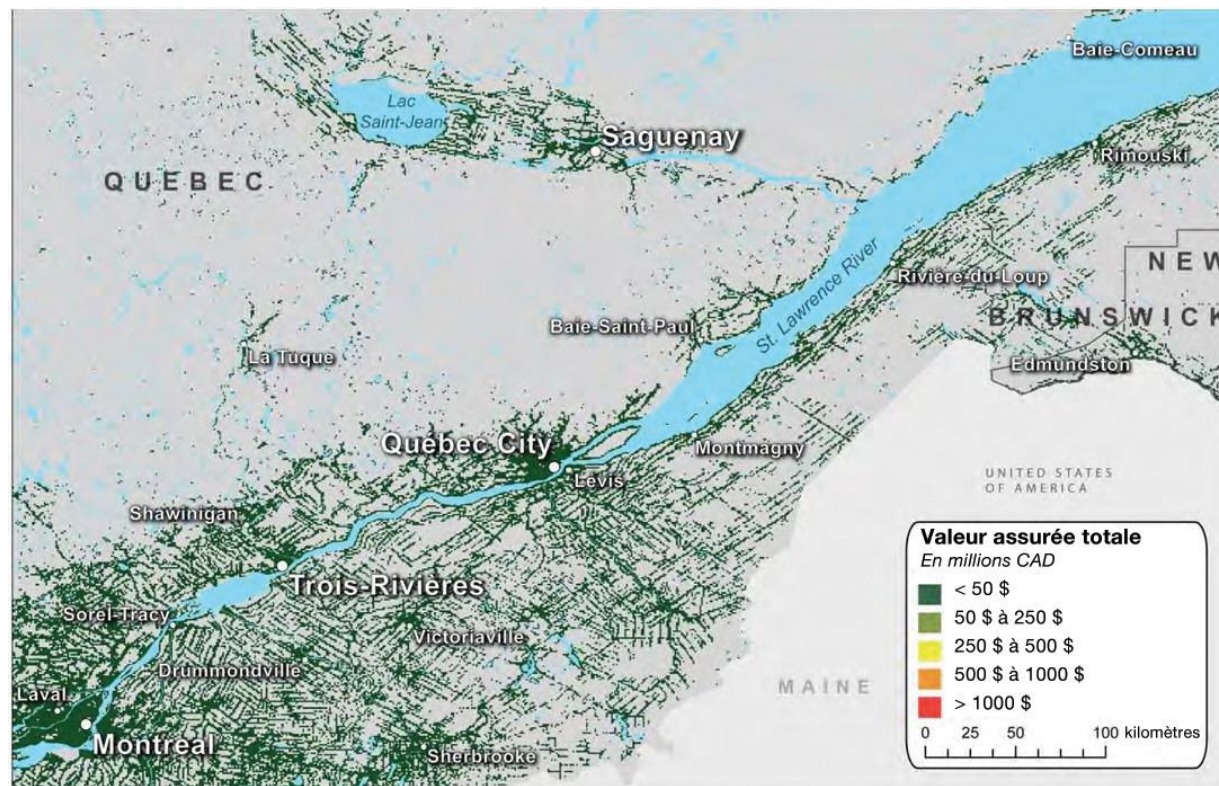


Illustration 79 : Valeur de tous les biens résidentiels, scénario de l'Est



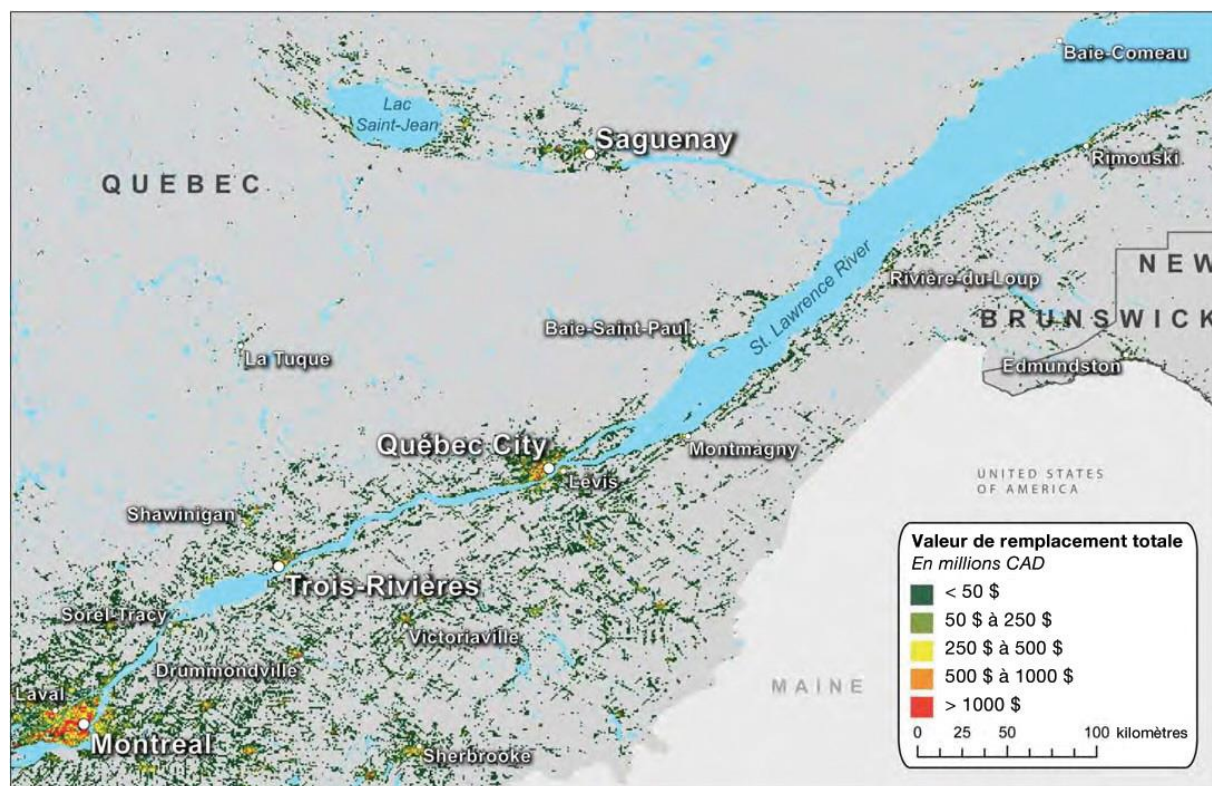
Parallèlement à la répartition de la population de la région, les concentrations de valeur résidentielle sont évidentes dans les plus grandes collectivités de régions comme Saguenay et Trois-Rivières.

Elles sont particulièrement apparentes dans la ville de Québec.



**Illustration 80 : Valeur des biens résidentiels assurés, scénario de l'Est**

En comparant les illustrations 79 et 80, il est évident que le pourcentage de résidences et d'appartements ayant une couverture d'assurance en cas de tremblement de terre est très bas dans cette région. Ce faible pourcentage de couverture d'assurance signifie qu'il y a une grande valeur de la carte de tous les biens qui ne serait pas couverte par les assureurs en cas de séisme important. Cette situation pourrait avoir des conséquences financières dévastatrices pour plusieurs propriétaires d'habitation.

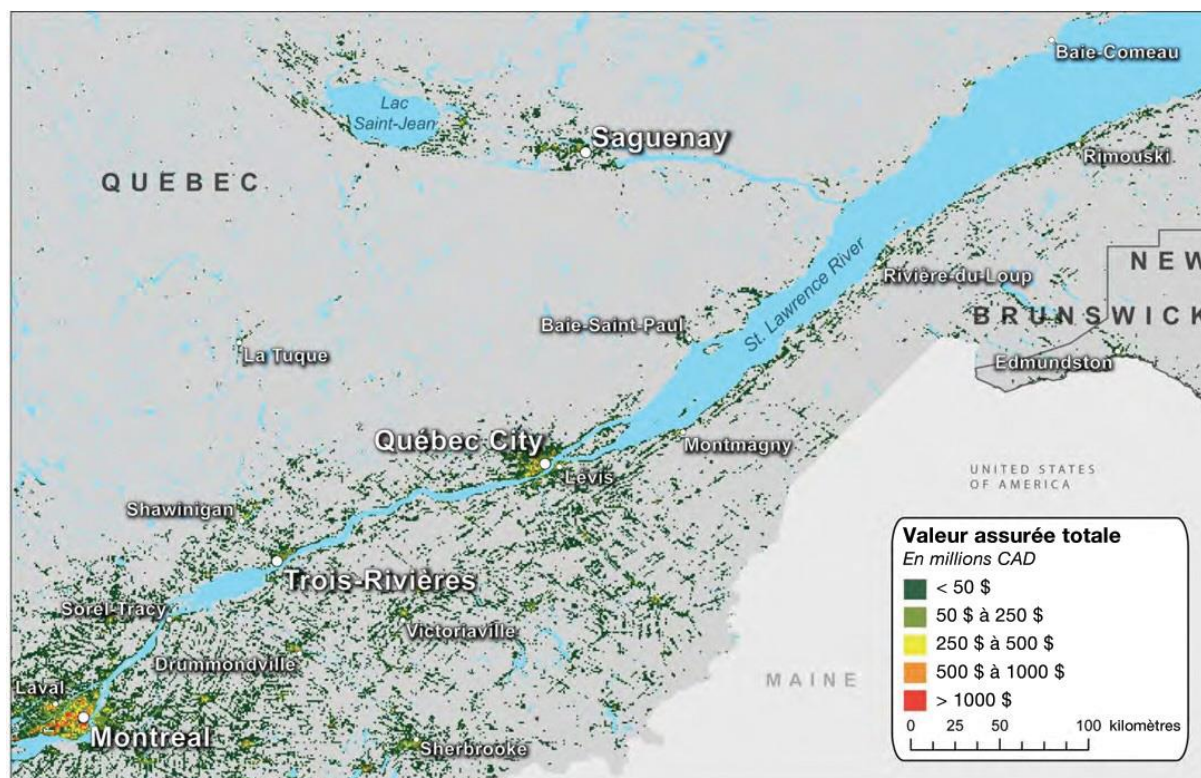


**Illustration 81 : Valeur de tous les biens commerciaux/industriels, scénario de l'Est**

Les biens commerciaux et industriels ainsi que les valeurs entourant le scénario de l'Est sont présentées ci-dessus à l'illustration 81 et ci-dessous à l'illustration 82.

Ce modèle est conforme à la répartition de la population dans la région. La concentration de l'exposition au risque est divisée en quelques îlots distincts au centre-ville de la ville de Québec et ses environs, avec une concentration plus élevée près du centre-ville et quelques secteurs industriels ou commerciaux de grande valeur sont répartis vers l'ouest.

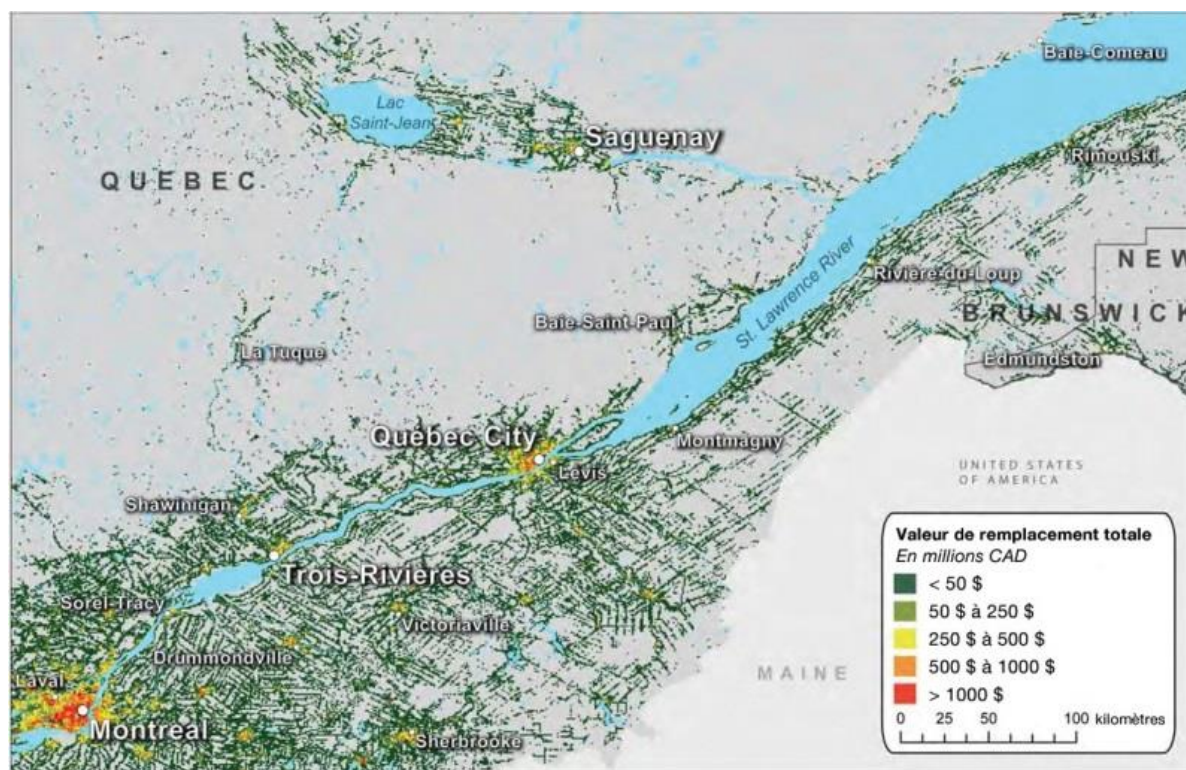




**Illustration 82 : Valeur des biens commerciaux/industriels assurés, scénario de l'Est**

Il est à noter que la majorité de l'exposition au risque commercial dans la région n'est pas couverte par une assurance en cas de tremblement de terre.

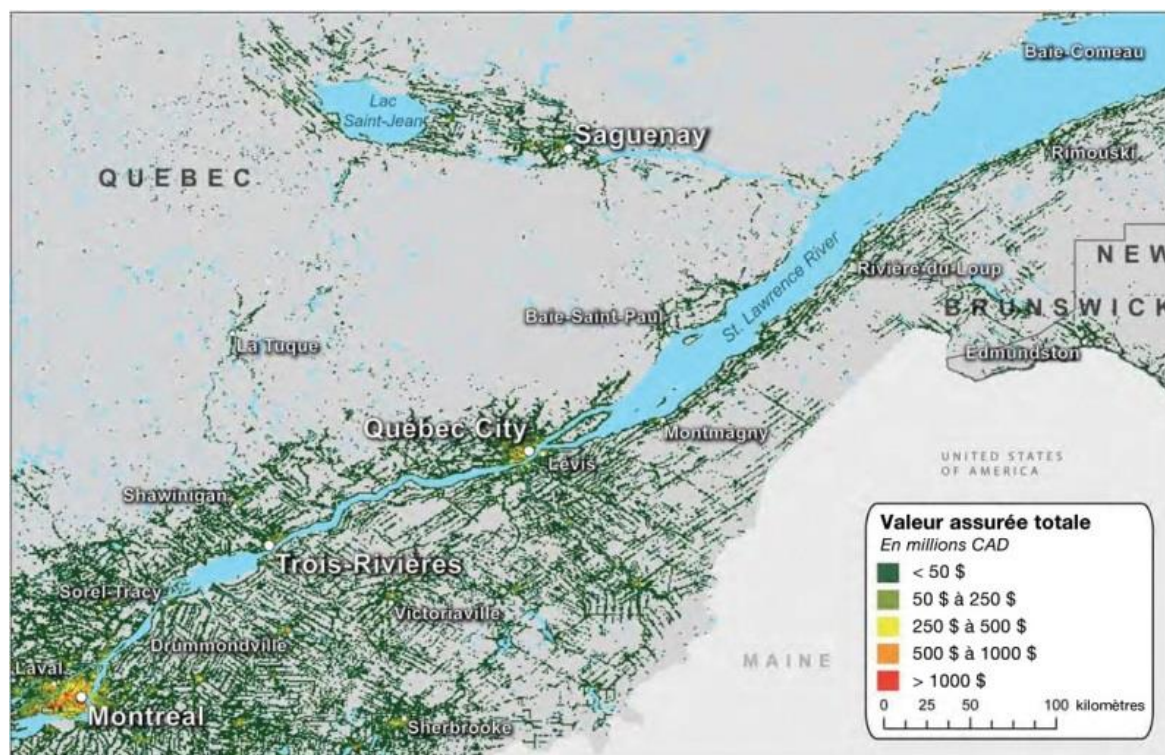
Bien que le ratio d'entreprise avec et sans assurance en cas de tremblement de terre de cette région ne soit pas aussi bas que pour les contrats d'assurance résidentielle, il est tout de même plus bas que le ratio correspondant des entreprises assurées dans la région environnante du scénario de l'Ouest.



**Illustration 83 : Valeur totale combinée pour le scénario de l'Est de la valeur des biens commerciaux, industriels, résidentiels, agricoles et automobiles**

À l'illustration 83 ci-dessus et l'illustration 84 ci-dessous, les valeurs de tous les biens et les valeurs assurées (commerciales, industrielles, résidentielles, agricoles et automobiles combinées) sont présentées pour le scénario de l'Est. L'illustration 84 présente la valeur globale des biens pour la ville de Québec et ses environs avec plus de détails.

La concentration de la valeur des biens au sein des centres de population importants est immédiatement apparente.



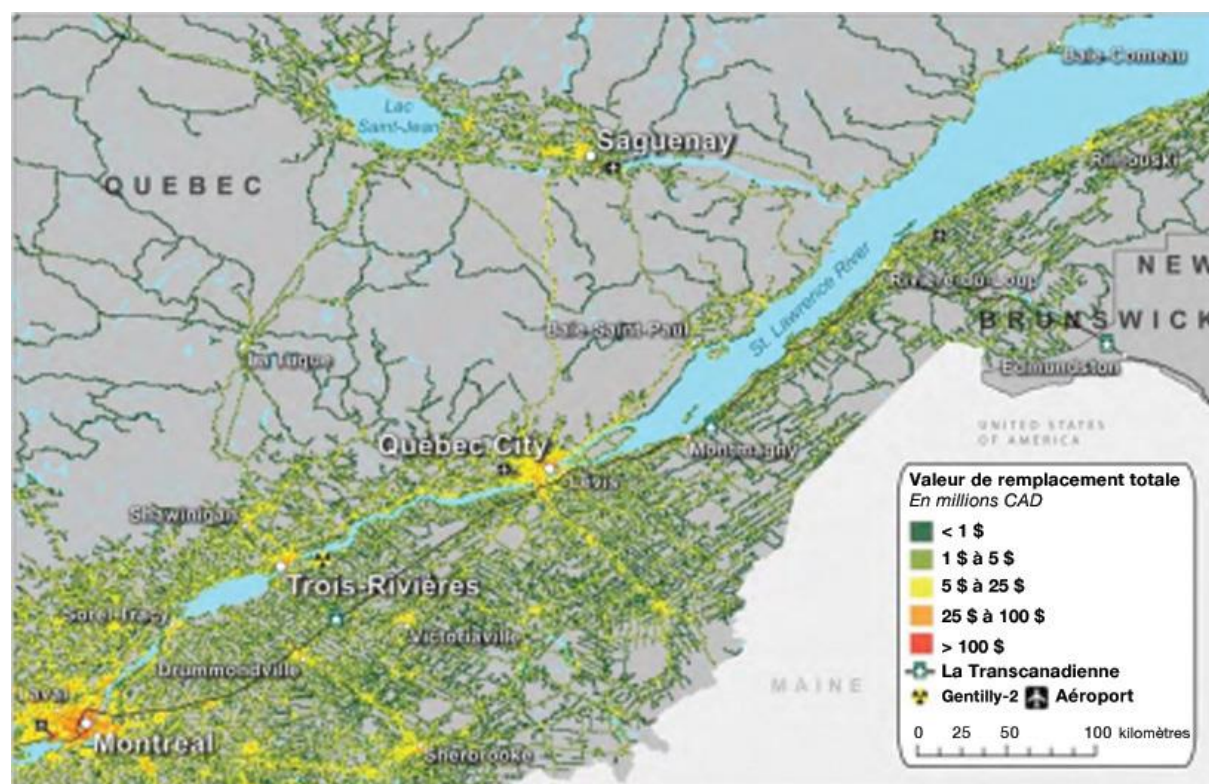
**Illustration 84 : Valeur assurée totale pour le scénario de l'Est**

Une comparaison des illustrations 83 et 84 montre combien de biens assurables du scénario de la région de l'Est ne possèdent pas d'assurance en cas de tremblement de terre.

La valeur globale des infrastructures est présentée à l'illustration 85. Les infrastructures peuvent être assurées par le secteur privé, l'État ou être autoassurées, mais la prévalence de chacun de ces types d'assurance ne pouvait pas être déterminée à partir des données disponibles. Pour cette raison, les taux de pénétration du marché, qui sont des mesures de la valeur globale des biens assurés relativement à la valeur de tous les biens, ne pouvaient être déterminés, ainsi que pour les valeurs d'infrastructures qui sont présentées sans distinction entre tous les biens et les valeurs assurées.

Les modèles les plus apparents de la carte d'infrastructures sont les réseaux routiers et ferroviaires. Il y a aussi un regroupement des valeurs autour des aéroports et ports, particulièrement l'aéroport international Jean Lesage en bordure ouest de la ville de Québec, et un vaste secteur portuaire à l'est, sur les rives du fleuve.





**Illustration 85 : Valeur totale des infrastructures, scénario de la région de l'Est**

L'illustration 86 ci-dessous présente la valeur des infrastructures de la ville de Québec de manière plus détaillée. On y voit clairement la concentration de la valeur au centre-ville et des ponts traversant le fleuve Saint-Laurent (ponts de Québec et Pierre-Laporte).

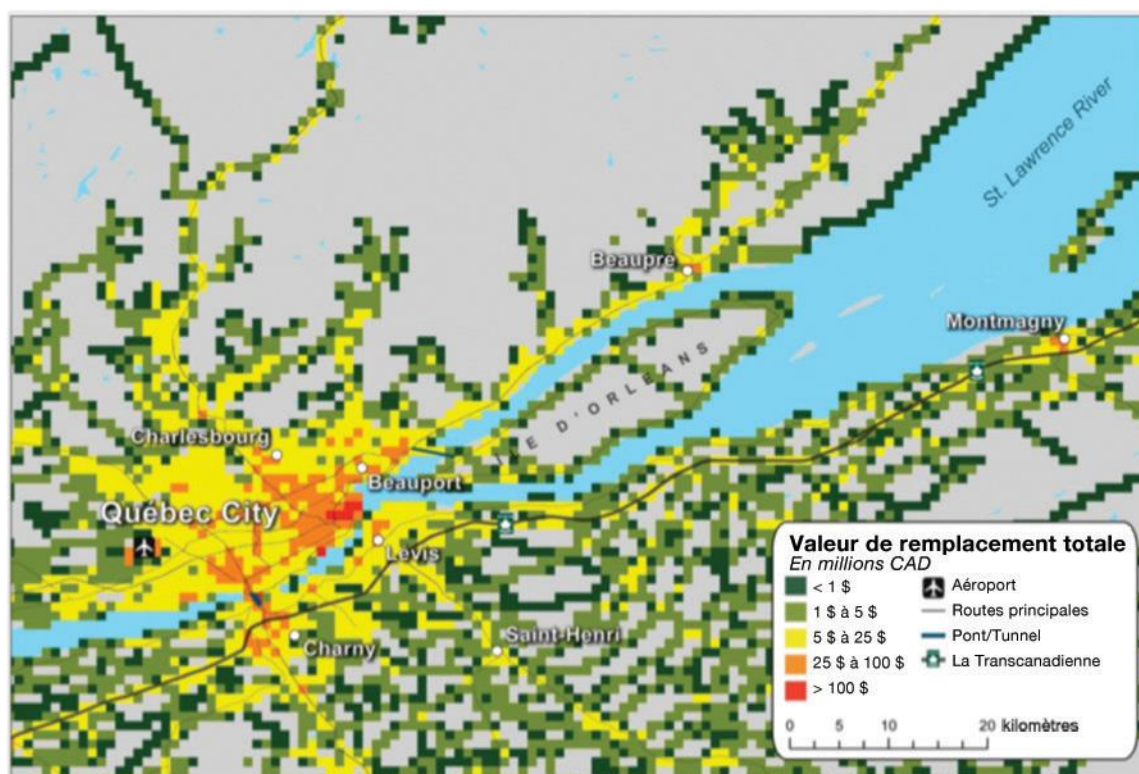


Illustration 86 : Secteur de la ville de Québec, valeur totale des infrastructures

### Risques

Dans les sections suivantes, nous décrivons les divers aspects des risques du scénario; constituant les différentes manières par lesquelles un hypothétique séisme pourrait causer des dommages et pertes. Les risques liés au séisme incluent les secousses telluriques, la liquéfaction, le glissement de terrain et les incendies post-sismiques.

#### Secousses telluriques

Le scénario choisi de l'Est du Canada a une magnitude de 7,1. L'épicentre est situé à environ 75 km de la ville de Québec. Les paramètres détaillés de rupture pour cet événement figurent dans le tableau 30 ci-dessous.

Tableau 30 : Paramètres détaillés de rupture pour le scénario de l'Est

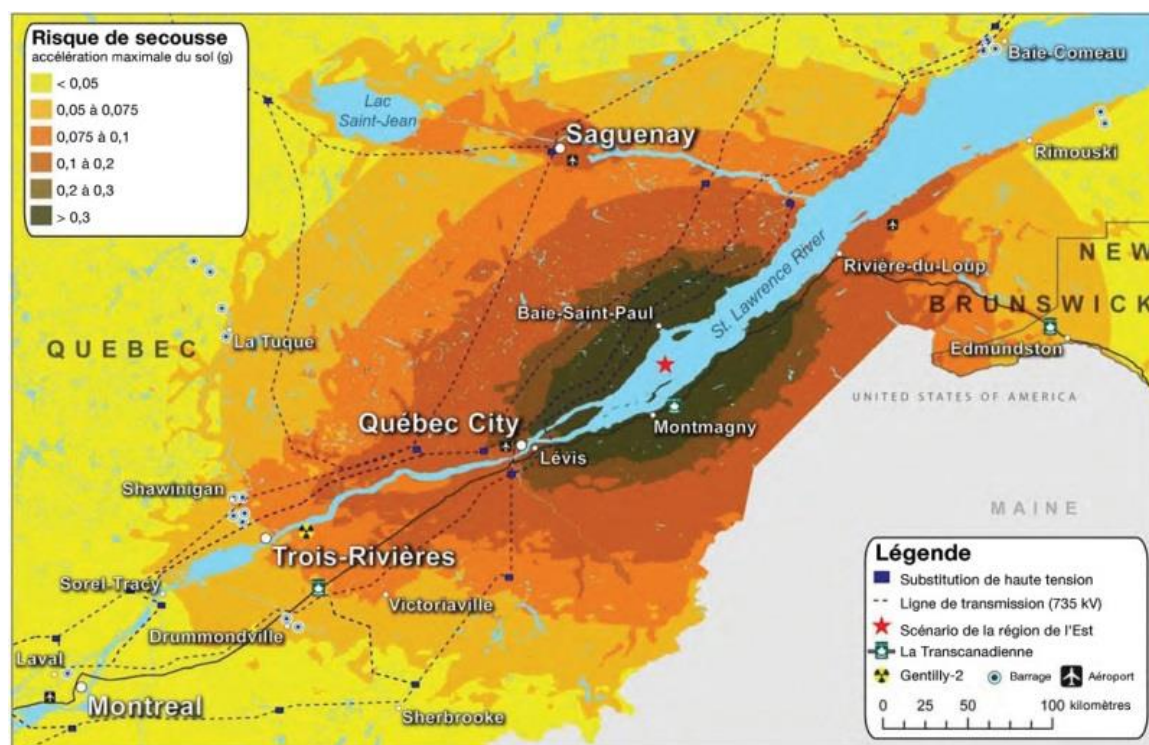
Latitude de l'épicentre	Longitude de l'épicentre	Profondeur	Longueur de la rupture	Largeur de la rupture	Latitude de l'épicentre
7,1	47.245	-70.470	10 km	53,8 km	20,5 km



Un séisme peut générer des ondes sismiques de diverses fréquences ou périodes.

Les édifices et infrastructures répondent différemment aux ondes sismiques de diverses fréquences, selon leurs caractéristiques structurales et leur hauteur. Le Modèle AIR des séismes utilise diverses mesures de mouvement de sol – y compris le PGA, et des accélérations spectrales de 0,3 seconde et de 1 seconde – afin de définir le spectre de mouvement de sol à chaque emplacement, pour calculer les dommages aux différents types de structures, et l'impact local des risques secondaires, comme la liquéfaction et les glissements de terrain.

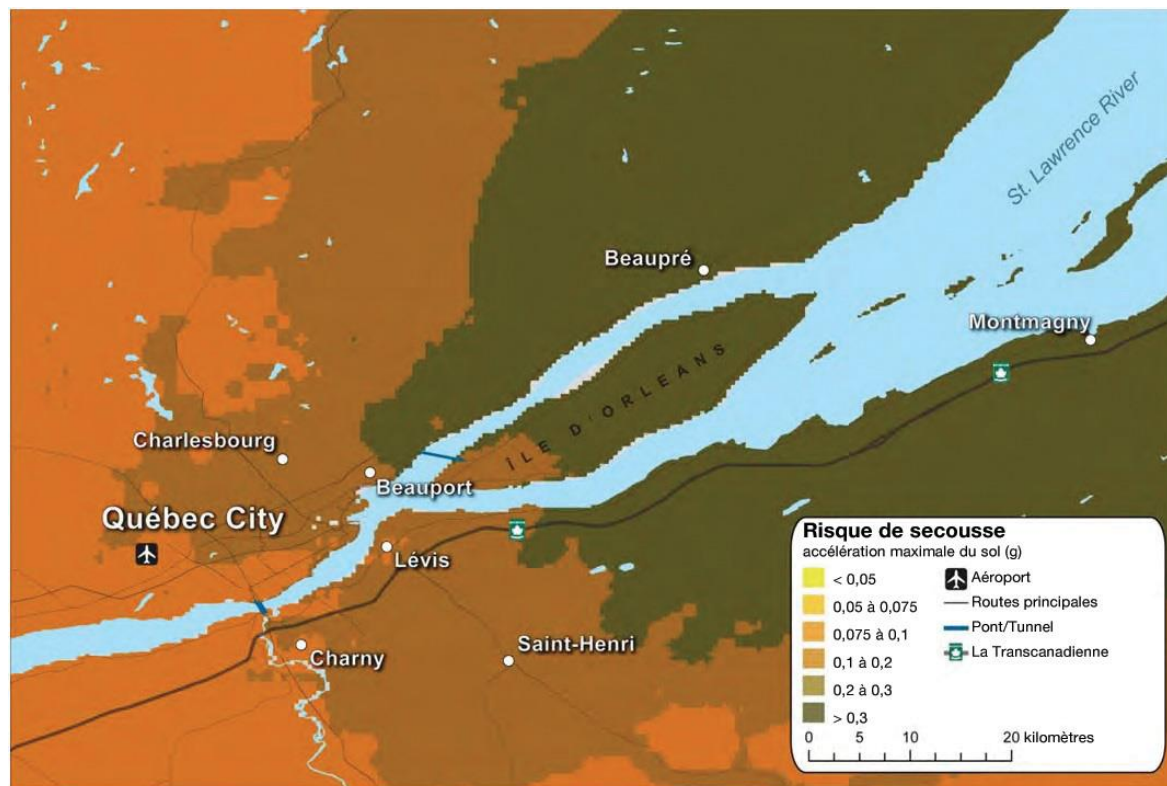
L'illustration 87 ci-dessous, présente le champ d'intensité du mouvement de sol de la région, exprimé en accélération maximale du sol (à noter que le PGA est exprimé en unité g, l'accélération gravitationnelle) et l'illustration 88 présente la région de Québec en détail. Le PGA le plus élevé, avec des valeurs excédant 0,3 g, devrait toucher les villes longeant le fleuve Saint-Laurent dans la zone de l'épicentre.



**Illustration 87 : Champ d'intensité des mouvements de sol (accélération maximale du sol) dans le scénario de l'Est L'étoile rouge représente l'épicentre du séisme**

L'illustration 87 démontre clairement comment l'intensité du mouvement de sol associé à un séisme peut s'affaiblir lorsqu'on s'éloigne du point de rupture. Alors que des mouvements de sol plus intenses sont à prévoir plus près de l'épicentre sur les rives du fleuve St-Laurent à l'est, la ville de Québec pourrait ressentir un PGA de 0,2 à 0,3 g.

Saguenay, une ville au nord de l'épicentre, pourrait aussi ressentir des mouvements de sol modérément élevés en raison des conditions de sol meuble de ce secteur.



**Illustration 88 : Champ d'intensité des mouvements de sol (accélération maximale du sol) dans la région de la ville de Québec**

L'intensité des mouvements de sol à Montréal, à environ 300 km de l'épicentre, pourrait être moins élevée, mais les résidents de Montréal pourraient percevoir les secousses telluriques de cet événement.

L'illustration 89 ci-dessous présente le champ MM de la région calculé à partir du modèle et l'illustration 90 présente la zone de Québec en détail. L'échelle MM est une échelle descriptive semi-quantitative, variant du niveau I à XII, et est généralement utilisée pour mesurer l'intensité des mouvements de sol selon les rapports de détection et d'observation des dommages aux édifices<sup>9</sup>. De ce fait, sa corrélation avec les mesures d'intensité des mouvements de sol les plus quantitatifs comme le PGA où l'accélération spectrale

<sup>9</sup> De l'information supplémentaire au sujet de l'échelle MM est disponible auprès de la Commission géologique du Canada (<http://www.earthquakescanada.nrcan.gc.ca/info-gen/scales-echelles/mercalli-eng.php>) et le United States Geological Survey (<http://earthquake.usgs.gov/learn/topics/mercalli.php>).

pouvant être mesurée par des instruments est très difficile.

Pour une explication des niveaux MM, voir le tableau 16.

La carte MM ci-dessous offre donc un aperçu, mais plus intuitif de l'empreinte de l'intensité du mouvement de sol. Le MM estimé dans la ville de Québec est de VII, ce qui devrait causer des dommages à un nombre considérable de biens. Montréal devrait ressentir un MM de niveau V.

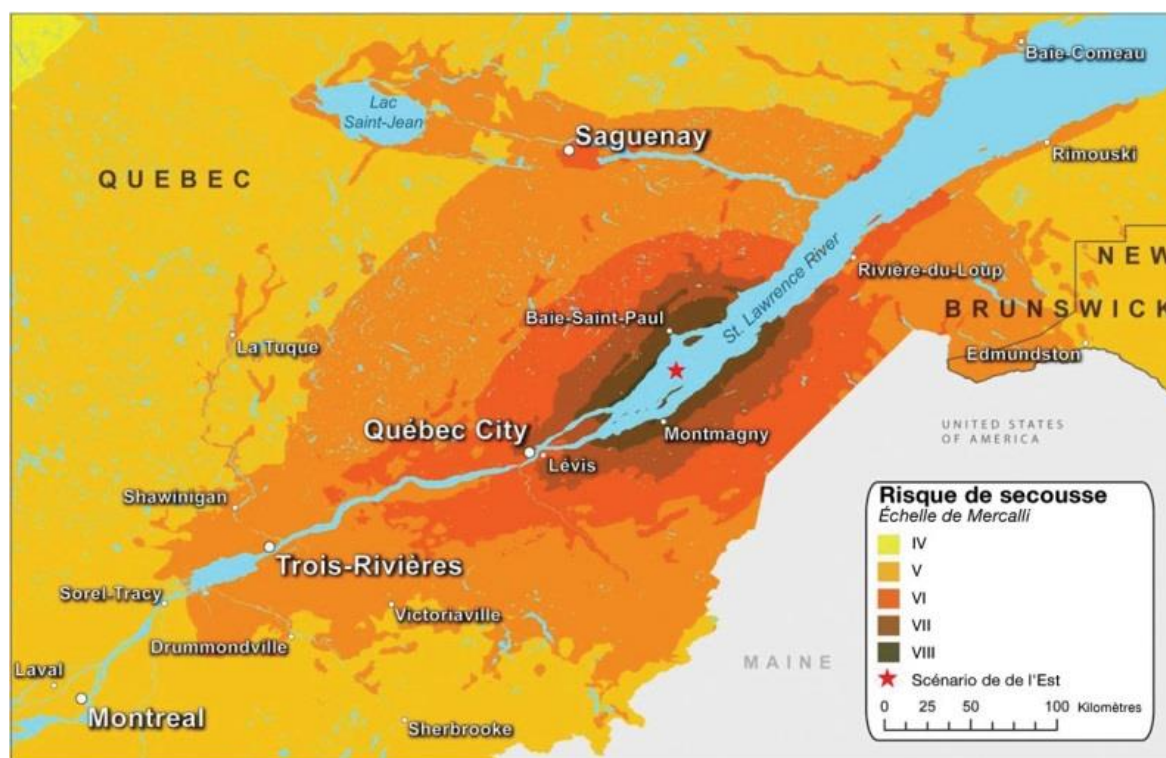


Illustration 89 : Carte MM du scénario de l'Est. L'étoile rouge représente l'épicentre du séisme

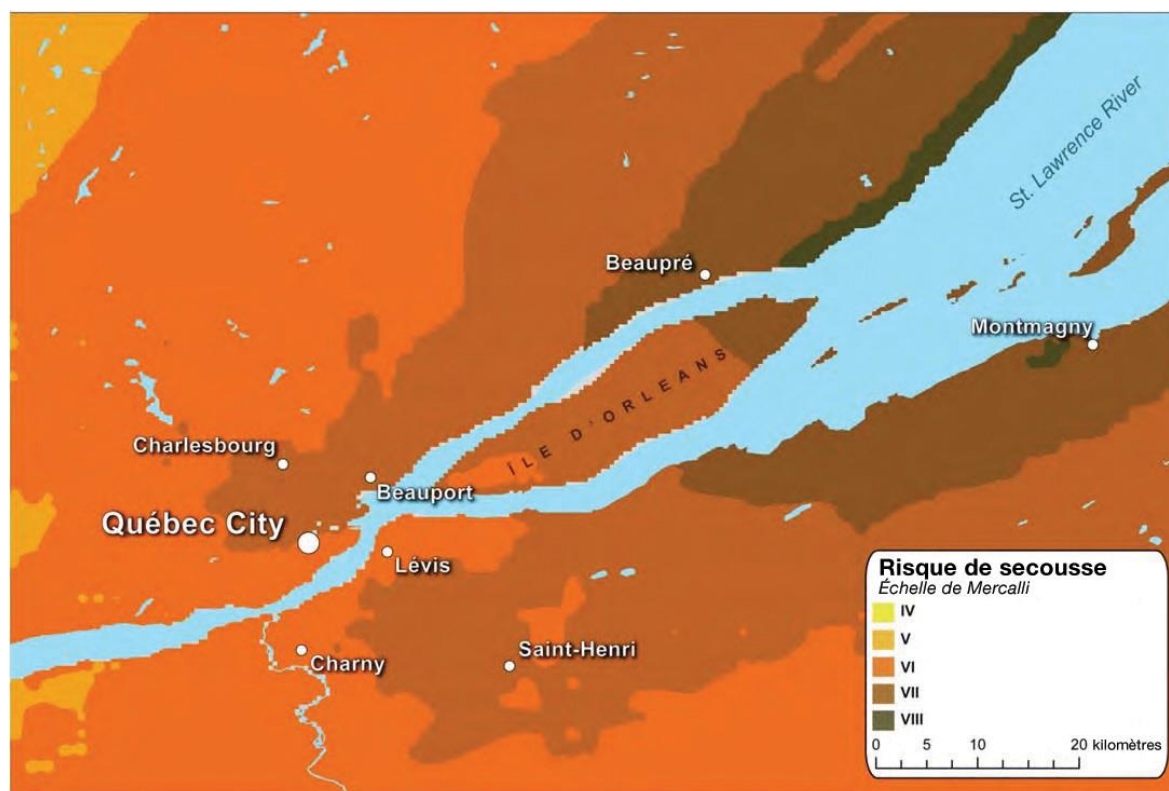
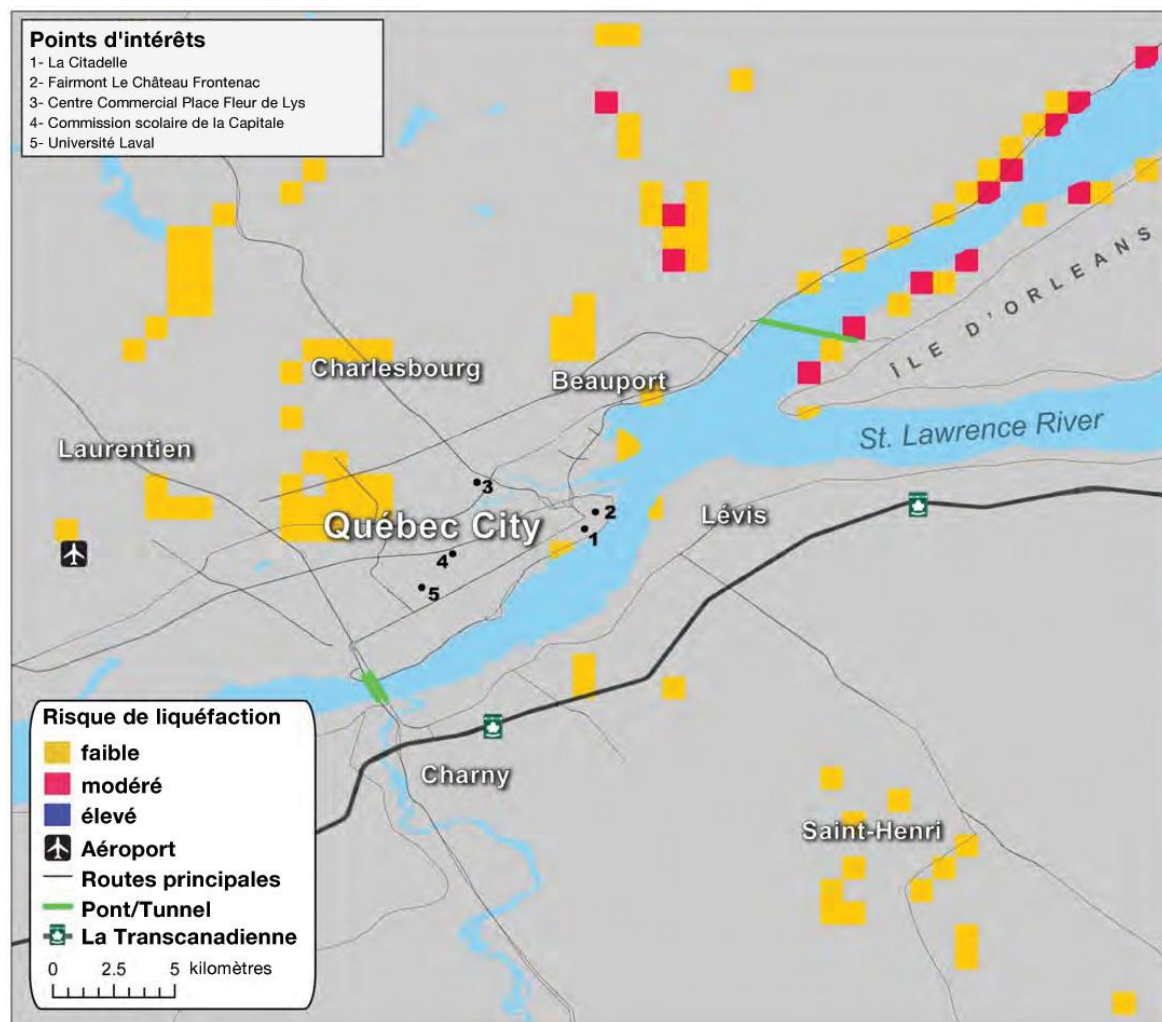


Illustration 90 : Champ MM pour la ville de Québec

### Liquéfaction

Les sols sédimentaires moins âgés déposés par les rivières à Québec et les alentours sont susceptibles de causer des dommages par liquéfaction, bien qu'à un degré moindre que dans le scénario de l'Ouest. La carte des risques de liquéfaction de l'événement du scénario de l'Est peut être consultée à l'illustration 91. Très peu de dommages par liquéfaction sont prévus dans la région de la ville de Québec pour l'événement de ce scénario.



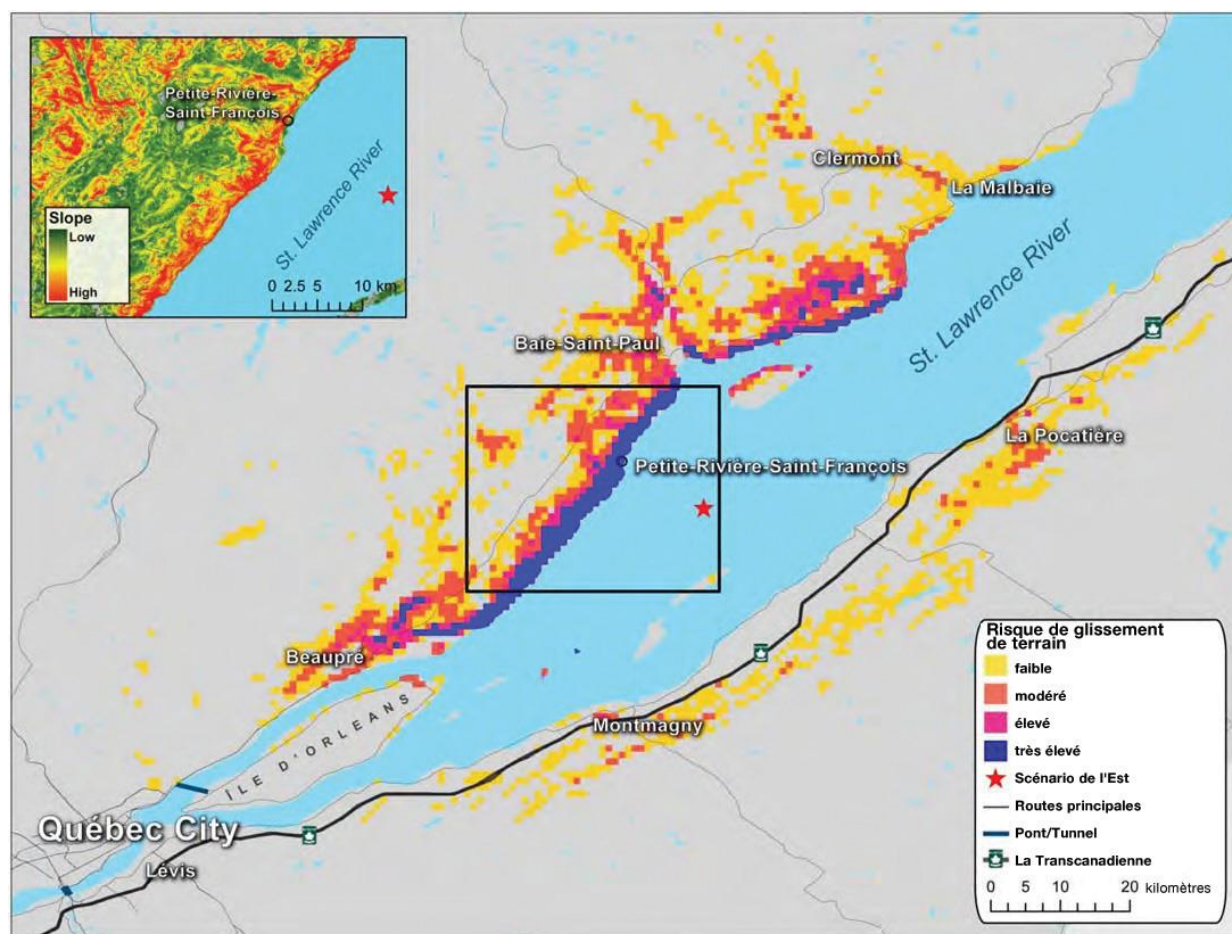


**Illustration 91 : Carte des risques de liquéfaction pour la région de la ville de Québec**

#### *Glissement de terrain*

Dans le séisme du scénario de l'Est, des glissements sont prévus dans les pentes abruptes avoisinant le fleuve Saint-Laurent, près de l'épicentre. Une carte des risques de glissement de terrain pour l'événement du scénario peut être consultée à l'illustration 92. Les glissements de terrain se présentent sous différentes formes – chutes de pierres, défaut profond des pentes et flot de débris en surface par exemple – et proviennent de diverses causes. L'une de ces causes est le séisme. Les glissements de terrain peuvent être une menace significative, tant pour les vies humaines que pour les biens, causant des pertes de vie et détruisant des structures, des routes, le réseau vital et les canalisations. Ils peuvent avoir un impact direct sur la vie sociale et économique de la région.





**Illustration 92 : La carte des risques de glissement de terrain pour le scénario de l'Est**

### *Incendies post-sismiques*

Les séismes, causant des niveaux élevés de secousses telluriques dans les grands centres de population et leurs environs, sont capables de causer d'importantes pertes attribuables aux incendies post-sismiques. Le séisme du scénario de l'Est tombe dans cette catégorie, comme il génère des niveaux élevés de secousses telluriques très près de la ville de Québec. Le scénario de l'Est est accompagné de vents d'une vitesse de 28 km/h, selon la distribution de la vitesse des vents de la région. Une évaluation du risque des incendies suivant ce séisme paraît ci-dessous. L'évaluation suggère que d'intenses incendies locaux, capables de se propager à plusieurs édifices et d'un quadrilatère à l'autre, surviendront suite à l'événement du scénario.

### *Environnement bâti*

Près de la moitié des maisons unifamiliales dans la région de la ville de Québec sont construites avec des extérieurs incombustibles. Lorsqu'un incendie se déclare à l'intérieur d'un édifice, le niveau de dommage subi à l'intérieur n'est pas lié à la combustibilité de son extérieur.

La combustibilité de l'extérieur a principalement un impact sur la propagation du feu d'une structure à une autre, et la présence d'édifices incombustibles peut en ralentir la propagation. Cependant, ces édifices incombustibles ne sont pas résistants au feu, celui-ci peut s'y attaquer par ses éléments vulnérables, comme les événements, les porches et les fenêtres. La plupart des édifices dans le centre urbain de Québec sont dans l'environnement immédiat d'autres édifices, augmentant ainsi le risque de propagation de l'un à l'autre. Les maisons et autres édifices des régions de banlieue et rurales sont plus espacés, ce qui ralentit la propagation du feu.

#### *Mouvements du sol*

En raison de l'emplacement de l'épicentre du séisme du scénario de l'Est, la région densément construite de la ville de Québec subit certaines des plus fortes secousses telluriques produites par le séisme. Les collectivités longeant le fleuve Saint-Laurent, comme Montmagny et Beaufort, ressentent des mouvements de sol encore plus forts et sont menacées par des incendies suivant les secousses telluriques.

#### *Ignitions*

Les forts mouvements de sol de ce séisme pourraient déclencher plusieurs types d'ignitions post-séisme. Dans les minutes immédiates suivant les secousses telluriques, les ignitions sont susceptibles de provenir de chauffe-eau renversés, courts-circuits, et bris de conduites de gaz. Selon le moment de l'événement, les édifices commerciaux pourraient être inoccupés, et plusieurs ignitions pourraient passer inaperçus pendant quelques temps.

On devrait s'attendre à ce que des ignitions surviennent pendant plusieurs heures suivant les secousses telluriques (voir ci-dessous pour la chronologie d'ignition). La chronologie des ignitions causées par le séisme dans la région touchée ne comprend pas les feux allumés par la propagation de l'incendie, et n'inclut que les incendies indépendamment allumés, résultat du séisme. Les ignitions survenant bien après l'arrêt des secousses du séisme surviennent généralement en raison du retour de l'alimentation dans des zones endommagées par le séisme, lesquelles ont été sans électricité depuis les secousses. En tout, on s'attend à ce que de 80 à 90 ignitions primaires surviennent dans le scénario de l'Est.

**Tableau 31 : Ligne de temps des ignitions d'incendie**

Temps écoulé depuis le séisme	Ignitions primaires cumulatives
20 minutes	17
1 heure	35
3 heures	70
10 heures	77

*Étalement*

Les vents jouent un rôle actif dans la propagation des incendies du scénario de l'Est. Avec une vitesse des vents de 28 km/h, les bandes de feu et les étincelles pourraient voyager encore plus loin, et une brèche dans les coupe-feu entre les quadrilatères est plus facilement percée. De la perspective d'un incendie post-sismique, cette vitesse de vent est relativement élevée, mais sans être un cas extrême comme les vents qui ont alimenté les incendies suivant le séisme de Kanto au Japon en 1923 (où les vents observés dépassaient les 50 km/h). La vitesse du vent de 28 km/h utilisée dans le scénario est légèrement supérieure à la moyenne des vents de 23 km/h de cette région, mais la différence entre les deux, d'une perspective de comportement d'incendie, est négligeable.

Les incendies primaires peuvent se répandre et allumer d'autres feux en raison des conditions de vent et d'extinction inadéquate d'incendie. Même si les incendies s'allument dans 80 à 90 quadrilatères après un séisme, les incendies résultant de ces ignitions se propagent dans 140 quadrilatères. Les incendies devraient détruire une zone de plus de 280 000 m<sup>2</sup> de surface d'édifices (voir l'illustration 95 pour une image de simulation d'un incendie unique).

Les secteurs à risque élevé sont en surbrillance dans les illustrations 93 et 94. La marque de risque d'incendie post-sismique s'étend sur la majorité de la région métropolitaine de la ville de Québec. L'empreinte des pertes présentée dans les illustrations 93 et 94 se fonde sur les résultats moyens de 50 simulations d'incendie. L'empreinte des pertes est plus grande qu'à l'illustration 95 qui démontre un résultat de simulation pour un incendie unique, parce que la moyenne des empreintes justifie la variabilité des sites d'ignition et autres paramètres.

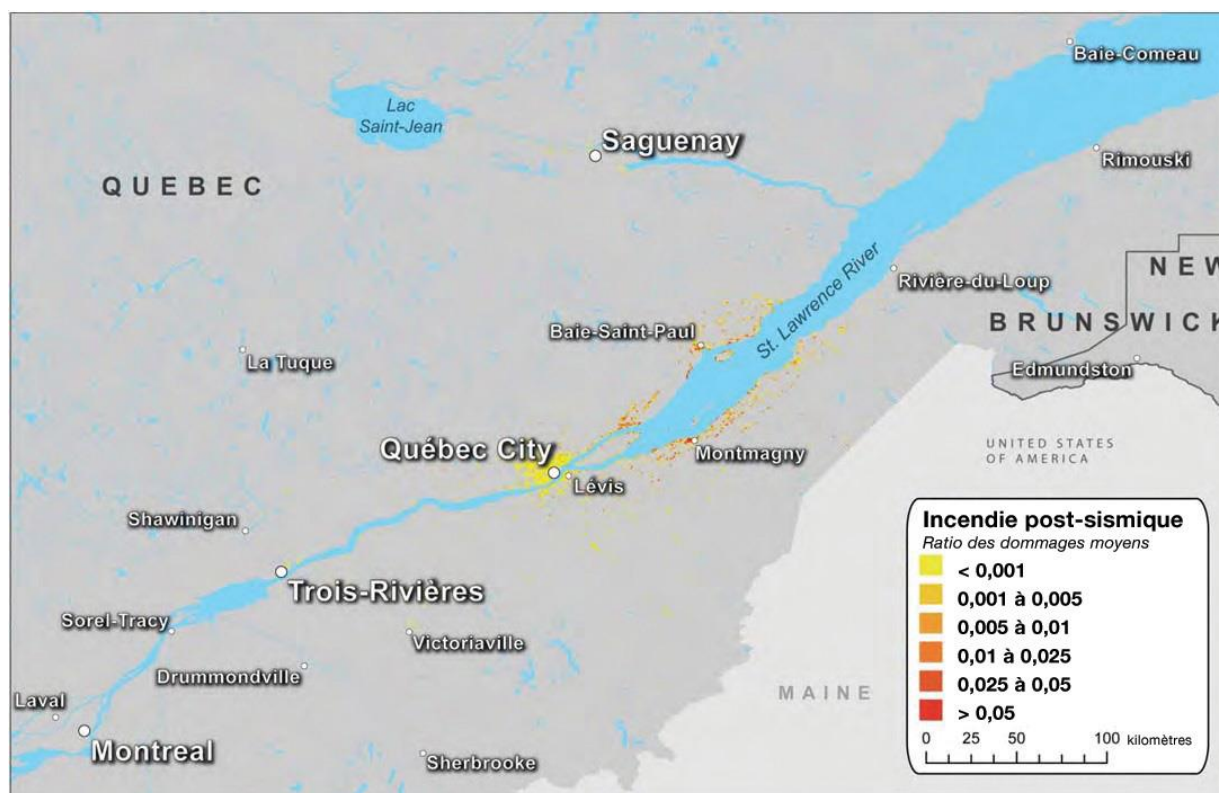
Le résultat produit une carte dont les zones en surbrillance sont à risque de dommages par incendie post-sismique par le scénario de séisme de cette étude. (Il est à noter qu'à l'illustration 95, les losanges représentent les pertes pour un scénario d'incendie post-sismique unique, tandis que les carrés représentent la perte moyenne par incendie post-sismique.)

*Extinction*

Sans ressources auxiliaires d'extinction dans la région de la ville de Québec, seules les ressources usuelles de chaque jour pour l'extinction des incendies seraient disponibles pour combattre les incendies post-séisme. La ville de Québec et les communautés environnantes ont suffisamment de ressources pour se protéger contre les incendies pendant les appels de routine; cependant, dans un environnement post-séisme, les ignitions simultanées combinées aux dommages aux infrastructures en alimentation en eau vont submerger les pompiers locaux et leurs ressources d'extinction.

Il est probable que dans le cas d'un événement de cette magnitude, les dommages des secousses mêmes feront obstacle aux efforts d'extinction. Certaines stations d'incendie pourraient subir un certain niveau de dommage, comme lors du séisme de San Francisco en 1906 où 10 casernes avaient subi de sérieux dommages (Scawthorn, 2005).

Heureusement, à San Francisco en 1906, aucun véhicule n'a été hors d'état, mais il reste une possibilité que les dommages à la station d'incendie puissent rendre les véhicules inaccessibles.



**Illustration 93 : Répartition du ratio moyen de dommages par incendie post-sismique pour la portée entière du scénario de l'Est**

De plus, certaines rues pourraient être impraticables en raison des débris bloquant les routes, comme il fut observé en 1995 lors du séisme de Kobe (Scawthorn, 2005), forçant ainsi les véhicules à trouver des routes alternatives. Les systèmes de communications pourraient être hors d'état ou inondés, réduisant la capacité des résidents à signaler un incendie, comme lors du séisme de Kobe en 1995 (Thomas, 2005) et le séisme de Loma Prieta en 1989 (O'Rourke, 1992).

Des inconvénients de ce genre augmentent le temps de réponse des véhicules et permettent à un incendie de prendre de l'ampleur avant que l'extinction ne commence. La durée moyenne d'un incendie est d'environ quatre heures dans ce scénario, suggérant que les incendies pourraient généralement incendier plusieurs immeubles et exiger plus d'un véhicule d'extinction pour le maîtriser.

Dans notre analyse du risque d'incendie lors du séisme de la modélisation de 50 résultats de simulations, une interaction entre plusieurs de ces situations a été captée en incluant les stations d'incendie, le système d'eau endommagé, et le retard dans le signalement des incendies, ce qui a comme résultat des dommages plus étendus causant des pertes de plus du double de la perte moyenne présentée dans ce scénario.



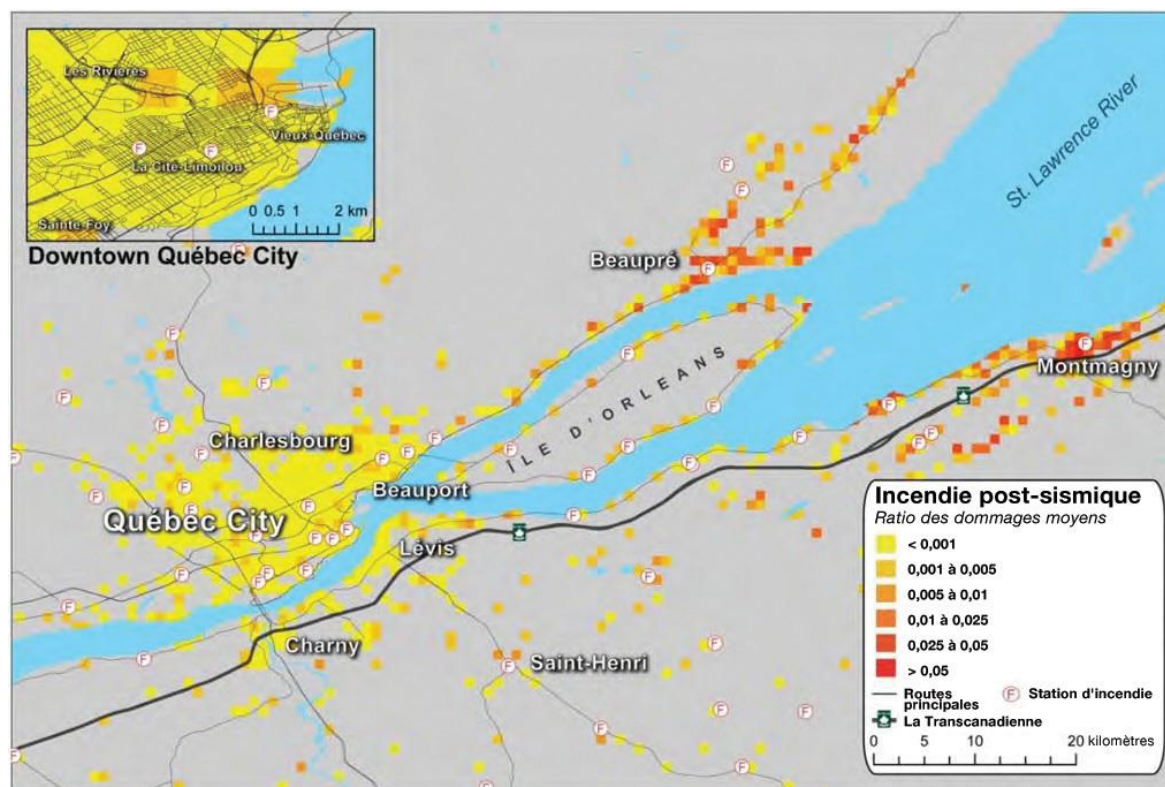
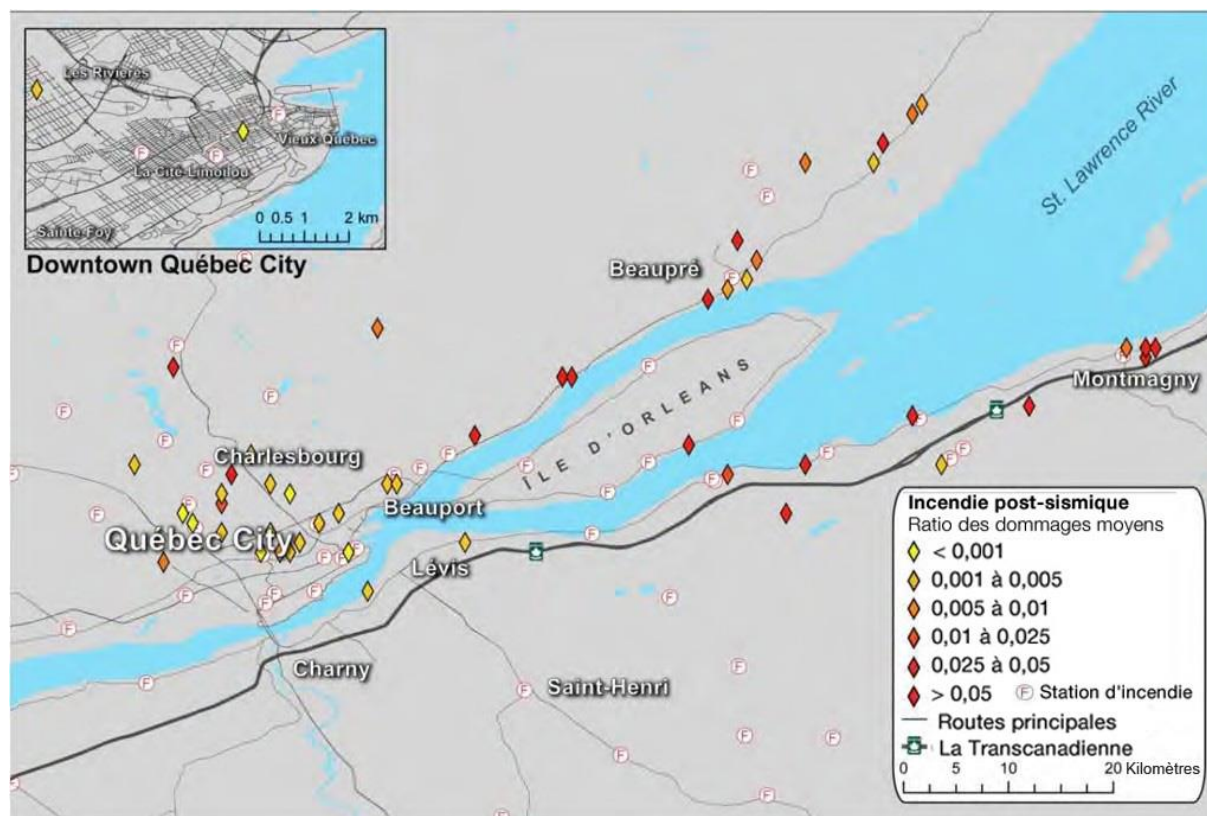


Illustration 94 : Répartition du ratio moyen de dommages par incendie post-sismique pour la Grande région de Québec dans le scénario de l'Est





**Illustration 95 : Une répartition possible de dommages par incendies post-sismiques dans le scénario de l'Est**

### ***Vulnérabilité et dommages selon le scénario de l'Est***

Selon les données du recensement de 2011 publiées par Statistiques Canada, la population de la province de Québec a augmenté d'environ 4,7 % entre 2006 et 2011, atteignant environ 7,9 millions en 2011.

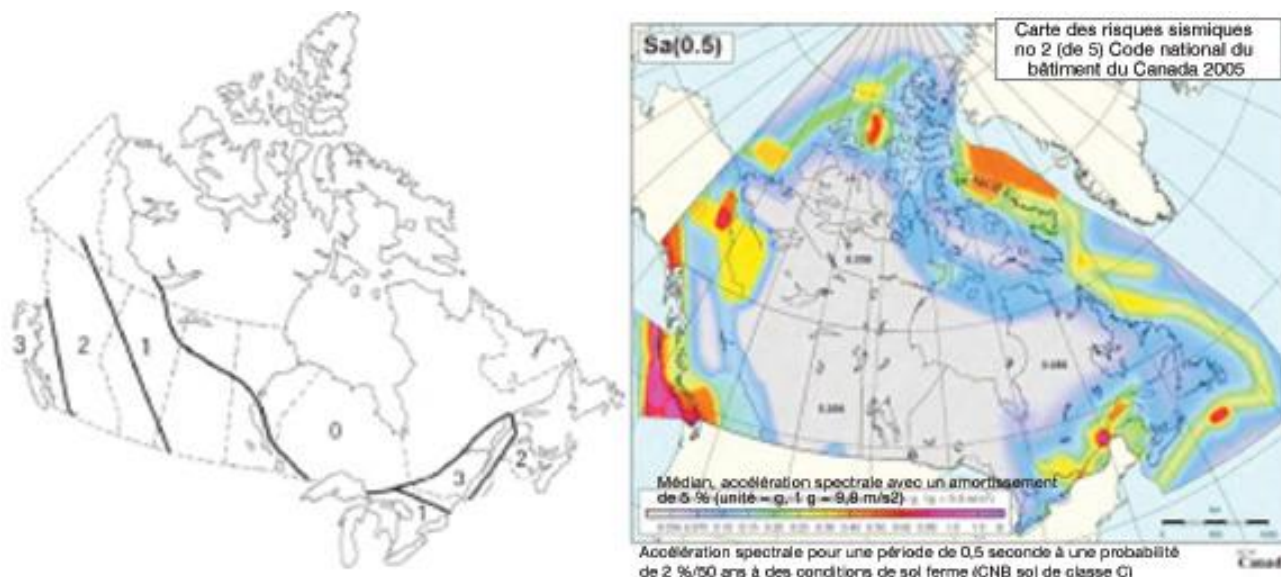
Plus de 80 % de la population réside en régions urbaines. Le nombre total d'habitations privées du recensement de 2011 était de 3 685 926, composé principalement de maisons unifamiliales et d'édifices à appartements.

Comme en Colombie-Britannique, les constructions en bois sont le type de construction le plus commun des immeubles résidentiels au Québec, suivi par les constructions de maçonnerie. Dans la ville de Québec, agglomération d'importance la plus rapprochée de l'épicentre du scénario de l'Est, les édifices résidentiels sont dominés par les constructions en bois. Dans le secteur du centre-ville de la ville de Québec, environ 15 % des édifices résidentiels sont des constructions de maçonnerie. La proportion des constructions en bois parmi les édifices commerciaux et industriels dans la ville de Québec est visiblement plus faible qu'en Colombie-Britannique.

Les constructions en maçonnerie prévalent dans les édifices commerciaux, suivies par les constructions en acier. Par contraste, pour les édifices industriels, les constructions en acier sont les plus fréquentes, suivies par les constructions en maçonnerie (AIR's IED, 2012; Nollet et coll., 2012; Nollet et coll., 2013). Les performances sismiques

attendues des différents types de construction ont été précédemment décrites dans une section du scénario de l'Ouest (voir la section 6).

Les codes de conception sismiques du Canada (ceux dont l'évolution a été détaillée dans la section du scénario de l'Ouest) identifient clairement les régions près de la zone sismique de Charlevoix (ex. : ville de Québec) qui démontre un risque élevé de séisme. Le niveau d'exigences de conception sismique établies par les codes du CNB pour les édifices de cette région est généralement comparable aux édifices de l'ouest du Canada (illustration 60).



**Illustration 96 : Carte des risques sismiques dans les codes de conception du CNB (gauche : CNB 1953; droite : CNB 2005)**

Bien que certaines dispositions de conception sismique aient été établies par les codes du CNB, la mise en application de ces dispositions n'a pas été appliquée aussi rigoureusement que dans l'Ouest canadien. Spécifiquement, le code CNB a été adopté par le gouvernement du Québec avant 2000; cependant, depuis novembre 2000, le gouvernement a décrété le « Code de la construction de Québec ». Par exemple, les provisions sismiques dans la version 2000 du code du Québec ont été tirées du CNB 1995, et celles de la version du code de Québec de 2008 ont été tirées du CNB 2005.

De plus, les villes de l'Est canadien (ex. : Montréal et Québec) sont généralement plus âgées que les villes de l'Ouest canadien (Vancouver et Victoria). Un sondage de Ressources naturelles Canada (RNC) sur l'énergie domestique utilisée en 2007 a démontré qu'une large part des édifices du Québec ont été construits avant 1970, alors que le code de conception sismique en était à ses débuts et non obligatoire.

La combinaison du type de construction et de l'âge dans le secteur touché par le scénario de l'Est, indique un risque significatif de pertes économiques et assurées de ce scénario.

## 7.2 Estimation des pertes économiques et assurées

### *Pertes économiques*

Les pertes économiques comprennent les pertes directes et indirectes des dommages aux édifices et aux biens meubles, de même que les pertes directes et indirectes résultant de dommages aux infrastructures.

Les pertes directes et indirectes peuvent contribuer aux pertes économiques du scénario de l'Est. Ils sont décrits ci-dessous en détail.

### *Pertes directes*

#### *Pertes modélisées globales et par sous-catégorie*

**Pertes directes :** L'événement cause un total de 49 259 millions CAD en pertes économiques directes aux biens et infrastructures de la Colombie-Britannique. De ce total, 47 300 millions CAD sont infligés aux biens et les 1 958 millions CAD restants aux infrastructures.

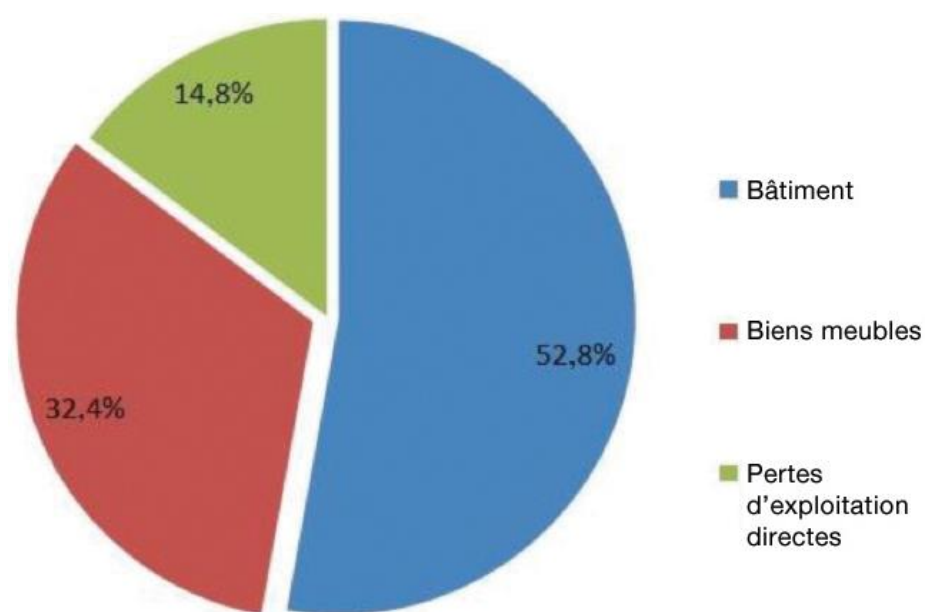
Les pertes présentées précédemment comprennent les pertes touchant les édifices, leur contenu et pertes d'exploitation par la réduction ou l'arrêt immédiat de la production dans les biens endommagés ou la perte de service. Les pertes indirectes dues à l'interconnectivité entre les secteurs économiques et les infrastructures sont exclues des données précédentes et sont présentées séparément dans les sections suivantes.

De l'information supplémentaire au sujet de ces pertes est donnée dans les tableaux et illustrations qui suivent. Dans le tableau 32, par exemple, nous fournissons un sommaire des pertes de tous les biens en fonction du risque et par secteur d'activité, et la proportion des pertes totales attribuables à chaque secteur d'activité est présentée à l'illustration 97.

**Tableau 32 : Sommaire de toutes les pertes directes visant les biens par catégorie d'assurance**

	Bâtiment	Biens meubles	Pertes d'exploitation directes	Total	Contribution du risque
Secousse	24 392	15 066	6811	<b>46 269</b>	97,8 %
Tsunami	-	-	-	-	-
Incendie post-	386	211	128	<b>725</b>	1,5 %
Liquéfaction et glissement de	201	65	40	<b>306</b>	0,6 %
<b>Total</b>	<b>24 979</b>	<b>15 342</b>	<b>6979</b>	<b>47 300</b>	
Contribution de la catégorie d'assurance	52,8 %	32,4 %	14,8 %		

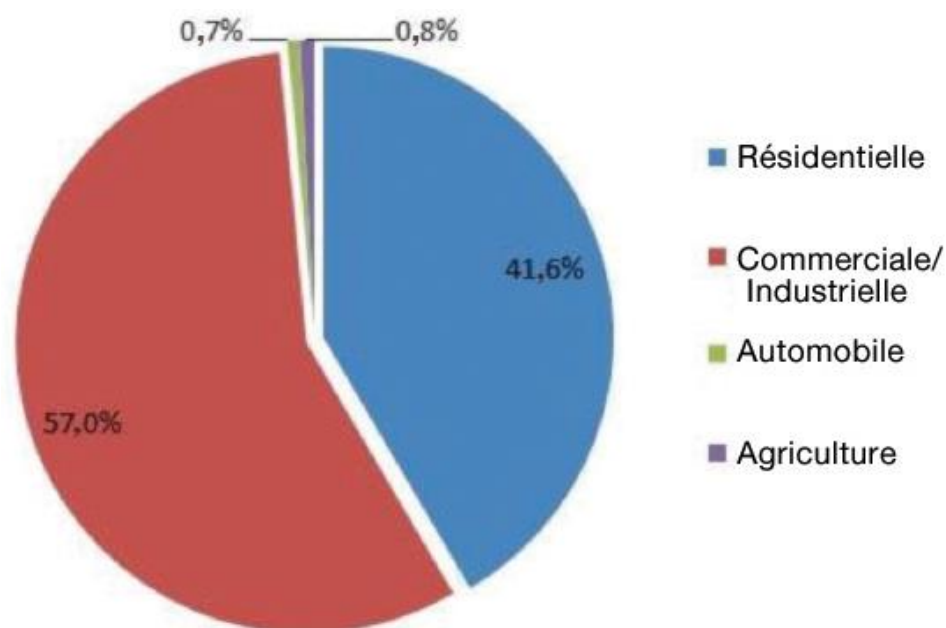
Toutes les données sont en millions et comprennent une montée subite de la demande

**Illustration 97 : Contribution de chaque garantie à l'ensemble des pertes visant les biens**

**Tableau 33 : Sommaire de toutes les pertes visant les biens par catégorie d'assurance**

	Résidentiel	Commercial Industriel	Automobile	Agriculture	Total	Contribution du risque
Secousse	19 159	26 448	282	380	<b>46 269</b>	97,8 %
Tsunami	-	-	-	-	-	-
Incendie post-sismique	289	415	20	1	<b>725</b>	1,5 %
Liquéfaction et glissement de	206	87	9	4	<b>306</b>	0,6 %
<b>Total</b>	<b>19 654</b>	<b>16 951</b>	<b>311</b>	<b>384</b>	<b>47 300</b>	
Contribution de la catégorie d'assurance	41,6 %	57,0 %	0,7 %	0,8 %		

Toutes les données sont en millions et comprennent une montée subite de la demande

**Illustration 98 : Contribution de chaque catégorie d'assurance à l'ensemble des pertes de biens**

Le tableau 34 résume toutes les pertes d'infrastructure selon le risque et la catégorie, et la contribution de chaque garantie à la perte totale nette est indiquée à l'illustration 98. Un sommaire de toutes les pertes d'infrastructure du scénario de l'Est par catégorie est fourni dans le tableau 34.



**Tableau 34 : Sommaire de toutes les pertes visant l'infrastructure par catégorie**

	Transport		Aéroport	Port	Canalisations			Électricité/t élecôm	Total	Contribution du risque
	routier	ferroviaire			Gaz	Pétrole	Eau			
Secousses	469	137	39	175	11	0	101	961	<b>1891</b>	96,5 %
Tsunami	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Incendie post-sismique	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0,0 %
Liquéfaction et glissement de terrain	36	4	0	3	0	0	15	8	<b>67</b>	3,5 %
<b>Total</b>	<b>505</b>	<b>141</b>	<b>39</b>	<b>178</b>	<b>11</b>	<b>0</b>	<b>116</b>	<b>969</b>	<b>1958</b>	
Contribution du type	25,8 %	7,2 %	2,0 %	9,1 %	0,6 %	0,0 %	5,9 %	49,5 %		

Toutes les données sont en millions et comprennent une montée subite de la demande

### Pertes indirectes

Les pertes directes aux biens et à l'infrastructure en raison du séisme ont un impact indirect sur l'économie de la région de Québec. Dans la présente section, ces impacts indirects sont explorés en détail pour mieux comprendre les dommages économiques globaux. Les pertes indirectes présentées dans cette section font référence aux pertes dues aux interruptions de la chaîne d'approvisionnement, au réseau d'infrastructure et à l'interconnectivité des secteurs économiques. Les pertes indirectes sont évaluées en analysant soigneusement les répercussions liées à la chaîne d'approvisionnement ou de clients des entreprises directement touchées.

Comme nous l'avons mentionné précédemment, la résilience du réseau a un impact significatif sur les pertes indirectes globales. (Voir la section 6.2 pour une description de la résilience en général, et pour une liste des types spécifiques de résilience inclus dans la présente étude.) Les pertes indirectes sont présentées selon une gamme qui illustre les limites supérieures (sans résilience) et les limites inférieures (compte tenu de toutes les résiliences applicables), et les estimations médianes (compte tenu de toutes les résiliences applicables, mais ces résiliences ne sont pas nécessairement mises en application efficacement, comme on pourrait s'y attendre à la suite d'un séisme majeur).

Les pertes indirectes globales dans le scénario de l'Est sont de 17 078 millions CAD sans résilience (limite supérieure), 5 594 millions CAD avec toutes les sources de résilience (limite inférieure), et 11 336 millions CAD avec les mesures de résilience « réalistiquement » mises en application (médiane). Le tableau 35 présente les pertes indirectes des diverses sources avec et sans résilience après les ajustements pour les comptages doubles potentiels. Le tableau présente également la médiane des évaluations de pertes indirectes.

Conformément à ce qui a été observé dans le scénario de l'Ouest, les pertes indirectes du scénario de l'Est associées avec la perte d'immeubles ont la contribution la plus élevée aux pertes indirectes globales, et toutes les sources de résilience imposent une réduction des pertes indirectes d'environ 70 %. Cependant, la mise en œuvre de la résilience devrait se retrouver en dessous de ce potentiel en raison de problèmes de gestion, de l'interdépendance inattendue des activités d'affaires, et des conditions de la chaîne d'approvisionnement empêchant une entreprise de reprendre les activités, même si ses installations ont été complètement réparées ou reconstruites. Par conséquent, les pertes indirectes actuelles se retrouvent quelque part entre la limite supérieure et la limite inférieure des pertes présentées ici, la médiane évaluée à 11 336 millions CAD étant considérée comme la plus probable.

**Tableau 35 : Pertes indirectes visant l'infrastructure de diverses sources**

Source de l'impact	Pertes indirectes sans résilience	Pertes indirectes avec résilience	Pertes indirectes avec résilience – médiane
Domages aux immeubles	13 997	5224	9610
Perturbation des oléoducs	50	5	28
Perturbation des gazoducs	240	8	124
Perturbation de l'approvisionnement en eau	385	20	203
Perturbation de l'approvisionnement énergétique	1315	156	735
Perturbation du réseau de télécommunication	738	36	387
Perturbation des aéroports	32	16	24
Perturbation des ports de mer	163	82	123
Perturbation du réseau routier	61	11	36
Perturbation du réseau ferroviaire	97	36	67
<b>Total</b>	<b>17 078</b>	<b>5594</b>	<b>11 336</b>

*Toutes les données sont en millions*

Les pertes totales présentées dans le tableau 35 peuvent être ventilées en pertes par secteur de l'économie. Les tableaux 36 et 37 présentent les pertes indirectes de chaque secteur de l'économie de diverses sources de perturbation, avec et sans les effets de résilience respectivement. Les données de ces tableaux sont avant le rajustement pour double comptage potentiel.

**Tableau 36 : Pertes indirectes sectorielles par diverses sources d'impact sans résilience**

Secteur	Bâtiment	Pétrole	Gaz	Eau	Énergie	Télécom	Aéroports	Ports maritimes	Routes	Chemins de fer	Pertes totales de résultats
Cultures et animaux Production	179	1	7	11	37	21	1	14	1	5	277
Sylviculture et exploitation forestière	50	1	2	4	13	8	0	4	1	1	84
Pêche, chasse et trappe	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	5
Activités de soutien à l'agriculture et foresterie	14	0	1	1	4	3	0	1	0	0	25
Extraction minière, pétrole et gaz	191	1	4	6	19	11	0	5	1	3	240
Services publics	219	2	11	18	62	35	0	0	2	0	349
Construction	1517	7	31	50	170	96	0	43	5	4	1921
Fabrication	2819	19	92	148	505	283	19	176	34	66	4160
Vente en gros	627	5	24	38	130	73	3	24	5	6	935
Commerce de détail	1061	6	30	49	166	93	4	0	5	9	1423
Transport et entreposage et marges bénéficiaires du transport	747	6	26	42	144	81	6	43	7	14	1115
Industries de l'information et de la culture	564	4	18	29	98	55	2	17	4	6	796
Finance, assurance, immobilier et location et location-bail	1602	14	66	105	360	202	9	0	9	11	2379
Services professionnels, scientifiques et techniques	732	5	23	37	125	70	3	0	3	3	1000
Services administratifs, de gestion des déchets et de remédiation	362	3	14	22	75	42	2	0	2	2	522
Services d'éducation	54	0	1	1	5	3	0	0	0	0	64
Soins de santé et assistance sociale	337	2	10	16	55	31	1	0	2	1	453
Arts, divertissement et récréation	167	1	5	8	26	15	1	0	1	0	223
Services d'hébergement et d'alimentation	477	3	13	22	73	41	3	0	2	1	635
Autres services (sauf l'administration publique)	459	2	9	15	51	29	0	0	1	0	566
Fournitures d'exploitation, de bureau, de cafétéria et de laboratoire	281	3	13	21	71	40	0	0	0	0	429

Secteur	Bâtiment	Pétrole	Gaz	Eau	Énergie	Télécom	Aéroports	Ports maritimes	Routes	Chemins de fer	Pertes totales de résultats
Voyage, divertissement, publicité et promotion	415	4	17	27	91	51	0	0	0	0	604
Institutions sans but lucratif desservant les ménages	136	2	7	11	39	22	1	0	1	1	219
Secteur gouvernemental	985	12	57	91	310	174	10	0	7	12	1657
<b>Total</b>	<b>13 997</b>	<b>100</b>	<b>480</b>	<b>770</b>	<b>2630</b>	<b>1477</b>	<b>64</b>	<b>327</b>	<b>91</b>	<b>145</b>	<b>20 080</b>

Toutes les données sont en millions

**Tableau 37 : Pertes indirectes sectorielles par diverses sources d'impact avec résilience**

Secteur	Bâtiment	Pétrole	Gaz	Eau	Énergie	Télécom	Aéroports	Ports maritimes	Routes	Chemins de fer	Pertes totales de résultats
Cultures et animaux Production	81	0	0	1	7	1	0	7	0	2	100
Sylviculture et exploitation forestière	24	0	0	1	2	0	0	2	0	1	30
Pêche, chasse et trappe	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Activités de soutien à l'agriculture et foresterie	6	0	0	0	1	0	0	1	0	0	8
Extraction minière, pétrole et gaz	75	0	0	0	0	0	0	2	0	1	79
Services publics	99	0	1	2	12	2	0	0	0	0	117
Construction	531	0	0	1	5	1	0	21	1	2	563
Fabrication	997	0	1	1	9	1	9	88	9	33	1148
Vente en gros	197	0	1	1	14	4	2	12	1	3	235
Commerce de détail	310	1	1	2	17	4	2	0	1	5	342
Transport et entreposage et marges bénéficiaires du transport	585	3	3	8	61	17	3	22	2	7	710
Industries de l'information et de la culture	114	0	0	0	2	0	1	8	1	3	129
Finance, assurance, immobilier et location et baux	480	1	1	3	29	8	5	0	2	6	534
Services professionnels, scientifiques et techniques	202	0	0	1	10	2	1	0	1	2	220

Secteur	Bâtiment	Pétrole	Gaz	Eau	Énergie	Télécom	Aéroports	Ports maritimes	Routes	Chemins de fer	Pertes totales de résultats
Services administratifs, de gestion des déchets et de remédiation	102	0	0	1	6	1	1	0	0	1	113
Services d'éducation	27	0	0	0	2	0	0	0	0	0	29
Soins de santé et assistance sociale	168	0	1	2	17	3	0	0	0	0	192
Arts, divertissement et récréation	84	0	1	1	8	2	1	0	0	0	98
Services d'hébergement et d'alimentation	243	1	1	4	23	6	2	0	1	1	280
Autres services (sauf l'administration publique)	265	1	1	2	20	4	0	0	0	0	293
Fournitures d'exploitation, de bureau, de cafétéria et de laboratoire	91	0	0	1	6	1	0	0	0	0	99
Voyage, divertissement, publicité et promotion	119	0	0	1	7	2	0	0	0	0	130
Institutions sans but lucratif desservant les ménages	73	0	1	1	11	2	0	0	0	1	89
Secteur gouvernemental	353	1	2	5	44	9	5	0	2	6	426
<b>Total</b>	<b>5224</b>	<b>9</b>	<b>15</b>	<b>40</b>	<b>312</b>	<b>73</b>	<b>32</b>	<b>163</b>	<b>23</b>	<b>73</b>	<b>5964</b>

Toutes les données sont en millions

Les pertes directes à l'infrastructure constituent 4 % des pertes directes globales dans ce scénario. Ce ratio de pertes indirectes s'élève à 15 %. Considérant les pertes directes et indirectes, la contribution des infrastructures à la perte économique globale est de 6 %.

### Pertes assurées

Les pertes assurées, qui sont estimées à partir des pertes économiques, tiennent compte du niveau d'assurance en cas de tremblement de terre souscrite dans une région, de même que des conditions des contrats d'assurance. Pour de l'information au sujet des hypothèses de pénétration l'assurance et des conditions de contrat touchant les pertes assurées présentées dans le présent rapport, voir la section 3.6.

Les contrats d'assurance qui couvrent habituellement les tremblements de terre utilisent deux franchises,



l'une pour les sinistres non causés par le séisme (franchise de contrat type), et une autre pour les sinistres causés par le séisme. En calculant les pertes assurées présentées dans le présent rapport, dans le cas où il n'y a qu'une perte causée par le séisme, nous avons utilisé la franchise de séisme. Lorsqu'il n'y a que des pertes par incendie post-sismique, nous avons utilisé la franchise du contrat type. S'il y a des pertes par séisme et par incendie post-sismique, nous avons donc utilisé la franchise la plus élevée, ce qui est la pratique normale de l'industrie.

Les réactions des compagnies d'assurance aux récents changements dans la loi en Colombie-Britannique ont eu pour effet de faire évoluer les conditions des contrats. Pour cette raison, nous avons effectué un test de sensibilité en utilisant les franchises de contrat où il y a des pertes par séisme et par incendie, il en résulte une perte pouvant être de 12 % plus élevée.

Les pertes assurées du scénario de l'Est atteignent un total de 12 228 millions CAD.

Les pertes sont déterminées en utilisant les plus récentes conditions des contrats et les meilleures estimations de taux de participation dans les régions, comme nous l'avons discuté dans la section 3.6.

Il convient de noter que les pertes d'infrastructure ne contribuent aucunement aux pertes assurées globales présentées ici. Les infrastructures peuvent être assurées par le secteur privé, l'État ou être autoassurées, mais la prévalence de chacun de ces types d'assurance ne pouvait pas être déterminée à partir des données disponibles. Pour cette raison, les taux de pénétration du marché, qui sont des mesures de la valeur globale des biens assurés relativement à la valeur de tous les biens, ne pouvaient être déterminés. Le tableau 38 offre un sommaire de toutes les pertes de biens selon le risque et la protection, et l'illustration 99 indique la proportion de chaque protection aux pertes totales présentées et l'illustration 100 présente la proportion des pertes attribuables à chaque protection.

Il est intéressant de noter que chaque changement dans les proportions de pertes nettes assurées est principalement dû aux différents taux de participation dans les secteurs commerciaux et résidentiels. La pénétration de l'assurance dans le secteur résidentiel de la province de Québec est particulièrement moindre que pour les autres secteurs. Donc, la contribution aux pertes résidentielles aux pertes assurées globales est de ce fait plus basse que ses contributions aux pertes nettes.

Un sommaire des pertes assurées par protection est donné dans le tableau 38 suivant, et l'illustration 99 présente la contribution de chaque protection aux pertes globales.

Tableau 38 : Sommaire des pertes assurées selon le risque et la garantie

	Bâtiment	Biens meubles	Pertes d'exploitation directes	Total	Contribution du risque
Secousses	5753	3545	2245	<b>11 543</b>	94,4 %
Tsunami	-	-	-	-	-
Incendie post-sismique	341	189	98	<b>628</b>	5,1 %
Liquéfaction et glissement de terrain	38	8	10	<b>56</b>	0,4 %
<b>Total</b>	<b>6133</b>	<b>3742</b>	<b>2353</b>	<b>12 228</b>	
Contribution de la garantie	50,2 %	30,6 %	19,2 %		

Toutes les données sont en millions et comprennent une montée subite de la demande

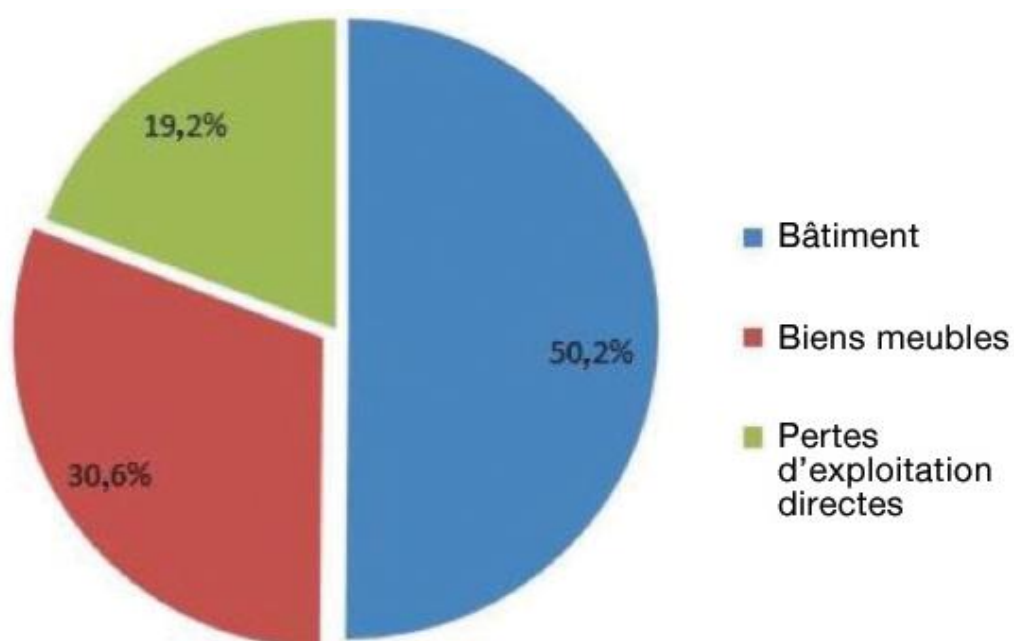


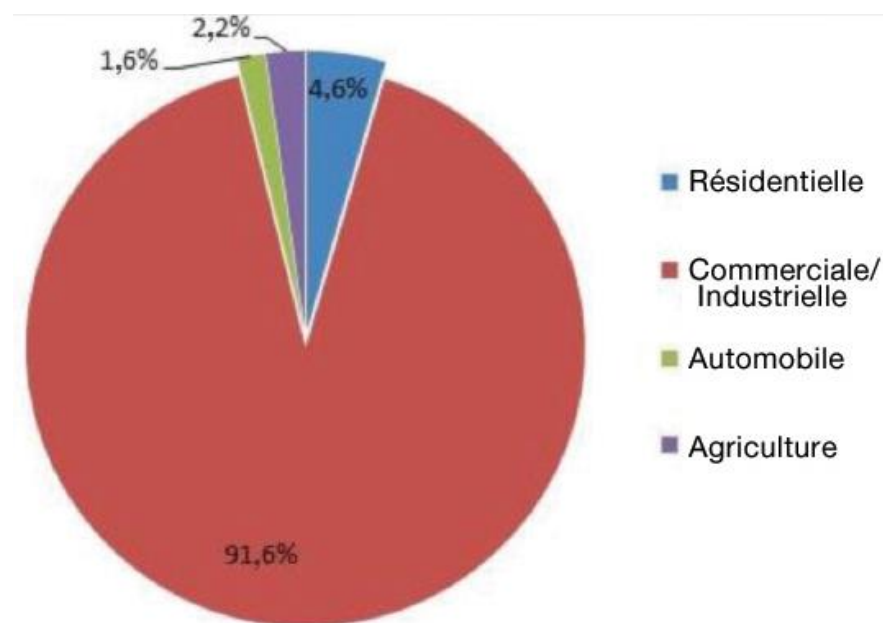
Illustration 99 : Contribution de chaque garantie aux pertes visant les biens assurés

Les pertes assurées par catégorie d'assurance sont résumées dans le tableau 39 suivant, et la contribution de chaque catégorie d'assurance aux pertes assurées globale est présentée à l'illustration 100.

**Tableau 39 : Sommaire des pertes visant les biens assurés par catégorie d'assurance**

	Résidentiel	Commercial/ Industriel	Automobile	Agriculture	Total	Contribution du risque
Secousses	274	10 828	171	270	<b>11 543</b>	94,4 %
Tsunami	-	-	-	-	-	-
Incendie post-sismique	279	332	16	1	<b>628</b>	5,1 %
Liquéfaction et glissement de	4	41	8	3	<b>56</b>	0,5 %
<b>Total</b>	<b>557</b>	<b>11 202</b>	<b>194</b>	<b>274</b>	<b>12 228</b>	
Contribution de la catégorie d'assurance	4,6 %	91,6 %	1,6 %	2,2 %		

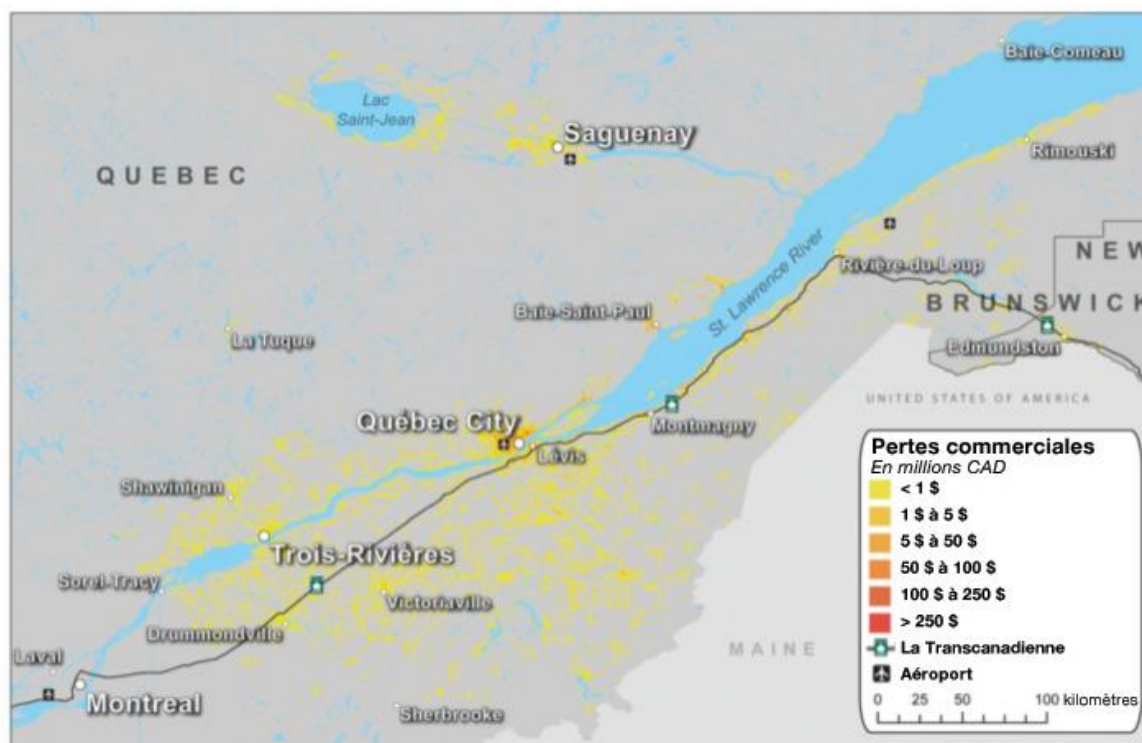
Toutes les données sont en millions et comprennent une montée subite de la demande



**Illustration 100 : Contribution de chaque catégorie d'assurance aux pertes totales visant les biens assurés**

Les pertes présentées à l'illustration 100 sont la quantité de pertes du scénario à être payé aux titulaires de contrats d'assurance en cas de tremblement de terre. Les contrats d'assurance contiennent des dispositions exigeant de l'assuré de retenir une certaine partie des pertes comme franchise.

Les prochaines illustrations présentent les pertes commerciales, résidentielles et d'infrastructure pour la région en général, et pour la région de la ville de Québec plus en détail. L'illustration 101 présente les pertes commerciales pour la région entière, et l'illustration 102 présente les pertes commerciales pour la région de la ville de Québec.



**Illustration 101 : Pertes commerciales du scénario de l'Est**

La répartition des pertes commerciales du scénario de l'Est suit le modèle de densité de population. Les pertes sont concentrées dans les communautés environnantes de Québec, Trois-Rivières, Saguenay et le long des rives du fleuve Saint-Laurent. On remarque des pertes élevées dans les centres de Baie-St-Paul sur la rive nord du Saint-Laurent, et Montmagny sur la rive sud – les municipalités les plus près de l'épicentre de l'événement. On observe une plus grande concentration des pertes à la limite supérieure de la gamme produite par le modèle dans le centre de la ville de Québec. On peut les voir en plus de détails à l'illustration 102 ci-dessous.

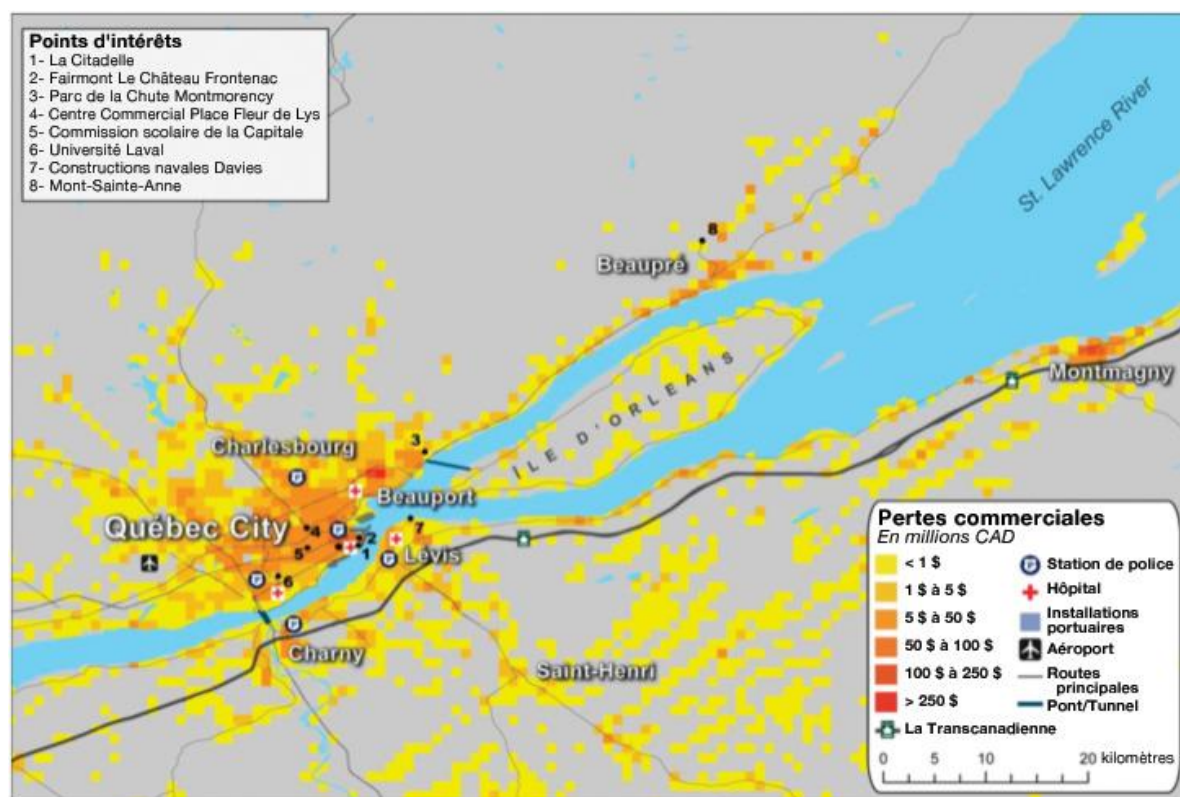
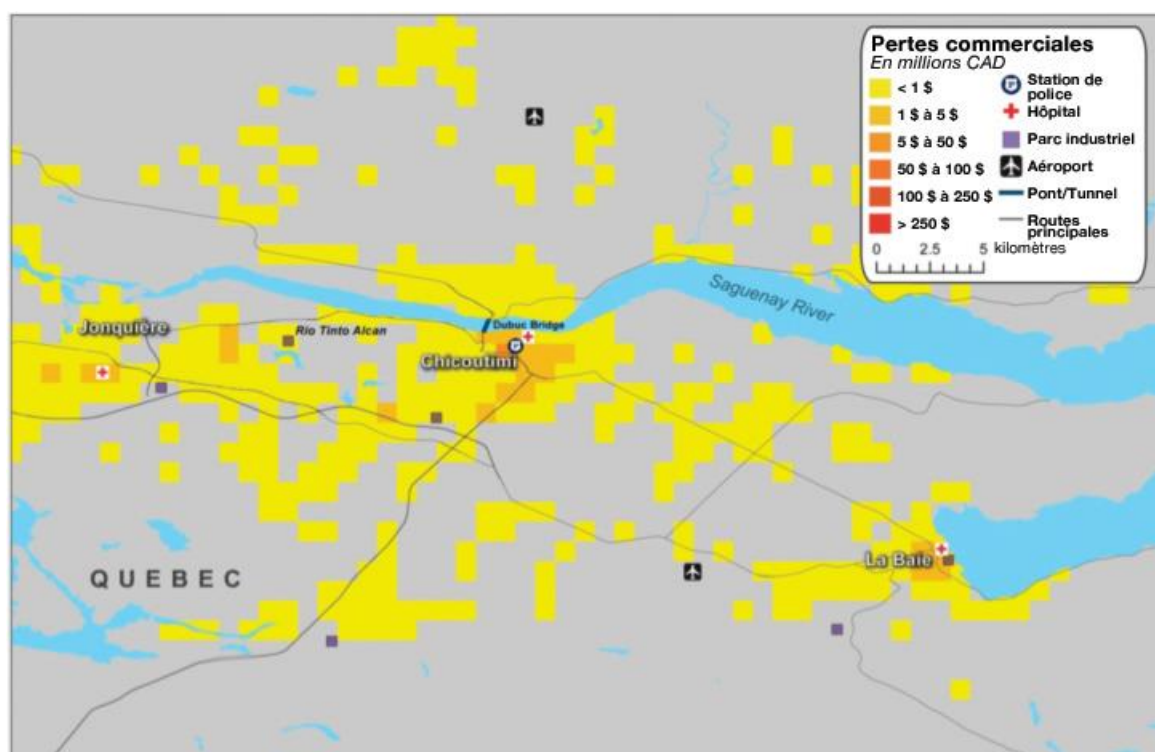


Illustration 102 : Pertes commerciales de la ville de Québec

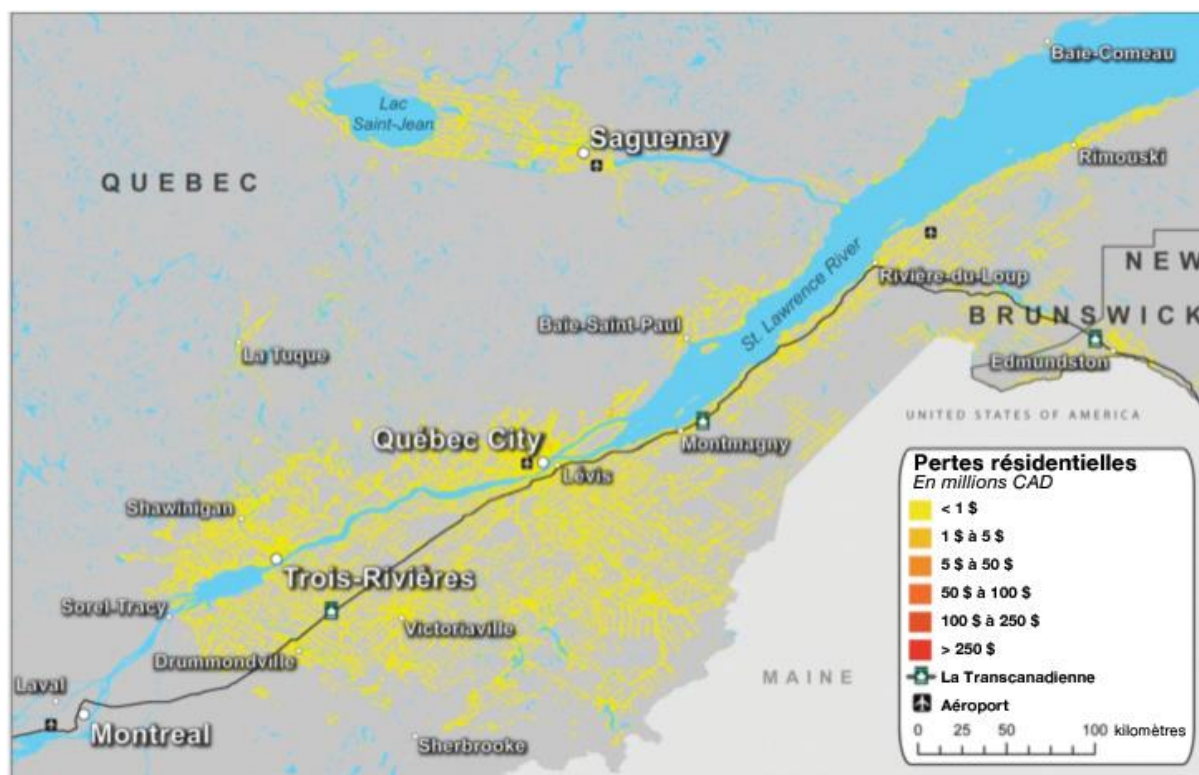
Les pertes commerciales à un niveau élevé sont notées dans la Grande région de Québec, avec une concentration particulière de pertes à de plus hauts niveaux dans les environs de la ville de Québec et de Beauport. Les carreaux de barèmes sans pertes représentent généralement des secteurs avec peu ou pas de développement.





**Illustration 103 : Pertes commerciales de Saguenay**

Les pertes commerciales assurées survenues dans les collectivités de Saguenay et de ses environs, peuvent être consultées à l'illustration 103. Les pertes sont généralement à la limite inférieure de la gamme, mais à des niveaux plus élevés dans les centres de population plus développés.



**Illustration 104 : Pertes résidentielles du scénario de l'Est**

Les pertes résidentielles de la région entière sont décrites ci-dessous à l'illustration 104. La plupart des collectivités, particulièrement celles au sud et à l'ouest de la ville de Québec présentent des dommages à la limite inférieure du barème précédemment donné. Celles situées plus près de l'épicentre de l'événement, cependant, présentent des pertes plus élevées. Ceci est particulièrement évident dans les centres de Baie-St-Paul sur la rive nord du Saint-Laurent, et de Montmagny sur la rive sud – les plus grandes municipalités proches du centre de l'événement.

Une autre concentration, encore plus grande, de pertes augmentées peut être constatée à Québec et dans ses environs. Cette région est présentée en détail ci-dessous à l'illustration 105.

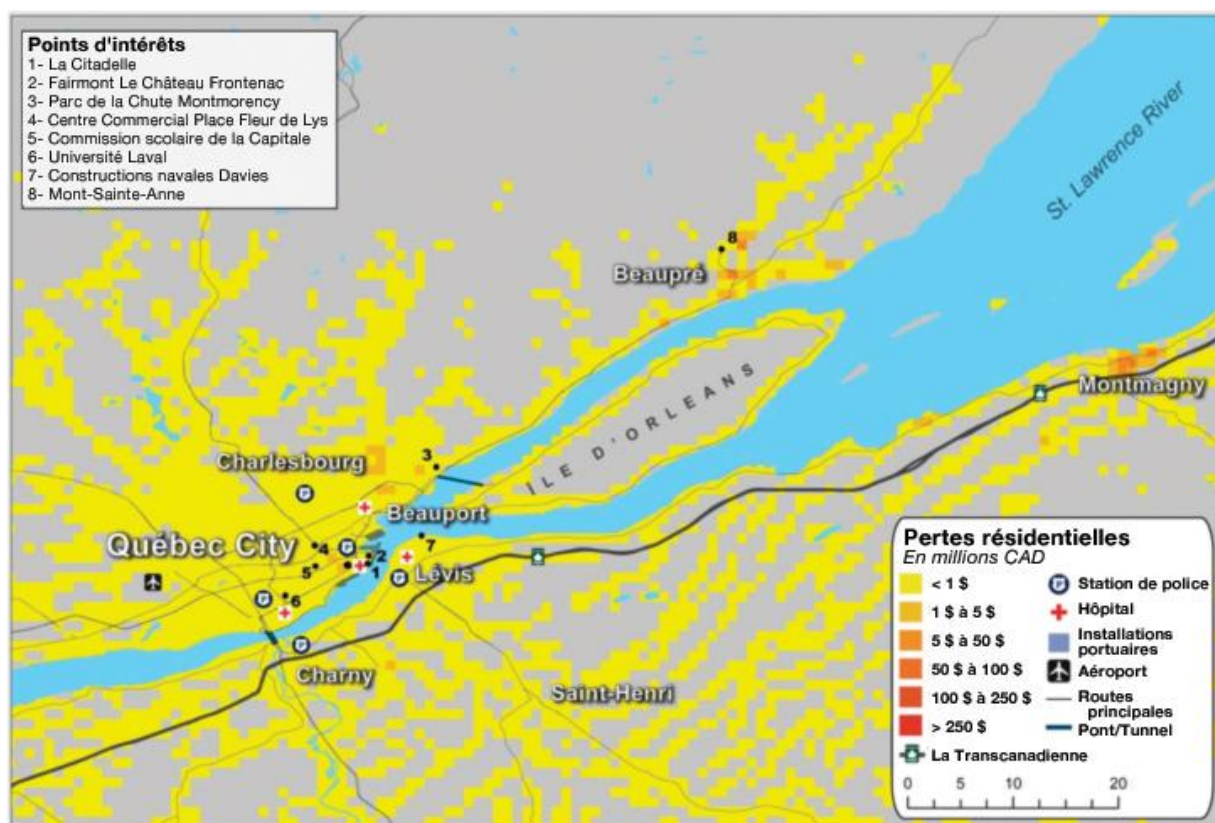
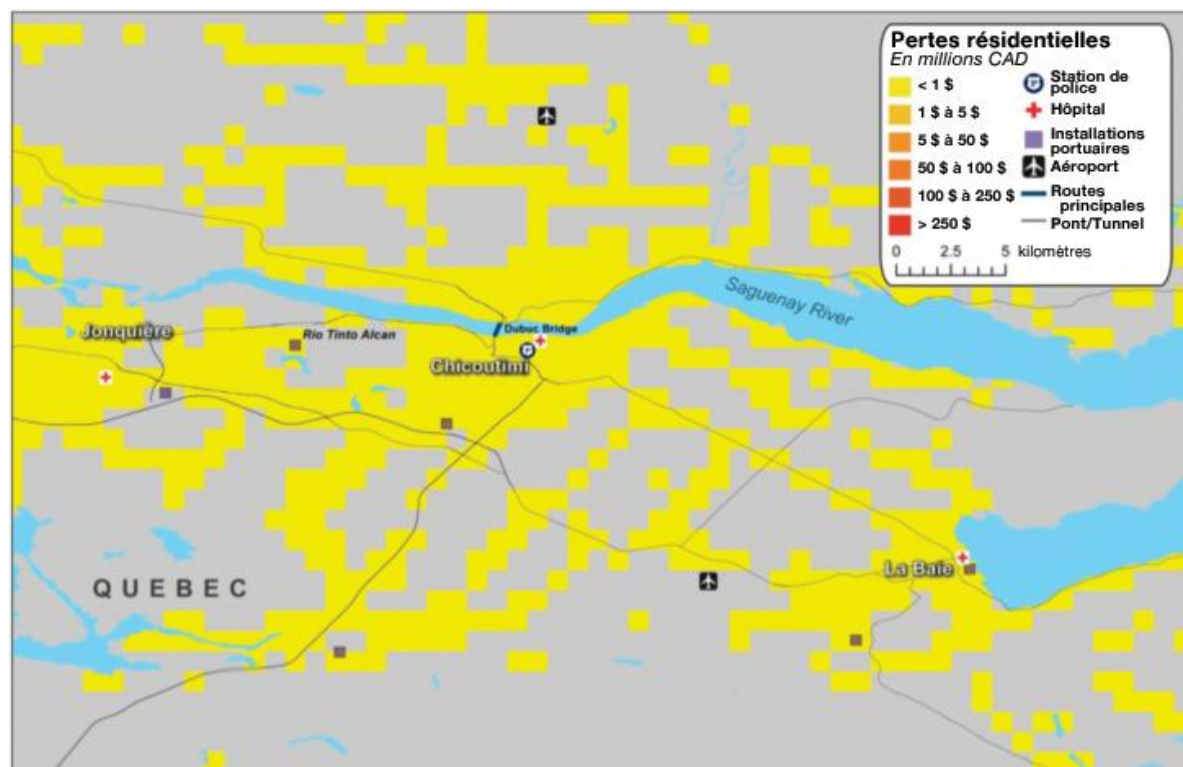


Illustration 105 : Pertes résidentielles dans la ville de Québec et ses environs

Les pertes résidentielles présentées ci-dessus à l'illustration 105 reflètent des dommages importants dans la Grande région de Québec, et des niveaux de pertes plus élevés surtout dans des îlots près du centre de la ville.

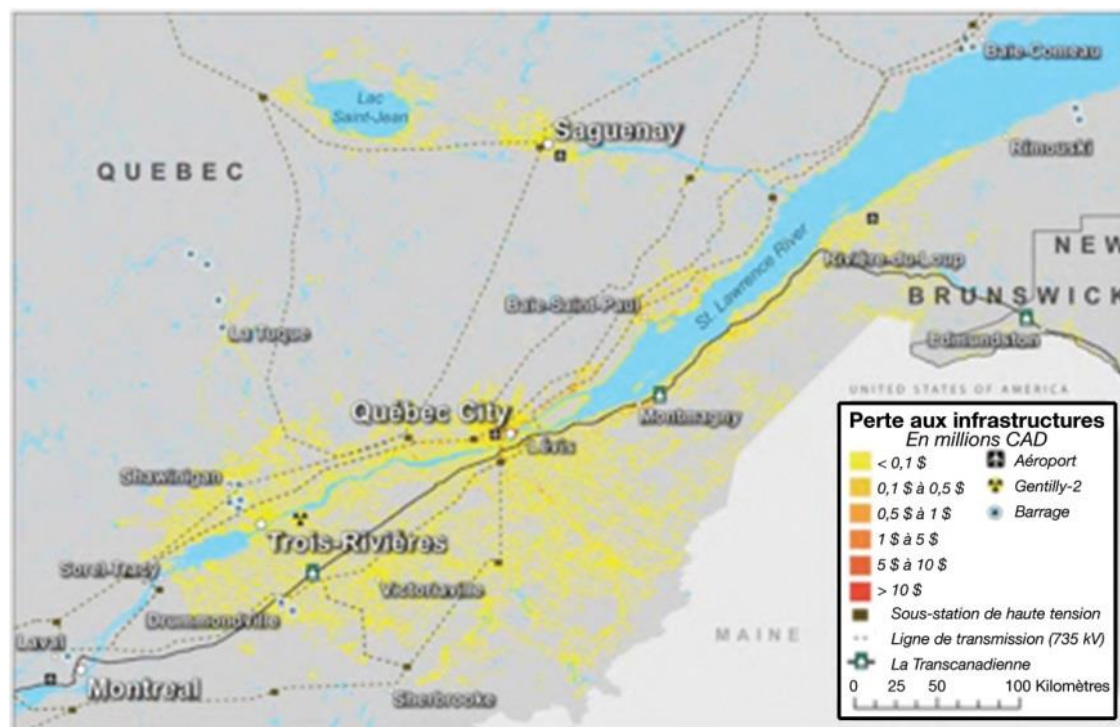


**Illustration 106 : Pertes résidentielles de Saguenay**

### Infrastructure

Les pertes d'infrastructures dans la région du scénario de l'Est sont résumées à l'illustration 107 et celles pour la ville de Québec sont présentées à l'illustration 108.



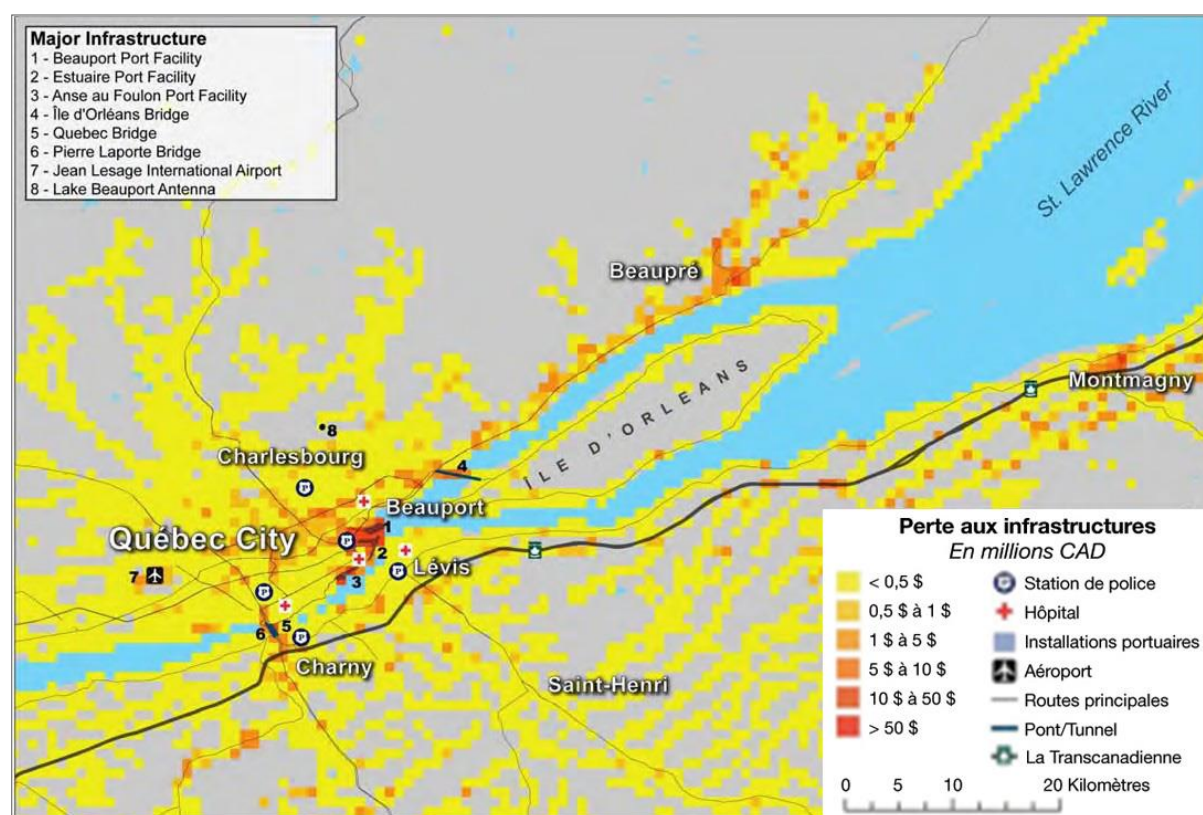


**Illustration 107 : Pertes visant les infrastructures du scénario de l'Est**

Les pertes visant les infrastructures à l'illustration 107 ci-dessus présentent un modèle de répartition qui suit le développement des collectivités de la région. Les plus grandes concentrations de pertes sont centrées dans les principales municipalités, mais les infrastructures sont aussi les artères fournissant l'alimentation en services essentiels comme l'énergie, l'eau et les communications ainsi que les routes, chemins de fer et ponts reliant les communautés – elles sont le lien vital leur permettant de fonctionner et de faire prospérer leurs économies. Les principales lignes de transmission par exemple, s'étendent le long de la rive nord du Saint-Laurent, procurant l'énergie à cette vallée densément peuplée. Les dommages à ce réseau contribuent à environ la moitié des pertes en infrastructure subies dans la région de ce scénario.

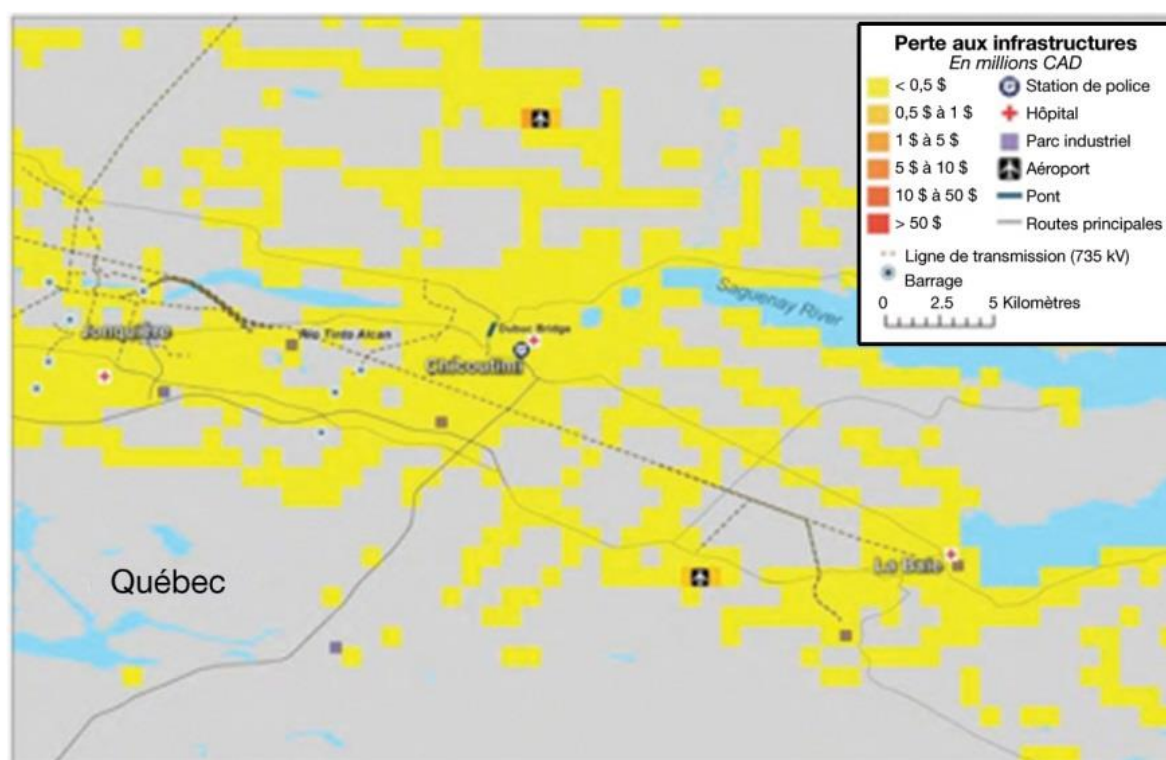
L'illustration 108 présente de faibles niveaux de pertes dans la Grande région de Québec. On remarque des îlots présentant des pertes élevées, ainsi que certains endroits comme l'aéroport international Jean Lesage, le centre-ville de Québec, les trois ponts traversant le fleuve Saint-Laurent et les installations portuaires principales de Québec.





**Illustration 108 : Pertes visant les infrastructures de la ville de Québec**

Les pertes d'infrastructure dans le secteur environnant Saguenay sont présentées dans l'illustration 109. Les pertes anticipées dans cette région sont généralement à la limite inférieure du barème, avec des pertes légèrement plus élevées aux deux aéroports de la région.



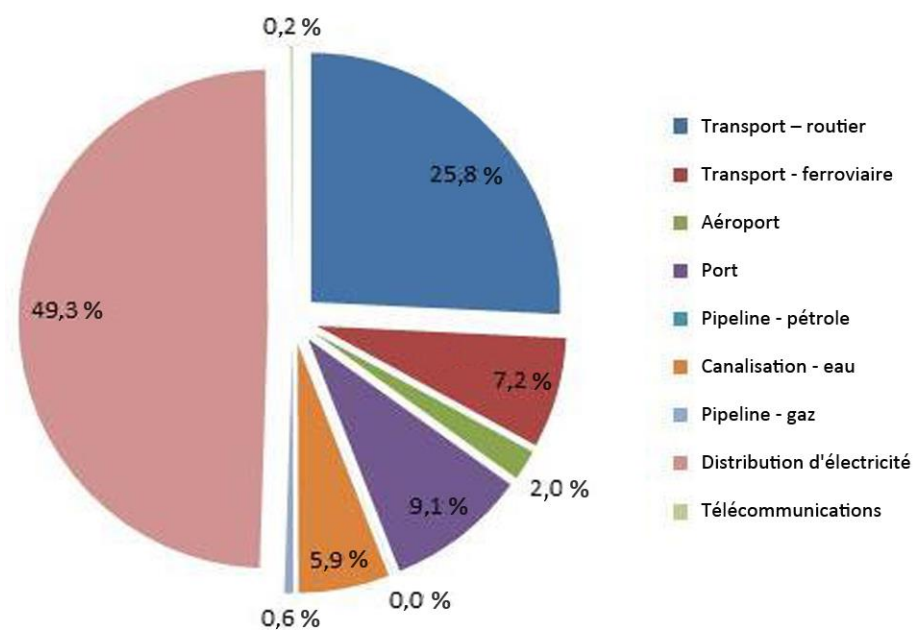
**Illustration 109 : Pertes visant les infrastructures de Saguenay**

La contribution de chaque genre d'infrastructure aux pertes globales est présentée ci-dessous au tableau 40, et dans le diagramme circulaire de l'illustration 110.

**Tableau 40 : Contribution de chaque type d'infrastructure aux pertes totales**

Type	Perte directe	Contribution du type
Transport – réseau routier	505	25,80 %
Transport – réseau ferroviaire	141	7,20 %
Aéroport	39	2,00 %
Port	178	9,10 %
Pipelines – gaz	0	0,00 %
Pipelines – pétrole	116	5,90 %
Canalisation – eau	11	0,60 %
Électrique – système de transmission	966	49,30 %
Système de télécommunication	3	0,20 %
<b>Total</b>	<b>1958</b>	

Toutes les données sont en millions



**Illustration 110 : Contribution de chaque type d'infrastructure aux pertes totales**

### Édifices publics

Les pertes touchant les édifices publics sont résumées dans les tableaux suivants. La perte nette totale par couverture est présentée au tableau 41.

**Tableau 41 : Perte nette totale visant les édifices publics**

Pertes touchant les édifices	Type	Bâtiment	Biens meubles	Pertes d'exploitation directes	Total	Contribution du risque
Commercial	Soins de santé	276	160	92	<b>528</b>	38,3 %
	Gouvernement	184	105	65	<b>354</b>	25,7 %
	Éducation	190	106	61	<b>357</b>	25,9 %
Industriel	Services publics Installations	41	67	30	<b>139</b>	10,1 %
<b>Total</b>		<b>691</b>	<b>438</b>	<b>248</b>	<b>1378</b>	
Contribution de la garantie		50,1 %	31,8 %	18,0 %		

Toutes les données sont en millions

## 8 Méthodes d'évaluation des pertes économiques indirectes

### 8.1 Estimation des pertes économiques indirectes des dommages aux biens et aux infrastructures<sup>10</sup>

Pendant plusieurs années, les estimations des sinistres catastrophiques étaient centrées sur les dommages aux biens et aux structures. Tous les autres genres d'impact (économique, sociologique, psychologique, etc.) ont été mis dans la même catégorie d'impacts qualifiés de pertes « indirectes » ou « secondaires ». Les dommages directs aux biens sont liés aux effets de phénomènes naturels, comme la rupture d'une faille, une secousse tellurique, une défaillance du sol, des glissements de terrain, un tsunami, etc., alors que les dommages aux biens collatéraux, ou indirects, sont illustrés par des incendies auxiliaires causés par des ruptures de pipelines, des fils électriques effilochés, etc., et accentués par la perte d'approvisionnement en eau.

Les pertes d'exploitation (PE) directes font référence à la réduction immédiate ou à l'arrêt de la production économique dans une usine endommagée ou une usine coupée d'au moins un des réseaux vitaux de services publics. Les PE indirects (l'industrie de l'assurance utilise le terme « carence des fournisseurs ») découlent des effets de « répercussion », ou « multiplicateurs » liés à la chaîne d'approvisionnement ou de clients des entreprises directement touchées. Le lecteur peut se référer à Rose (2004) pour un exposé de ces concepts, de même qu'à l'un des textes ci-dessous, et à l'Union européenne (2003), MMC (2005), Conseil national de recherche (2005) et Rose et coll. (2007) pour des exemples de leur application.

Il convient de préciser que tout dommage aux biens prend place à un point donné dans le temps (pendant la secousse tellurique), et que ces dommages auxiliaires (ou indirects) aux biens surviennent pendant un assez court laps de temps. Par contre, les pertes d'exploitation, étant de flux variable, varient en fonction du temps. Elles débutent au moment des secousses telluriques et se poursuivent jusqu'à ce que l'environnement bâti soit réparé et reconstruit à un niveau désiré ou réalisable (pas nécessairement dans l'état de pré-catastrophe) et qu'un environnement commercial propice soit restauré.

Ainsi, la perte d'exploitation est compliquée parce qu'elle est largement influencée par les choix des décideurs privés et publics en ce qui concerne les plans de restauration, y compris la réparation et la reconstruction.

<sup>10</sup> Cette section a été résumée à partir du rapport Analyses des impacts indirects du scénario de séisme en Colombie-Britannique, par Drs Dan Wei, Adam Rose et Michael Lahr. Ce rapport a été entièrement inclus à l'annexe 9.

De récents événements, comme ceux du 11 septembre et de l'ouragan Katrina, et les simulations hypothétiques, comme le Scénario de séisme de secousses catastrophiques indiquent que la taille des PE peut rivaliser avec les dommages aux biens (Rose et coll., 2009; Rose et coll., 2012).

Nous présentons les pertes sur le plan de deux types de variables de flux liées aux PE. La première est la production brute, un concept semblable aux revenus de ventes, ce qui équivaut aux coûts de tous les intrants, plus une clause de profit pour la plupart des industries (sauf pour les ventes en gros et le commerce de détail, où la production brute est plus alignée avec les marges sur ventes, et n'inclut pas le coût des produits vendus). La seconde est la valeur ajoutée, une mesure nette correspondant seulement au coût des facteurs primaires de production (main-d'œuvre, capital, et ressources naturelles, et exclut le coût des produits intermédiaires ou préparés). Au niveau régional, son équivalent est le produit intérieur brut (PIB), une mesure de la variance annuelle de la richesse générale dans une zone géographique précise.

Les impacts indirects de la perte d'exploitation ont été évalués dans la présente étude à l'aide d'un modèle entrées-sorties. L'analyse entrées-sorties est un modèle statique et linéaire de tous les achats et ventes entre les secteurs d'une économie en se basant sur les relations technologiques de production (Rose et Miernyk, 1989). Il a été conçu par le lauréat du prix Nobel, Wassily Leontief, et est l'outil d'analyse d'impact économique le plus largement utilisé, principalement parce qu'il est simple et bien établi. De plus, ses propriétés sont bien connues de ceux qui font la modélisation des risques. En effet, ce modèle a été largement utilisé pour analyser les impacts économiques des séismes et autres risques naturels (voir, par ex., ATC, 1991; Shinozuka et coll., 1998; Rose et Lim, 2002; et Gordon et coll., 2007; FEMA, 2008). En raison de ses détails sectoriels comparativement à d'autres autres modèles, il est particulièrement capable d'articuler de manière précise les effets de répercussion ou multiplicateurs.

Essentiellement, les tableaux entrées-sorties sont détaillés, complets, double saisie des enregistrements comptables de toutes les activités de production dans une économie. Ils sont en fait utilisés périodiquement pour comparer les évaluations de PIB d'un pays ou d'une région. En conséquence, pratiquement chaque pays du monde a élaboré un tableau entrées-sorties, habituellement par un recensement détaillé ou du moins, par un sondage exhaustif.

En matière de gestion, les modèles entrées-sorties sont relativement simples et peuvent être rapidement manipulés pour obtenir des simulations de base. Cela est dû au fait qu'ils sont simultanément des modèles et des bases de données. Des analyses plus sophistiquées peuvent être effectuées avec l'aide de feuilles de calcul Excel. Les modèles entrées-sorties sont aussi très transparents. Les bases empiriques de ces modèles sont contenues dans un tableau entrées-sorties que les utilisateurs du modèle et le grand public peuvent facilement comprendre.



**Effet de la résilience sur les pertes indirectes**

Dans notre analyse, nous incorporons la stratégie de réduction de perte de la *résilience*, dans chacun des formulaires statiques et dynamiques. Nous définissons la résilience de l'économie statique comme la capacité d'une entité ou d'un système à maintenir les activités (ex., poursuite de la production) lorsque frappées par les types de perturbation pris en compte. Il s'aligne donc sur le problème de l'économie fondamentale – la répartition efficiente des ressources, qui se font plus rares dans le contexte des catastrophes.

Cet aspect est interprété comme statique parce qu'il peut être atteint sans activités de réparation et de reconstruction, ce qui affecte non seulement le niveau actuel d'activité économique, mais aussi son cheminement chronologique. Une autre caractéristique clé de la résilience de l'économie statique est qu'il s'agit principalement d'un phénomène lié à la demande impliquant les utilisateurs des entrées (clients) plutôt que les producteurs (fournisseurs). Cela est en contraste avec les considérations reliées à l'offre qui exigent certainement la réparation ou la reconstruction des entrées critiques.

Une définition plus générale de la résilience dynamique est la vitesse à laquelle une entité ou un système se remet d'un choc sévère pour se remettre à un état désiré. Ceci englobe également le concept de la stabilité mathématique ou de système parce qu'il implique que le système est capable de rebondir. Cette version de la résilience est relativement plus complexe parce qu'elle implique un problème d'investissement à long terme lié à la réparation et la reconstruction, et est donc omis de notre analyse.

Les points suivants sont des tactiques appropriées de résilience :

- 1. Utilisation des stocks.** Ceci concerne l'utilisation de divers types d'accumulation de stocks des entreprises touchées directement et indirectement par des perturbations d'entrées en raison de l'interruption de la chaîne d'approvisionnement lors de la catastrophe.
- 2. Conservation.** Ceci consiste à utiliser des moyens d'utiliser moins d'entrées perturbées dans le processus de production qui est potentiellement perturbé par les dommages aux systèmes critiques d'approvisionnement en services publics, de même que de conserver les entrées critiques pour lesquelles la production est indirectement réduite.
- 3. Substitution d'apports.** Ceci fait référence à l'utilisation dans la production de biens préparés qui sont similaires à ceux dont la production a été interrompue (directement et indirectement). L'utilisation du gaz naturel plutôt que du charbon dans une installation de service électrique et des chaudières industrielles constitue un bon exemple.
- 4. Substitution à l'importation.** Il s'agit principalement de la même chose que pour la substitution d'apports, mais plus précisément, en remplaçant un bien importé par un substitut local.

**5. Services publics sans importance.** Ceci fait référence à des parties du processus de la production qui sont isolées des exigences de service du réseau vital, et ne sont ainsi pas touchées par les interruptions de service (ex., la majorité de la production agricole n'exige pas d'électricité).

**6. Reprise de la production (révision du calendrier).** Cette stratégie de résilience fait référence à la capacité des entreprises à reprendre la production perdue en effectuant des heures supplémentaires ou en ajoutant des quarts de travail une fois la capacité d'opération restaurée et les entrées importantes et les employés sont disponibles. Il s'agit d'une option viable pour les interruptions à court terme, où les clients risquent le moins de voir leur commande annulée.

**7. Détournement du transport.** Ceci fait référence à la redirection de la circulation (ex., vols, bateaux, véhicules) vers des routes alternatives pour arriver à destination lorsque des parties du système de transport sont fermées en raison de dommages causés par le séisme.

Dans la présente étude, pendant la courte durée de l'interruption, les substitutions d'apports et d'importations n'entrent probablement pas en jeu, et les données ne sont pas disponibles quant aux stocks. Ainsi, nous centrons notre attention sur la conservation, sans importance, de reprise de la production et le détournement du transport. En outre, selon la littérature, les effets de la plupart des autres actions de résilience sont minimales en comparaison avec celles que nous avons actuellement modélisées (Tierney, 1997; Rose et Lim, 2002).

### **Méthodologie**

Dans le cadre de la présente étude, nous avons obtenu de Statistiques Canada les tableaux des entrées-sorties provinciales canadiennes pour la Colombie-Britannique. Le tableau entrées-sorties comprend 24 secteurs, et se fonde largement sur le schéma de sectorisation à deux caractères du système de classification industrielle nord-américain (SCIAN).

Les modèles entrées-sorties ont tous des versions concernant la demande et l'offre. La version de la demande sur le modèle entrées-sorties est la version régulière, où une modification à la demande finale touche l'économie en causant une offre de produit qui doit répondre par un processus multiplicateur. La version de l'offre sur le modèle entrées-sorties est une variante du modèle régulier où les impacts sur l'économie surviennent du côté production de l'économie. Il peut s'agir d'une modification aux facteurs primaires (ex., main-d'œuvre) des activités de secteurs économiques individuels se répercutant dans l'économie par des modèles marketing de vente de l'un des secteurs à un autre (Rose et Wei, 2011). Dans la présente étude, les aspects demande et offre des modèles entrées-sorties ont été appliqués pour fournir une évaluation plus exhaustive des pertes économiques potentielles issues de dommages liés aux édifices et aux perturbations du réseau vital des services publics dans le scénario de séisme.

Pour l'analyse des impacts économiques indirects issus de la perturbation des infrastructures de transport, ex., autoroutes, voies ferroviaires, aéroports, et ports maritimes, nous avons utilisé l'approche illustrée dans le rapport de l'Applied Technology Council (ATC, 1991).

Les tableaux des annexes B3 à B6 présentent les estimations de l'ATC sur le pourcentage de pertes dans la valeur ajoutée des différents secteurs économiques résultant de perturbations de plus en plus sévères des principaux types d'infrastructures de transport.

## 9 Hypothèses et limitations de la sélection des scénarios et analyse

### 9.1 Hypothèses générales et sources d'incertitude pour tous les modèles

La modélisation de catastrophes repose sur des hypothèses au sujet de phénomènes physiques complexes qui ne sont pas parfaitement compris, et les données observées pour l'étalonnage des modèles sont limitées, particulièrement dans les régions où il y a une incidence très faible d'événements catastrophiques. Il y a plusieurs sources d'incertitude dans la modélisation de catastrophes et elles peuvent être regroupées en deux grandes catégories — aléatoires et épistémiques.

L'incertitude aléatoire représente la variabilité intrinsèque d'un processus et est une forme d'incertitude qui ne peut être réduite lorsque plus d'informations sont recueillies puisque la variabilité est inhérente au processus. La seconde source d'incertitude est épistémique, ce qui découle d'un manque de connaissances. Ceci se manifeste communément par l'incertitude quant au choix de la forme du modèle, soit l'incertitude liée au modèle, et dans l'estimation des paramètres, soit l'incertitude paramétrique du modèle.

L'incertitude liée au modèle peut être démontrée lorsqu'il faut déterminer si la récurrence des séismes sur des failles est dépendante du temps ou non, ou si le climat actuel est considéré stationnaire. L'incertitude paramétrique a souvent trait à la rareté de données dans l'estimation des paramètres de modélisation, particulièrement dans les régions inactives.

De plus, certaines incertitudes connues ne sont pas prises en compte dans le modèle — par exemple, les pertes attribuables à la défaillance d'une levée ou d'un barrage suite à un séisme. Enfin, d'autres incertitudes sont inconnues, notamment la probabilité de l'occurrence de séismes sur des failles qui n'ont pas encore été découvertes.

#### **Stationnarité**

Pour estimer les risques, les modèles de catastrophes se fondent sur des données historiques, des données préhistoriques, des données géophysiques et une compréhension scientifique approfondie des processus physiques qui causent ces événements. Dans l'élaboration du modèle, AIR examine la stationnarité des séries chronologiques et le temps d'achèvement afin qu'aucune distorsion ne soit par inadvertance introduite dans les modèles.

Toutefois, il n'en demeure pas moins qu'on s'appuie dans une large mesure sur les données historiques, d'où l'hypothèse implicite que les données antérieures peuvent servir à prévoir la fréquence et l'intensité d'événements futurs.

Donc, tous les modèles reposent, à divers degrés, sur l'hypothèse tenant que l'expérience offre une représentation raisonnable des paramètres physiques des événements futurs auxquels on peut s'attendre. L'incertitude à cet égard est surtout amplifiée pour les rares mais extrêmes événements pour lesquels les données historiques sont limitées ou inexistantes.

Pour les régions où il y a très peu de données, on opte de plus en plus pour la modélisation physique, comme c'est le cas pour la modélisation cinématique pour l'aléa sismique ou la modélisation de pronostic numérique pour les risques de vents extrêmes.

### **Estimation des dommages**

Les fonctions de dommage sont fondées sur les hypothèses dérivées d'études d'ingénierie, les travaux de recherche publiés, les sondages menés à la suite de catastrophes et les données sur les réclamations réelles lorsqu'elles sont disponibles. Il y a incertitude quant à la performance des plus nouvelles structures qui n'ont pas encore été mises à l'épreuve par des événements réels.

En outre, il y a une plus grande incertitude au sujet des régions ayant fait l'objet de moins d'études ou de celles pour lesquelles les données sur les réclamations sont limitées et dont les fonctions de dommage peuvent avoir émané des premiers principes d'ingénierie sans avoir été validées par des données réelles observées.

Les fonctions de vulnérabilité captent une part de l'incertitude liée au mouvement du sol. Les fonctions de vulnérabilité qui établissent un rapport entre le ratio des dommages médian et les paramètres du mouvement du sol médian sont modifiées pour tenir compte de l'incertitude des paramètres du mouvement de sol autour des valeurs médianes. Il arrive souvent que l'incertitude dans les paramètres de mouvement du sol soit quantifiée dans les équations de prédiction du mouvement du sol (fonctions d'atténuation) par distributions log-normale.

### **Incertitude secondaire**

Les distributions de probabilités qui caractérisent l'incertitude secondaire—à savoir l'incertitude du ratio de dommages compte tenu de l'intensité de l'événement—sont fondées sur des données en matière de pertes. L'agencement des distributions de l'incertitude secondaire (qui varie selon le risque et l'intensité), dans certains cas avec peu de données sur les réclamations, est associé à l'incertitude paramétrique.

### **Données d'exposition**

La qualité des données d'exposition constitue un élément clé dans la gestion du risque de catastrophe.

Les estimations de pertes dans le scénario d'AIR s'appuient sur des valeurs de remplacement, des comptes de risques et des taux d'absorption qui sont exacts mais qui font néanmoins l'objet d'incertitude dans la mesure où les données d'exposition sous-jacentes ne représentent pas exactement la véritable exposition de l'industrie, les dispositions contractuelles et la pénétration de l'assurance au Canada.

Bien que l'ensemble des données Canvec et des cartes additionnelles d'infrastructures couvrent la plupart des



zones géographiques et les types d'infrastructures, il y aura néanmoins des situations où les données n'étaient pas disponibles. Cela a été le cas pour les lignes de distribution locales du gaz naturel, les systèmes d'eau et les lignes de transmission de l'électricité dans certaines parties du Canada. Dans ces cas, les lignes de distribution locales ont alors été modélisées sur les réseaux routiers.

### **Montée subite de la demande**

Une autre source d'incertitude dans les pertes a trait à la montée subite de la demande. Les forces du marché font généralement en sorte qu'il y a suffisamment de matériel et de main-d'œuvre pour répondre à la demande normale sans incidence sur les prix. Toutefois, il peut y avoir une augmentation considérable et inattendue de la demande après une catastrophe comme un ouragan ou un tremblement de terre.

Les dégâts matériels importants qui en résultent peuvent entraîner une augmentation marquée des besoins et des prix de matériaux de construction et de main-d'œuvre. Les ressources rares peuvent aussi donner lieu à une augmentation du temps nécessaire pour réparer et rebâtir les biens endommagés, ce qui peut causer des pertes d'exploitation accrues et des frais de subsistance supplémentaires. Les dommages aux infrastructures, le retard dans l'émission des permis de construction et un nombre insuffisant d'inspecteurs des bâtiments contribuent également à l'augmentation des pertes d'exploitation. Ces facteurs peuvent engendrer des pertes assurées en excédent des prévisions pour un événement ou portefeuille donné, un phénomène appelé «montée subite de la demande».

La fonction actuelle par défaut AIR liée à la montée subite de la demande a été élaborée à l'aide de principes économiques et validée selon les niveaux de perte et les analyses de coût pour les É.-U. Comme la montée subite de la demande est un phénomène que l'on observe surtout lors de catastrophes majeures, il y a relativement peu d'événements qui permettent de valider les fonctions de montée subite de la demande à l'extérieur des États-Unis. Les incertitudes liées à la fonction de montée subite de la demande peuvent être attribuées au manque relatif de données détaillées.

### **Recours au jugement d'experts**

L'importante équipe d'experts de la société AIR vise constamment à améliorer l'exactitude et le réalisme des modèles de catastrophes. Toutefois, la modélisation de catastrophes sera toujours une science inexacte et il y a des incertitudes et des hypothèses inhérentes au processus d'élaboration des modèles.

AIR s'engage à expliquer toutes les sources d'incertitude connues ainsi que la façon dont elles sont traitées dans les modèles; ces explications se trouvent dans les documents techniques détaillés.

Pour des questions précises ou pour des régions qui ont fait l'objet d'études moins poussées, et pour lesquelles les données historiques sont insuffisantes, il faut recourir au jugement d'experts scientifiques. Dans certaines situations, AIR traite avec des experts-conseils ou des examinateurs pour compléter les connaissances de son personnel.

## 9.2 Hypothèses et limitations propres au modèle AIR des séismes au Canada

### *Mouvement du sol et sismicité*

Le modèle AIR des séismes au Canada repose sur des données géologiques, sismiques et géodésiques qui ont été tirées d'ouvrages publiés et inédits. Le jugement d'experts est appliqué au besoin pour faire en sorte que les renseignements les plus récents soient utilisés dans l'élaboration des modèles. Toutefois, il est à noter que la société AIR n'a pas recueilli ni compilé les données initiales; par conséquent, le modèle s'appuie sur l'exactitude des données ou résultats publiés.

AIR a notamment utilisé une liste des tremblements de terre historiques compilée par des sismologues de la Commission géologique du Canada (CGC). Le taux de sismicité du modèle et l'emplacement dépendent largement de l'exactitude des données historiques. Les magnitudes des événements historiques dans la nouvelle liste diffèrent considérablement de celles des listes antérieures diffusées par la CGC et qu'elle a utilisée pour élaborer la carte de risques sismiques au Canada. AIR suppose que la nouvelle liste des tremblements de terres produite par la CGC représente la plus récente interprétation des magnitudes historiques et des caractéristiques sismiques au Canada.

Chaque scénario choisi ne représente qu'un des nombreux scénarios possibles de rupture dans la zone source où elle s'est produite. Il est important de souligner que le scénario choisi ne représente pas la prévision de la société AIR quant au résultat le plus probable d'une rupture future dans la zone source. Par exemple, il y a de nombreuses façons dont l'énergie sismique qui est actuellement accumulée dans la zone de subduction Cascadia puisse être libérée par le ou les prochains séismes majeurs. L'énergie pourrait, par exemple, être libérée par un seul séisme géant de méga-chevauchement causant une rupture de toute la faille, ainsi qu'une série de répliques, un peu comme cela a été le cas dans le séisme de 2011 du Tōhoku. Par ailleurs, quelques importants séismes mettant en cause une seule rupture de plus petits segments d'une faille sur de nombreuses années ou décennies pourraient se produire. L'impact de ces scénarios de rupture éventuels pourrait être très différent.

La géométrie de rupture des événements de la zone de subduction Cascadia se fonde sur le modèle de rupture USGS 2008 pour la zone de subduction Cascadia. L'USGS emploie trois modèles différents pour la zone de subduction Cascadia et ces modèles sont combinés à l'aide d'un arbre logique pour le calcul des risques. Le scénario de l'Ouest choisi dans la présente étude représente un de ces autres modèles. D'autres scénarios de rupture pourraient avoir un impact très différent sur les pertes au Canada, même si la magnitude et la longueur et profondeur de la rupture sont les mêmes que cet événement.

Sauf pour la zone de subduction Cascadia, le modèle AIR des séismes au Canada n'est pas dépendant du temps. La probabilité qu'un séisme survienne à un endroit donné ou le long d'un segment d'une faille suit un modèle de type poissonien et n'est donc pas fonction de séismes antérieurs.

On présume que le mouvement du sol prévu est modélisé de façon appropriée au moyen d'équations de prédiction du mouvement du sol (GMPE) empiriques ou d'équations d'atténuation. Ces GMPE s'appuient sur les conditions du site, la vitesse moyenne des ondes de cisaillement des sols peu profonds et la formulation du facteur d'amplification du site et ces éléments font l'objet d'incertitude.

De plus, dans l'élaboration des GMPE, les enregistrements des mouvements du sol dans différents sites produits par différents séismes sont regroupés. Les données empiriques ont montré que cette approche dégage une variation plus élevée dans le mouvement du sol que ce qui a été enregistré lors de séismes répétés d'une magnitude semblable à la distance R d'une faille particulière. Cette variabilité excessive peut causer un risque sismique excessif dans certains emplacements. Les données et les recherches en génie sismique sont utilisées pour supprimer cette source de distorsion potentielle.

### **Liquéfaction**

Le modèle AIR de liquéfaction repose sur les cartes de géologie superficielle et des données restreintes de profils du sol pour évaluer le potentiel de liquéfaction. Cette approche permet de dégager des estimations raisonnables de dommages liés à la liquéfaction; toutefois, pour prédire les dommages liés à la liquéfaction propres à un site, il faut avoir des données géotechniques détaillées ainsi que des renseignements détaillés sur les fondations et les types de structure, lesquels peuvent ne pas être disponibles. Le modèle ne tient pas compte non plus des mesures prises contre la liquéfaction dans certains endroits.

Le modèle AIR des séismes au Canada ne soutient la liquéfaction que dans six zones urbaines pour lesquelles il existe des cartes de géologie superficielle de qualité. Les six régions sont la vallée du Bas Fraser, la région du Grand Victoria, la région du Grand Toronto, la région de la capitale nationale, la région métropolitaine de Montréal et la ville de Québec.

### **Glissement de terrain**

Le modèle AIR de glissement de terrain suit une méthode généralisée basée sur les cartes du substratum rocheux/cartes de géologie superficielle et les données altimétriques numériques. Cette méthode permet de dégager des estimations raisonnables des dommages liés à un glissement de terrain, mais elle ne permet pas une analyse de la stabilité de la pente pour le site. L'évaluation d'un site nécessite des renseignements plus détaillés sur le profil de la pente et des données géotechniques; par conséquent, il n'est pas pratique d'effectuer l'évaluation d'un site sur le plan régional. Le modèle ne tient pas compte non plus des mesures prises contre le glissement de terrain dans certains endroits.

Les régions qui reposent sur des sédiments marins (par exemple, l'argile de Leda) dans les vallées de l'Outaouais et du Saint-Laurent sont hautement vulnérables aux mouvements de terrain. Toutefois, AIR ne modélise pas ce type de glissement de terrain parce qu'il faudrait procéder à des études poussées de l'emplacement pour déterminer s'il y a ou non de tels sédiments; d'ailleurs, il n'y a pas suffisamment de données pour effectivement repérer l'étendue des sédiments.

### **Incendies post-sismiques**

Le modèle des incendies post-sismiques représente diverses conditions et circonstances qui pourraient influencer sur le comportement des incendies post-sismiques. Il y a toutefois certaines limites quant à ce qui peut être intégré dans un modèle.

Par exemple, AIR n'a pu justifier de façon explicite les actes de pyromanie suite à un tremblement de terre. Un incendie peut s'avérer une solution financière pour un propriétaire d'immeuble non assuré contre les tremblements de terre. De plus, le modèle des incendies post-sismiques ne permet pas de prédire les explosions ni les incendies causés par un tremblement de terre. Ces rares cas sont simplement traités comme des incendies normaux. Lorsqu'un tsunami frappe une zone peuplée, il peut déclencher des incendies d'origine chimique, notamment les voitures avec un plein réservoir d'essence qui s'écrasent sur un bâtiment ou d'autres sources d'incendies qui sont touchées, le modèle ne peut prédire les foyers d'incendie et AIR prend en considération ces foyers d'incendie implicitement dans la fonction du taux d'incendie. Il arrive parfois qu'un feu soit éteint avant qu'il ne puisse se propager, souvent par des civils, et le service d'incendie n'a pas à intervenir. AIR ne modélise les dommages résultant d'un feu que lorsque le service d'incendie est appelé à l'éteindre.

### **Tsunami**

Pour modéliser un tsunami associé à un grand séisme se produisant le long d'une zone de subduction, il faut des renseignements détaillés sur la géométrie de la zone de subduction et la distribution du mouvement du séisme type sur l'étendue de la zone de rupture. Les particularités de la distribution du mouvement, de la direction du mouvement et du pendage contrôlent le soulèvement vertical du plancher océanique et donc l'échelle des vagues du tsunami en haute mer.

L'emplacement relatif de la zone de subduction par rapport à la côte, la géométrie de la zone de subduction et la distribution du mouvement sur le plan de rupture dictent également l'échelle et la distribution spatiale de la subsidence ou du soulèvement vertical dans différentes zones côtières, ce qui pourrait donner lieu à des effets plus ou moins graves du tsunami.

Il est pratiquement impossible de prédire la distribution du mouvement de séismes futurs. Toutefois, les renseignements sur la distribution du mouvement de séismes passés pourraient donner des indications quant à l'élaboration de scénarios réalistes. En outre, la dernière décennie a vu bon nombre d'études qui ont utilisé avec succès des données GPS pour explorer le couplage de zones de subduction. L'observation sur la distribution du glissement pour certains des récents grands séismes à interface de subduction a montré qu'il y a une très bonne corrélation entre la distribution du glissement observé et la tendance prévue d'après les études GPS, par exemple le séisme de 2010 d'une magnitude de 8,8 dans la région du Maule au Chili.

Par conséquent, les sismologues de la société AIR ont construit un modèle physique pour la zone de subduction Cascadia et utilisé les données GPS locales, comme il est décrit dans le rapport, pour estimer l'état de couplage pour la zone de subduction. À la suite des résultats concernant le séisme dans la région du Maule, il a été déterminé, d'après les résultats de notre étude, que les régions ayant les coefficients de couplage les plus élevés sont les plus susceptibles de connaître des déplacements importants. Les sismologues AIR ont également compilé des renseignements sur le déplacement maximal pour certains séismes passés de zone de subduction. Ces renseignements, de pair avec la magnitude et la zone de rupture, ont été utilisés pour ajouter des contraintes relativement à la distribution du glissement pour le séisme de type Cascadia. En utilisant ces données et en prévoyant des paramètres à caractère aléatoire, des scénarios pour la distribution du glissement sur Cascadia ont été simulés.

## 10 Annexe—Glossaire

**Accélération** : Mesure du tremblement du sol découlant d'un séisme.

**Accélération maximale** : Le taux de changement de vitesse le plus élevé de la vitesse du sol enregistré par une station lors d'un tremblement de terre.

**Accélération spectrale** : Ce qu'un bâtiment subit et ce qui est modélisé comme une particule sur une tringle verticale sans masse et ayant la même fréquence propre que le bâtiment. Il s'agit de la composante d'accélération à une période d'oscillation particulière.

**Actuaire** : Un Fellow de l'Institut canadien des actuaires et un professionnel du domaine de l'application des mathématiques aux problèmes liés aux finances et à l'assurance

**Assurance des biens des particuliers** : Catégorie d'assurance visant à protéger la demeure, les biens et les voitures des particuliers ou des familles contre les pertes imprévues.

**Assurance des entreprises** : Catégorie d'assurance visant à protéger les biens immobiliers et personnels d'entreprises et d'organismes à but non lucratif.

**Assurance habitation** : Catégorie d'assurance visant à protéger les biens détenus par un particulier comme une demeure et son contenu (biens meubles).

**Atténuation** : La réduction de l'amplitude d'une onde avec le temps ou la distance parcourue. Les ondes sismiques s'atténuent alors qu'elles s'éloignent de la source d'un tremblement de terre.

**Bathymétrie** : La science de la mesure des profondeurs et du relief de l'océan ou d'un lac pour en déterminer la topographie du sol.

**Cinématique** : Les types de mouvements et directions de la croûte terrestre qui produisent des déformations de l'écorce terrestre.

**Courbe de probabilité de dépassement** : Une courbe de probabilité de dépassement décrit la probabilité que divers niveaux de perte seront dépassés sur une période d'un an.

**Croûte terrestre** : La couche extérieure principale de la terre dont l'épaisseur se situe entre 10 à 65 kilomètres partout au monde. La couche supérieure de 15 à 35 kilomètres de la croûte est suffisamment friable pour produire des tremblements de terre.

**Déplacement (tremblement de terre et liquéfaction)** : Le changement de place d'un point donné après un tremblement de terre.



**Déplacement (tsunami) :** Le mouvement vertical d'un grand volume d'eau attribuable au mouvement du fond de la mer durant un tremblement de terre. Par exemple, un déplacement de 5 m signifie que la surface de l'eau est soulevée ou qu'elle tombe de 5 m au-dessus d'une faille.

**Écart-type :** Une mesure statistique de l'écart ou de la variabilité—combien des données diffèrent de la courbe de meilleur ajustement dans un graphique. Ou, la racine carrée de la moyenne des carrés des déviations au sujet de la médiane des données.

**Exposition :** Biens assurés qui sont exposés à un risque.

**Franchise :** La partie de la perte que le titulaire de contrat conserve à sa charge avant que l'assureur ne couvre le reste du sinistre. Une franchise peut être exprimée en somme fixe ou en pourcentage, selon les dispositions du contrat. Une franchise de 10 % appliquée à un sinistre de 150 000 \$ en vertu d'une police de 300 000 \$ indique que le titulaire du contrat paiera la somme de 30 000 \$ et l'assureur 120 000 \$.

**Fréquence propre :** La fréquence à laquelle un objet vibre lorsqu'il est poussé par une seule force, libre de toute contrainte externe.

**Incendie post-sismique :** Incendie qui se produit suite à un tremblement de terre lorsqu'un carburant vient en contact avec une source de combustion, comme une cuisinière qui est renversée ou un court-circuit du câblage électrique.

**Indemnisations des travailleurs :** Une assurance commerciale qui couvre les gages et les frais médicaux des travailleurs.

**Intensité :** La gravité d'un tremblement de terre sur le plan de ses effets sur la surface terrestre, les êtres humains et les structures. Bien qu'un tremblement de terre n'ait qu'une seule magnitude, son intensité sera ressentie différemment à différents endroits. Il y a plusieurs échelles qui servent à décrire l'intensité d'un séisme.

**Intervalle de récurrence :** La période moyenne entre les occurrences d'un tremblement de terre sur une faille ou dans une zone source.

**Limite :** Le maximum qu'un assureur verse pendant une période donnée ou la durée du contrat. Une limite peut être exprimée en somme fixe ou en pourcentage, selon les dispositions du contrat. Une limite de 100 % indique que l'assureur couvre 100 % des pertes admissibles après paiement des franchises.

**Liquéfaction :** Le processus suivant lequel un solide granulaire (sol) prend des caractéristiques d'un liquide suite à une augmentation de la pression interstitielle et une réduction des contraintes. En d'autres termes, le sol originalement compact perd sa cohésion et commence à couler comme un liquide.

**Magnitude :** Un chiffre qui caractérise la taille relative d'un séisme, compte tenu de la mesure du mouvement maximum enregistré par un sismographe.

**Magnitude du moment :** Magnitude d'un tremblement de terre estimée en calculant le moment sismique qui permet de mesurer l'énergie libérée par la rupture.

**Moment (des séismes) :** Mesure de taille des tremblements de terre basée sur la zone de rupture de la faille, la quantité moyenne du glissement et la force qu'il a fallu pour surmonter la friction qui retenait les roches ensemble, lesquelles ont été affectées par la faille.

**Montée subite de la demande :** L'inflation temporaire des prix et du coût de la main-d'œuvre et l'augmentation du temps et du coût associés à la réparation et la reconstruction des biens endommagés à la suite d'une catastrophe.

**Mouvement du sol :** Secousses causées par un tremblement de terre.

**Ondes sismiques :** Les ondes sismiques sont les vibrations générées par des mouvements brusques du roc et elles résultent d'un tremblement de terre.

**Périodicité :** (1) Une façon d'exprimer la probabilité qu'un sinistre se produira tous les ans à un moment donné. Une périodicité de 100 ans, par exemple, qui peut aussi être exprimée comme une probabilité de dépassement de 1,0 %, signifie qu'il y a une chance de 1,0 % que le sinistre se produira pendant une année donnée. (2) La période moyenne entre les occurrences d'un tremblement de terre sur une faille ou dans une zone source.

**Périodicité des sinistres :** Mesure statistique typiquement fondée sur des données historiques dénotant l'intervalle de récurrence moyen pour un sinistre d'un montant donné et qui est habituellement utilisée à des fins d'analyse de risque.

**Perte :** Le montant associé à une réclamation.

**Probabiliste :** Une notion statistique qui s'applique aux processus qui ont des caractéristiques basées sur la probabilité.

**Probabilité de dépassement :** Une façon d'exprimer la probabilité qu'il y aura une perte donnée ou qu'il y aura dépassement de la perte au cours d'une période donnée. Une probabilité de dépassement annuelle de 1,0 % signifie qu'il y a une chance de 1,0 % que la perte survienne ou qu'elle soit plus élevée au cours d'une année donnée; une perte qui comporte une telle probabilité de dépassement annuelle présente un intervalle de récurrence de 100 ans. Voir aussi Courbe de probabilité de dépassement.

**Ratio des dommages :** Le ratio de ce qu'il en coûte pour réparer un immeuble à ce qu'il en coûte pour le remplacer.

**Risque :** La cause d'un sinistre éventuel. Exemples : tremblement de terre, inondation, ouragan et tsunami.

**Sismicité :** Distribution géographique des séismes en fonction du temps.

**Sismique :** Relié aux tremblements de terre.

**Stochastique :** Une notion statistique qui s'applique aux processus qui ont des caractéristiques aléatoires.

**Subduction** : Processus intervenant lors de la convergence entre deux plaques de la croûte terrestre.

**Tectonique** : Processus de déformation de la roche et les structures qui en résultent sur de grandes sections de la croûte terrestre et du manteau supérieur de la terre. Les plaques tectoniques sont de grandes plaques relativement rigides qui forment la surface externe de la terre et dont les mouvements respectifs causent des tremblements de terre.

**Tsunami** : Les tsunamis sont d'immenses vagues causées par le déplacement d'un grand volume d'eau d'un océan ou d'un lac. Le mot signifie « vague du port » en japonais.

**Valeur de remplacement** : La valeur d'un bien déterminée selon l'estimation de ce qu'il en coûtera pour le remplacer.

# 11 Annexe—Collaboration

## 11.1 Notes biographiques des partenaires :

AIR tient à exprimer sa reconnaissance aux personnes suivantes pour leur précieuse collaboration. Les rapports produits par nos partenaires pour résumer le travail effectué sont en annexe.

### *Robert McCaffrey, Ph.D.*

Professeur de recherche au département de géologie de l'Université Portland State, M. McCaffrey applique son expertise à l'étude des processus de déformation de la croûte terrestre. Plus précisément, il utilise le GPS (Global Positioning System), les statistiques sur les séismes et les failles actives pour explorer les caractéristiques de la déformation des principales plaques tectoniques de la terre, des zones de subduction et des marges des plaques.

M McCaffrey est un chef de file dans le domaine des déformations de la croûte terrestre dans la région du Pacifique Nord-Ouest, des zones de subduction Cascadia et de l'île de Sumatra, en Indonésie. Depuis 1996, il étudie la cinématique de la déformation de la marge de plaque de l'ouest de l'Amérique du Nord.

Son travail sur la déformation de la zone de subduction Cascadia et la croûte terrestre peu profonde dans l'ouest des États-Unis et du Canada sera intégré dans le modèle des risques sismiques de la carte nationale des risques sismiques aux États-Unis dont la mise à jour sera prochainement diffusée. En tant que partenaire dans la présente étude, M. McCaffrey fournit à la société AIR divers types de données GPS sur les failles actives de même que la configuration des modèles pour les blocs et les contraintes crustaux. En outre, il participe à la mise au point d'un arbre logique qui permet à la société AIR de capturer les sources principales d'incertitude dans l'interprétation des données GPS pour l'ouest du Canada.

Grâce à sa participation à cette étude, M. McCaffrey aide la société AIR à s'assurer que la variation spatiale des coefficients de couplage pour la zone de subduction Cascadia, ainsi que pour d'autres sources sismiques dans l'ouest du Canada, est intégrée correctement dans le modèle. Il est l'auteur ou le coauteur de 85 articles scientifiques dont 10 qui traitent de la déformation crustale propre à la région du Pacifique Nord-Ouest.

**Oh-Sung Kwon, Ph.D.**

Professeur au département du génie civil à l'Université de Toronto, M. Kwon effectue des recherches dans le domaine du génie sismique depuis douze ans. Il s'intéresse surtout à la performance sismique et à l'évaluation de la fragilité de structures civiles à l'aide de méthodes numériques et expérimentales.

Il a élaboré des courbes de fragilité sismique d'une structure en béton armé non parasismique et d'un pont typique du Midwest américain. Il a également effectué une étude approfondie des méthodes hybrides (numérique et expérimentale) de simulation dans laquelle une partie d'une structure peut être représentée de façon expérimentale et le reste modélisé de façon numérique. Dans cette méthode, les substructures sont analysées ou testées interagissant concurremment l'une avec l'autre par l'intermédiaire d'un réseau.

La méthode de simulation peut également tirer parti des forces de chacune des simulations expérimentale et numérique ce qui permet une évaluation plus efficace de la performance sismique des structures. Au moyen de la méthode de simulation, il étudie actuellement la fragilité sismique des structures d'acier munies d'un système autocentré de contreventement à dissipation d'énergie.

Il a participé à des missions sur le terrain après l'ouragan Katrina en 2005, le tremblement de terre au Pérou en 2007 et le tremblement de terre au Chili en 2010. Il est coauteur de rapports et d'articles scientifiques sur la fragilité des structures civiles face à des catastrophes naturelles.

Le professeur Kwon est un secrétaire du Performance Based Design of Structures Committee de l'ASCE; il siège au 341 Performance Based Design of Bridges Committee de l'ACI; et il est membre associé de l'ACI 374 Performance Based Seismic Design of Concrete Buildings. Il a également siégé au Requirement Analysis and Assessment Subcommittee du Network for Earthquake Engineering Simulation (NEES).

**Dan Wei, Ph.D., professeure en recherches adjointe, Université du Sud de la Californie**

M<sup>me</sup> Wei est professeure en recherches adjointe à la Price School of Public Policy de l'Université du Sud de la Californie (USC). Elle reçut son doctorat en géographie de l'University Penn State et elle mène des recherches dans les domaines de la politique environnementale, l'analyse des incidences économiques et l'économie des risques d'origine naturelle et le terrorisme.

Elle a fait l'analyse des incidences macroéconomiques des plans d'action de plusieurs états en matière du climat et a dirigé l'analyse de l'échange de droits d'émission et/ou taxe sur le carbone pour plusieurs états et régions aux États-Unis. Elle est également coauteur d'une étude sur les incidences de la fermeture d'un important port aux États-Unis pour la garde côtière, l'élaboration d'une capacité d'effectuer des analyses rapides de l'impact d'une catastrophe pour Cal EMA, et les incidences économiques des USGS ShakeOut Earthquake Scenario et SAFRR Tsunami Scenario.



Ses recherches ont été publiées dans des revues spécialisées, par exemple, *The Energy Journal*, *Environment and Planning A*, *Earthquake Spectra*, *International Regional Science Review*, *Climate Policy*, *Energy Policy*, *Regional Science Policy and Practice*, *Contemporary Economic Policy*, et *Economic Systems Research*.

**Adam Rose, Ph.D.**

Adam Rose est professeur de recherche à la USC Sol Price School of Public Policy, et coordonnateur du département d'économie au Center for Risk and Economic Analysis of Terrorism Events (CREATE) de l'USC.

La majeure partie de ses recherches porte sur les aspects économiques des risques d'origine naturelle et humaine. Il a récemment siégé à un panel du conseil national de recherches sur la résilience sismique et il a été cochercheur principal dans le cadre d'une étude parrainée par le ministère américain de la sécurité intérieure sur les synergies et les choix à faire en matière de sécurité urbaine et de commerce.

M. Rose était auparavant le chercheur principal pour le rapport présenté par le Multi-Hazard Mitigation Council au Congrès américain sur les avantages nets des octrois FEMA liés à l'atténuation des risques; il a également coordonné huit études pour parvenir à une estimation définitive des conséquences économiques des attentats du 11 septembre 2011.

L'une des priorités de ses recherches porte sur la récupération des entreprises, du marché et de l'économie régionale à la suite de catastrophes naturelles et d'actes de terrorisme.

**Michael L. Lahr, Ph.D., professeur de recherches associé, Université Rutgers**

M. Lahr est directeur associé des services de conseil économique de Rutgers (R/ECON™). En tant que professeur de recherches associé en planification et politiques publiques à l'Université Rutgers, il enseigne l'économie urbaine et l'application de techniques économétriques avancées.

M. Lahr a supervisé les recherches R/ECON™ sur divers enjeux relevant de politiques publiques dans les domaines de l'habitation, du développement économique, de l'évaluation de programmes et d'analyses de l'impact économique.

Il a publié plus de 30 articles dans des revues spécialisées et édité des ouvrages sur la modélisation économique; l'économie du développement; le côté économique de divers problèmes touchant la planification et la fiscalité; les incidences économiques des catastrophes; et la mobilité des familles pauvres.

En plus d'être le co-rédacteur de la Review of Regional Studies, M. Lahr est membre des comités de rédaction des publications Journal of Regional Science, Economic Systems Research et Papers in Regional Science. Il a co-édité trois livres et deux numéros spéciaux d'une revue spécialisée.

Il est actuellement président de la Southern Regional Science Association, vice-président de la International Input-Output Association, trésorier de l'association Benjamin H. Stevens Graduate Fellowship of the North American Regional Science Council, et membre de la Bordentown City Environmental Commission et du Bordentown City Planning Board.

## 12 Annexe—Rapports d'évaluation des pairs

### 12.1 Notes biographiques des examinateurs :

AIR tient à remercier les personnes suivantes pour leur précieuse collaboration pour leur revue des diverses composantes du modèle AIR.

#### *Keisuke Himoto, Ph.D.*

M. Keisuke Himoto est membre de la faculté de l'Université Kyoto. Il a reçu son doctorat en génie architectural de l'Université de Kyoto et il est un expert dans le domaine de la gestion et de la prévention des catastrophes.

M. Himoto a élaboré un modèle de propagation des incendies basé sur la physique pour estimer les dommages potentiels d'incendies post-sismiques. Il a été l'un des organisateurs de « Urban and Wildland-Urban Interface (WUI) Fires: A Workshop to Explore Future Japan/USA Research Collaborations » (2011) parrainé par le National Institute of Standards and Technology (NIST). Il a également évalué les dommages causés par des catastrophes naturelles, notamment le séisme de Niigaken Chuetsu-oki (2007) et celui du Tōhoku (2011).

Les intérêts de recherche de M. Himoto comprennent la modélisation basée sur la physique de grands incendies extérieurs et de la planification urbaine visant à atténuer les catastrophes.

#### *Stéphane Mazzotti, Ph.D.*

M. Stéphane Mazzotti, professeur rattaché au département de géosciences de l'Université de Montpellier, en France, se spécialise dans la géodynamique, les risques sismiques et les processus tectoniques le long des marges actives et en milieu intra-plaque à l'aide de données GPS, sismiques et géophysiques.

Son travail a permis d'améliorer l'analyse du risque sismique dans des régions comme la zone de subduction Cascadia, la marge de la faille transformante de la Reine-Charlotte et le système de collision Yakutat-cordillère du Nord du Canada. Avant de se joindre à l'Université de Montpellier, M. Mazzotti a travaillé pendant huit ans en tant que sismologue pour la Commission géologique du Canada.

**Marie-José Nollet, Ing. Ph.D.**

M<sup>me</sup> Nollet est professeure spécialisée dans les structures au département de génie de l'École de technologie supérieure de Montréal, Québec, Canada.

Elle a effectué des recherches sur la vulnérabilité sismique de structures et sur le développement d'outils d'évaluation de la vulnérabilité sismique pour la ville de Québec, le Ministère des transports du Québec et le Ministère de l'éducation du Québec. Son travail comprend également l'élaboration de courbes de fragilité pour les édifices, particulièrement ceux en maçonnerie, à des fins d'études d'évaluation des risques.

Elle collabore actuellement avec la Commission géologique du Canada à un projet sur l'évaluation des risques. Elle fait partie de l'équipe de développement et recherche en structures et réhabilitation (DRSR) à l'ÉTS et du Centre d'étude interuniversitaire des structures sous charges extrêmes (CEISCE). En outre, elle participe au projet stratégique « Fonctionnalité après-séismes d'écoles et d'hôpitaux dans l'est du Canada ».

Elle est l'auteur de plus de 40 articles et 15 rapports d'expertise. Elle a reçu son baccalauréat en génie civil de l'Université Laval (Québec, Canada) et son doctorat en génie structural de l'Université McGill (Montréal, Canada).

**Geoff Thomas, Ph.D.**

M. Geoff Thomas est membre de la faculté de l'École d'architecture de l'Université Victoria de Wellington (Nouvelle-Zélande).

Ses recherches portent sur divers aspects des incendies suite à un tremblement de terre, notamment l'étude des conséquences d'incendies résultant d'un séisme, l'évaluation de la résistance au feu de structures en bois et le comportement des composants d'un bâtiment soumis au feu.

Il est l'auteur et le coauteur de nombreux articles sur la sécurité incendie, le comportement du feu dans des immeubles et les incendies suite à un tremblement de terre. Il a également fait de nombreux exposés à ce sujet lors de conférences internationales.

M. Thomas, en collaboration avec des chercheurs de l'Institut des Sciences géologiques et nucléaires, a élaboré un modèle axé sur les automates cellulaires relativement pour les incendies en conséquence d'un séisme qui est à la base de la nouvelle approche de la société AIR pour la modélisation des incendies résultant d'un tremblement de terre.

## ***Rapport sur le Modèle AIR des incendies post-sismiques au Canada***

**Keisuke HIMOTO, Dr.Eng.**

Ce rapport d'évaluation porte sur le nouveau « Modèle AIR des incendies post-sismiques au Canada », un outil d'évaluation et de gestion des risques destiné aux assureurs, réassureurs et autres partis qui sera diffusé en 2013. Ce rapport d'évaluation est basé sur l'atelier d'évaluation des pairs qui a eu lieu le 27 août 2012 et un rapport sur la mise à jour du modèle produit le 19 décembre 2012.

### **1. Bref résumé du modèle**

Le modèle divise le territoire urbain en quadrilatères qui représentent les caractéristiques de la variabilité du feu. Les fonctions zones de feu pour les quadrilatères caractéristiques respectifs sont obtenues au moyen d'une simulation de propagation des incendies basée sur les automates cellulaires. Les traces laissées par le feu dans les quadrilatères sont étendues sur des plus grandes superficies pour estimer la propagation de l'incendie entre les quadrilatères. Ce modèle vise à estimer les pertes éventuelles liées aux incendies post-sismiques dans le cadre d'une simulation d'activité sismique s'échelonnant sur une période de 10 000 à 100 000 ans; il utilise la base de données d'exposition au risque de l'industrie pour estimer les probabilités annuelles de pertes liées aux incendies en excédent de certains niveaux.

#### **a. Sources des données**

Le modèle utilise des données à l'échelle du pays sur l'utilisation des terres, la configuration et la distribution des bâtiments, la vitesse et la direction du vent, la suppression des incendies, y compris l'emplacement et le nombre de camions à incendie et le mouvement du sol. L'exigence relative aux données est stricte; elles doivent couvrir l'ensemble du pays afin qu'une évaluation des risques puisse se faire au moyen d'une seule échelle de risque. De ce point de vue, les sources de données employées dans ce modèle sont parmi les quelques sources de données qui satisfont à cette exigence pour le moment.

#### **b. Quadrilatère caractéristique**

Le modèle introduit le concept de « quadrilatère caractéristique » représentant les caractéristiques de la variabilité du feu. Les fonctions zones de feu obtenues pour les quadrilatères caractéristiques respectifs permettent d'estimer la propagation du feu entre les quadrilatères.



En se servant des données sur la séparation, la taille, la hauteur, la combustibilité et le type d'usage des bâtiments, les quadrilatères sont classifiés en 20 quadrilatères caractéristiques pour le Canada. Les quadrilatères caractéristiques incluent les immeubles résidentiels, commerciaux et d'appartements ainsi que les immeubles à usage mixte.

### **c. Allumage**

Le taux d'incendie doit être soigneusement modélisé puisqu'il constitue un paramètre critique dans l'évaluation du risque. Le modèle d'allumage de Scawthorn (2009) est utilisé. Le modèle prédit le nombre d'allumages comme fonction de l'accélération maximale du sol, qui est calculée au moyen d'une équation du mouvement du sol et de l'amplification du site local.

### **d. Ampleur de la propagation des incendies dans les quadrilatères**

Les fonctions zones de feu pour les quadrilatères caractéristiques respectifs sont obtenues au moyen d'une simulation de propagation du feu basée sur les automates cellulaires. La modélisation des automates cellulaires est une approche commune pour la simulation de la propagation des incendies dans une zone urbaine. Dans ce modèle des automates cellulaires, un quadrilatère est divisé en cellules de 3 m par 3 m auxquelles sont assignées des propriétés de combustion basées sur les structures représentées. L'évolution des incendies à l'intérieur d'une cellule et la propagation des incendies d'une cellule à une autre sont modélisées surtout en fonction du travail effectué par Thomas, Heron et Cousins. Il est entendu que le résultat de la simulation de la propagation des incendies devrait changer vu les hypothèses adoptées pour le modèle, notamment celles portant sur le taux de croissance d'un incendie à l'intérieur d'un immeuble ou sur la probabilité de propagation d'un immeuble à d'autres immeubles. Les paramètres du modèle sont déterminés de façon empirique tout en tenant compte des caractéristiques en matière de protection contre les incendies des villes canadiennes. Quant à la validation du nouveau modèle, il y a simulation du taux de propagation des incendies dans une hypothétique zone urbaine. Le résultat est comparé au résultat des modèles existants de la propagation des incendies et une correspondance raisonnable est obtenue.

### **e. Propagation du feu par région**

Des quadrilatères caractéristiques sont répartis au hasard dans des cellules de 1 km sur 1 km selon les données sur l'utilisation des terres et l'occupation. Chaque cellule renferme 25 quadrilatères pour le Canada. On estime la probabilité que le feu se propage de quadrilatère à quadrilatère en utilisant une courbe de probabilité élaborée à l'origine par Scawthorn avec un ajustement à la probabilité de croisement « vent faible aucune suppression » selon les recherches touchant les débris incendiés (branding). Avec cette courbe de probabilité, qu'il y ait ou non propagation des incendies dépendra de la vitesse du vent, de la direction du vent, de la suppression et de la largeur du coupe-feu. Il est raisonnable de diviser la zone urbaine cible en un nombre de quadrilatères pour mettre en cause la variabilité des caractéristiques dans une estimation du risque d'incendies.

## f. Suppression

Le modèle emploie des données sur l'emplacement et le nombre de camions à incendie pour l'ensemble du pays. Le temps de découvrir le feu et de le signaler, les camions à incendie du poste le plus proche se dirigent vers l'incendie. L'efficacité de suppression des incendies dépend de deux facteurs, notamment le nombre de camions à incendie et le débit d'eau. Les fonctions de dommages de pipelines enfouies dans le sol selon la vitesse maximale du sol et les glissements permanents de terrains sont utilisés pour estimer la quantité d'eau disponible sur les lieux de l'incendie. L'efficacité de suppression des incendies dépend également de l'ampleur de la conflagration à l'arrivée des camions à incendie. Le schéma du modèle de suppression est bien organisé. L'efficacité de suppression des incendies est modélisée de façon logique en tenant compte de la phase de combustion et de la disponibilité de l'eau, lesquelles changent avec le temps.

### 2. Points forts du modèle

Le modèle permet d'estimer le risque de propagation des incendies après le séisme pour l'ensemble du Canada au moyen d'une seule échelle de risque. Les tâches essentielles à cet égard ont été comme suit : (1) maintenir la fiabilité du modèle et minimiser la charge de calcul afin de pouvoir faire le calcul pour l'ensemble du pays; et (2) obtenir des données normalisées à l'échelle du pays pour une évaluation impartiale. Pour ce qui est du point (1), le modèle se sert d'un nombre gérable de « quadrilatères caractéristiques » pour représenter les caractéristiques du feu à l'échelle des quadrilatères de la zone urbaine cible. Au lieu d'estimer les risques liés à des immeubles individuels et de les transformer en risques réels, le modèle utilise les fonctions zones de feu des « quadrilatères caractéristiques » pour modéliser la dévastation par le feu des quadrilatères où l'ignition primaire est causée par le tremblement de terre, et d'autres quadrilatères où le feu s'est propagé; il est ainsi possible d'estimer le risque d'incendies après le tremblement de terre pour toute la région touchée par le séisme. Pour ce qui est du point (2), le modèle utilise des données à l'échelle du pays sur l'utilisation des terres, la configuration et la distribution des bâtiments, la vitesse et la direction du vent, la suppression des incendies, y compris l'emplacement et le nombre de camions à incendie. Ces éléments sont intégrés et transformés en éléments essentiels de l'évaluation des risques.

De plus, le modèle permet d'effectuer une évaluation intégrée des risques d'incendies suite à un tremblement de terre en tirant tous les avantages des connaissances et des compétences que la société AIR a accumulées sur les risques sismiques et la modélisation des vulnérabilités. Cela comprend l'utilisation du catalogue stochastique de 10 000 à 100 000 ans pour évaluer le mouvement sismique, modéliser les dégâts des canalisations d'alimentation d'eau suite au mouvement et à la déformation du sol, etc. Ce sont des éléments essentiels pour une estimation fiable des dommages causés par l'allumage et des dommages structuraux des zones urbaines, mais, par le passé, ils n'entraient généralement pas en ligne de compte dans les évaluations des risques d'incendie.

### 3. Applicabilité du modèle aux villes canadiennes

Le modèle vise à estimer le risque d'incendies suite à un séisme pour l'ensemble du pays. Le nouveau modèle présente le concept du « quadrilatère caractéristique » pour maintenir la charge de calcul au niveau gérable tout en tirant pleinement parti des données normalisées pour l'ensemble du pays. Comme un tremblement de terre ne se produit que rarement au Canada, le nouveau modèle a été validé au moyen des données sur des incendies suite à des séismes survenus dans des pays autres que le Canada. Toutefois, les paramètres du modèle ont été ajustés afin de représenter correctement les caractéristiques en matière de sécurité-incendie propres aux villes canadiennes. Par conséquent, il est considéré que le nouveau modèle est l'un des modèles le mieux adapté à l'évaluation du risque d'incendies suite à un tremblement de terre dans les villes canadiennes.

Keisuke HIMOTO, Dr.Eng.

**Revue du « modèle AIR des risques sismiques au Canada »**

**Stéphane Mazzotti, professeur de géodésie et de géophysique**

Université Montpellier 2, France

Cette revue renferme des commentaires, des questions et des notes sur l'aperçu du modèle AIR des séismes au Canada produit par le groupe AIR Worldwide. Les commentaires et questions sont présentés dans l'ordre de leur apparence dans le rapport et les numéros de page sont indiqués. Certains points sont mineurs et ont trait à la forme des documents tandis que quelques-uns sont plus importants et ont trait au noyau du modèle.

Par ailleurs, les documents fournis (aperçu et annexe) offrent un rapport très clair, bien expliqué et bien documenté du modèle AIR des risques sismiques au Canada. Des efforts considérables ont été déployés pour intégrer dans le modèle les plus récentes notions scientifiques. Ces évolutions récentes sont bien documentées et examinées à la lumière de leur impact et de leur importance (par ex. intégration des données géodésiques). Le modèle des risques sismiques est basé sur les plus récents progrès de la science et du savoir pour la région visée, y compris des données inédites.

**Stéphane Mazzotti, professeur de géodésie et de géophysique**

Université Montpellier 2, France

Montpellier, le dimanche 10 février 2013

### ***Revue du modèle AIR de vulnérabilité aux séismes au Canada***

Marie-José Nollet, Professeure, département de génie de la construction

École de technologie supérieure, Montréal (QC) Canada

Cette revue renferme des commentaires, des questions et des notes au sujet de l'aperçu de la composante vulnérabilité du modèle AIR des séismes au Canada produit par le groupe AIR Worldwide.

Ce document résume les hypothèses et l'approche retenues dans le module de vulnérabilité produit par la société AIR pour calculer les dommages causés par les secousses dans les bâtiments. Il fait état du cadre d'évaluation de la vulnérabilité dans le modèle et décrit comment le modèle saisit bien les variations temporelle et spatiale de la vulnérabilité. Le document traite également des fonctions qui engendrent la vulnérabilité (dommages) et présente le processus de validation, notamment les résultats préliminaires pour les événements historiques.

Le document a été envoyé à l'examineur en janvier 2013 et un atelier de deux heures a eu lieu le 8 février 2013 durant lequel la société AIR a présenté le modèle et l'examineur a fait part de ses commentaires initiaux sur la méthodologie et l'approche.

Sur réception des commentaires écrits, la société AIR a répondu aux questions et intégré les commentaires au modèle. La plupart des commentaires portaient sur la définition des classes de bâtiments employée dans le modèle (comparativement à celle employée pour le parc immobilier canadien) et sur les « groupes d'âges » utilisés dans le modèle pour distinguer la vulnérabilité d'immeubles de différentes époques. En particulier, il a été signalé que le code du bâtiment adopté par la province de Québec n'est pas le Code national du bâtiment du Canada. En outre, des commentaires ont été faits sur la validation du module d'estimation des dommages dans lequel les fonctions de dommages AIR sont comparées à des fonctions de dommages d'experts des États-Unis et du Canada.

Un document révisé pour répondre aux commentaires de l'examineur a été soumis et le rapport définitif de l'examineur a été reçu en avril 2013. En général, l'examineur a approuvé l'approche de modélisation et les hypothèses et il était en accord avec les réponses fournies par la société AIR. D'autres recommandations ont été faites au sujet des classes de bâtiments et de la construction dans certaines parties de la Colombie-Britannique et du Québec. Le rapport complet est présenté séparément.



## ***Rapport sur le modèle AIR des incendies suite à un séisme au Canada***

par

Geoff Thomas, B.E. (Hons), M.E., PhD, MSFPE, C.P.Eng, Int.PE (NZ) École d'architecture

Victoria, Université de Wellington

Wellington, Nouvelle-Zélande

Version C, 31 janvier 2013

### **Résumé du modèle**

Ce modèle vise à fournir une estimation des pertes potentielles à l'échelle du pays qui pourraient être attribuées à des incendies suite à un tremblement de terre. Une approche par les automates cellulaires est employée qui est surtout fondée sur le travail effectué par Cousins et coll. (2002), Thomas et coll. (2012), Himoto et Tanaka (2010) et Zhao et coll. (2006 & 2011) avec des données d'entrée d'HAZUS et de Scawthorn (2009). Les données géospatiales et autres proviennent de ce qui semble être les meilleures sources de données au Canada.

Les paramètres touchant la propagation de l'incendie sont basés sur la physique et l'ouvrage susmentionné. Comme il s'agit d'un modèle de perte totale, les délais entourant la propagation des incendies ne sont pas significatifs, si ce n'est que la considération des délais touchant le commencement des démarches pour supprimer les incendies.

Le modèle est basé sur des quadrilatères typiques de différents genres qui sont représentatifs d'une gamme de configurations et de plans de bâtiments. Ceux-ci sont regroupés selon les données sur l'utilisation des terres pour former des cellules qui représentent une partie du modèle. La propagation de l'incendie est calculée à l'intérieur du quadrilatère au moyen d'automates cellulaires et la propagation de l'incendie vers d'autres quadrilatères est évaluée selon la vitesse et la direction du vent et la largeur du coupe-feu.

La suppression des incendies est modélisée selon les délais des avis, la vitesse de déplacement pour se rendre sur les lieux de l'incendie, la disponibilité des ressources de lutte contre l'incendie et la disponibilité de l'eau.

### **Revue du modèle**

La revue du modèle est basée sur le rapport « Overview of the AIR Fire Following Models for Japan and Canada » (Air Worldwide 2012a), un exposé PowerPoint présenté le 28 août 2012 par Erik Olson, Ken Lum et Anna Morgante de la société AIR Worldwide, et le rapport « Updates to the Air Fire Following Model for Japan and Canada » (AIR Worldwide 2012b).

## Concept du modèle

Un modèle plus exhaustif est hautement souhaitable. Les modèles antérieurs étaient basés sur les équations d'Hamada, lesquelles incluent très peu de variables et sont fondées sur des données japonaises historiques; il est donc moins probable que les modèles soient appropriés pour d'autres pays et dans une moindre mesure pour le Japon moderne.

Un modèle à plus haute résolution est également souhaitable. La vitesse élevée du modèle est fort avantageuse puisqu'elle permet de multiples simulations et des analyses de sensibilité.

Le modèle prédit un ratio de dommages pour les incendies, qui devrait être modifié compte tenu des pertes découlant de plusieurs risques dans le cadre d'un modèle global.

## Sources des données

### Données sur l'utilisation des terres

Comme je ne connais pas la disponibilité des données sur l'utilisation des terres au Canada, il m'est difficile de faire des observations sauf que d'affirmer que l'on doit utiliser ce qui est disponible et que les données utilisées semblent être les meilleures qui soient raisonnablement disponibles.

### Configuration des bâtiments et données de distribution

Encore une fois, comme je ne connais pas la disponibilité des données sur les bâtiments au Canada, il m'est difficile de faire des observations sauf que d'affirmer que l'on doit utiliser ce qui est disponible et que les données utilisées semblent être les meilleures qui soient raisonnablement disponibles.

### Quadrilatères caractéristiques

Cette approche est une bonne façon de caractériser le milieu bâti sans devoir identifier et décrire tous les bâtiments du pays, ce qui, évidemment n'est pas faisable. D'ailleurs, cette approche est plus réaliste que de supposer des édifices de taille et d'espacement ordinaires.

### Répartition des quadrilatères

Encore là, vu l'impossibilité de répertorier tous les édifices d'un pays et d'en faire la saisie dans le modèle, cette approche est une bonne façon de caractériser les édifices dans une région.

La corrélation entre les surfaces de plancher observées et calculées à l'application de la répartition des quadrilatères n'est pas parfaite, mais je ne crois pas qu'une bien meilleure comparaison puisse être effectuée sans répertorier un grand nombre des édifices au pays.

### **Données sur la vitesse et la direction du vent**

Le modèle comprend un ajustement de la distribution de la vitesse du vent au niveau plus élevé comparativement à la distribution mieux ajustée de Weibull pour les données enregistrées, ce qui permet de tenir compte du fait que le vent peut dépasser la vitesse de 35 km/h; toutefois, des vents aussi élevés n'ont peut-être pas été adéquatement inclus dans les données sur le vent (1991-2010) utilisées pour le modèle.

Le modèle ne tient pas compte des effets topographiques et locaux du vent. Évidemment, pour un modèle de cette envergure, il n'est pas possible de caractériser tous ces éléments. Néanmoins, des vitesses de vent localisées plus élevées ainsi qu'un changement de direction et de vitesse du vent contribueront probablement à l'intensification de la propagation du feu. D'ailleurs, il est moins probable qu'il y ait réduction de la propagation du feu dans des zones localisées protégées par la topographie où les vents sont moins élevés.

### **Données sur la suppression des incendies y compris l'emplacement et le nombre de camions à incendie**

Notre modélisation (Cousins et coll. 2002, Thomas et coll. 2012) ne tenait pas compte du facteur extinction vu la faible densité de la population et la distance entre les centres principaux en Nouvelle-Zélande et parce qu'il était attendu que Wellington, là où se trouvait notre étude de cas, ne serait pas accessible par voie terrestre après un séisme; c'est donc pourquoi l'extinction des incendies n'a pas fait l'objet d'une étude approfondie. Toutefois, pour ce qui est de l'approvisionnement en eau, des sources informelles comme les eaux de surface ont été prises en compte.

L'emplacement des stations d'incendie au Canada a été présumé en fonction de la population lorsque les données étaient incomplètes.

### **Mouvements du sol attribuables à des séismes**

Ne relève pas de mon domaine d'expertise.

### **Calcul du taux d'incendie et délais**

Ce sont les meilleures données qui soient disponibles et en limitant la dérivation de l'équation aux données cumulées depuis 1974 a permis de limiter, dans une certaine mesure, l'effet de la tendance de diminution des taux d'incendies dans le temps. Lors des premiers séismes comme celui à San Francisco en 1906 et à Kanto en 1923, les sources d'allumage potentielles, comme des feux ouverts, du bois, des poêles à charbon et l'éclairage au gaz, étaient plus communes.

De plus, les appareils et systèmes électriques, entre autres, se sont beaucoup améliorés au fur et à mesure de l'évolution des sociétés. De nombreux facteurs contribuent à la réduction du nombre d'incendies depuis 1974, notamment l'utilisation de dispositifs comme les robinets d'arrêt sur la tuyauterie de gaz et une meilleure formation des opérateurs des services publics qui prévoient un certain temps avant de rétablir le service. Il est vraisemblable qu'il y aura moins d'incendies lors de séismes futurs que par le passé, mais il n'y a pas suffisamment de données pour établir l'importance d'une telle tendance. D'ailleurs, si nous ne comptons que sur les très récents séismes, les données pour établir une équation de ce type sont fort limitées.

Il est attendu que cette tendance à la baisse suivra, dans une certaine mesure, la réduction du nombre d'incendies dans les conditions générales au fil du temps.

L'équation Scawthorn est basée sur les données de la Californie. Les taux d'incendies sont fortement affectés par la présence ou l'absence de réseaux de distribution de gaz et 29 % des incendies suite au séisme de Kobe avaient été causés par le gaz (Hokugo 2002). Une réduction de 30 % du nombre d'incendies peut être appropriée dans les secteurs sans réseaux de distribution du gaz, mais la réduction peut être moindre là où les appareils à gaz portables sont répandus.

Le modèle présume que le taux de combustion augmente à un taux approchant l'accélération maximale du sol ou peak ground acceleration (PGA) au carré comparativement au PGA, ci-dessus un PGA d'environ 0,7g. Il y a très peu de données provenant de PGA plus élevés et bien qu'un seul séisme, soit celui du Tōhoku, ait enregistré des PGA très élevés, il y avait relativement moins d'allumages. Avec des PGA élevés, il est probable que la plupart des immeubles ont été endommagés dans une certaine mesure et que des incendies aient été causés par des circuits électriques, de la tuyauterie et des appareils endommagés.

Lorsque le PGA augmente, il se peut qu'il y ait très peu de différence dans le taux d'allumage car la plupart des incendies qui pourraient se produire se sont déjà produits au PGA moins élevé. Il est difficile de justifier l'extrapolation du taux d'allumage au-delà d'un PGA de 0,8g en se basant sur des données pour des PGA de moins de 0,8g et il faut supposer un degré de variation élevé dans les taux d'allumage au-dessus d'un PGA de 0,7g.

### **Distribution temporelle**

Ces conclusions semblent raisonnables et elles sont basées sur les meilleures données disponibles. Toutefois, si l'on tient compte du fait que les opérateurs des services publics sont conscients des dangers de rétablir l'approvisionnement énergétique trop vite, il est probable que des incendies puissent se manifester plus tard au rétablissement de l'approvisionnement énergétique.

### **Propagation du feu**

L'utilisation de quadrilatères caractéristiques est beaucoup plus réaliste que celle d'immeubles de la même taille et espacés uniformément.

Les cellules pour la propagation du feu dans l'étude Thomas et coll. (2012) étaient fondées sur des radiateurs d'une hauteur de 4,5 m, un immeuble d'un étage et une certaine projection de flammes. Dans le cas d'un immeuble où il y a un incendie sur deux étages ou plus, il est plus vraisemblable que le feu se propagera, mais l'augmentation du facteur de vue est moins que linéaire, surtout pour les émetteurs larges.

Il est extrêmement difficile de prévoir s'il y aura des débris incendiés (branding) et la définition que nous employons diffère de celle utilisée en Amérique du Nord. Nous avons traité différemment les incendies causés par des étincelles ou une ignition amorcée. Nous avons considéré que les débris incendiés (brands) pouvaient soutenir la combustion et enflammer d'autres matériaux sans rayonnement incident. Il y a un continuum de taille entre les étincelles à très faible énergie qui nécessitent un rayonnement incident d'au moins 12,5 kW/m<sup>2</sup> pour enflammer d'autres matériaux et celles qui peuvent enflammer d'autres matériaux sans rayonnement incident. Il y a également la possibilité de pluies d'étincelles, comme décrites par Manzello et al (2006, 2008a, et 2008b) qui ne peuvent pas enflammer un substrat individuellement mais qui peuvent le faire en groupe. Manzello décrit ces étincelles comme des « brands ».

Les valeurs utilisées pour les débris incendiés (branding) sont raisonnables, mais de plus grandes distances de propagation sont possibles.

La distance et la probabilité d'un incendie provenant d'un toit avoisinant ne sont pas bien justifiées, mais il n'y a pas de données qui puissent appuyer des valeurs.

### **Probabilités conditionnelles de la propagation du feu par les fenêtres**

Les probabilités conditionnelles utilisées pour les tailles des fenêtres dans l'étude Thomas et coll. (2012) étaient basées sur le recensement des immeubles dans la ville de Wellington, Nouvelle-Zélande. Le degré d'uniformité est apparent puisque que la plupart des immeubles ont été construits en conformité des exigences du code du bâtiment actuel ou antérieur de la Nouvelle-Zélande relativement à la séparation des immeubles. Il y a continuité dans ces exigences qui étaient à l'origine basées sur les pratiques du Royaume-Uni et qui ont été soumises à certaines influences de l'Amérique du Nord et de l'Australie. Elles étaient traditionnellement basées sur l'expérience en matière de lutte contre la propagation du feu et plus récemment sur le calcul du rayonnement.

Les codes canadiens à cet égard sont similaires à ceux de la Nouvelle-Zélande, mais je m'attendrais à des différences quant aux exigences du code et des pratiques du bâtiment, ce qui fait que la taille et la proportion des fenêtres dans des édifices au Canada sont sans doute différentes. Par conséquent, il en serait de même quant aux probabilités conditionnelles de la propagation du feu en. Ces probabilités ont été en fonction des bâtiments canadiens. Les valeurs données semblent raisonnables, mais je ne peux pas faire de commentaires quant à leur exactitude parce que je n'ai pas vu les données brutes.



### **Toits adjacents**

Il y a très peu d'information sur la probabilité de propagation d'incendies à partir de toits adjacents inférieurs et la valeur de 6 m de l'étude de Thomas et coll. 2012 était basée sur la valeur de 5 m du code du bâtiment de la Nouvelle-Zélande; cette valeur a été portée à 6 m pour tenir compte de la taille de 3 m des cellules. Cette valeur semble être de plus en plus utilisée mais elle n'est pas bien justifiée.

### **Mise en œuvre du modèle d'automates cellulaires**

La méthode de numérotation des cellules a été employée dans nos travaux (Cousins et coll. 2002, Thomas et coll. 2012) parce qu'elle était adaptée aux données que nous avons et elle permettait des simulations rapides. Le calcul direct du rayonnement compte tenu des dimensions réelles de l'émetteur et de la distance cible permet d'obtenir des résultats plus précis. Par contre, pour de tels calculs, il faut connaître la hauteur des bâtiments et il est parfois difficile d'obtenir les données voulues. Si des calculs directs étaient utilisés, le nombre de simulations pouvant être faites pour chaque quadrilatère risque d'être réduit. Par conséquent, la fiabilité générale du modèle pourrait être plus grandement diminuée et les calculs directs du rayonnement ne sauraient compenser cette diminution. Le modèle a été comparé au modèle de Himoto et Tanaka (2009) avec de bons résultats.

### **Intervalle de temps**

La méthode des automates cellulaires est valable pour déterminer la propagation du feu. L'intervalle de temps est critique lorsqu'on tente de modéliser la chronologie des incendies historiques, mais il a très peu d'influence sur les pertes totales, sauf lorsqu'il y a interaction avec un modèle de suppression. L'intervalle de temps de 2,5 minutes utilisé par Cousins et coll. (2002) a été porté à 10 minutes pour modéliser le délai de propagation des incendies lors des séismes Napier et Kobe. Néanmoins, un intervalle de 5 minutes aurait pu mieux convenir (Thomas et coll. 2012). Il peut être plus utile d'augmenter le nombre d'intervalles de temps pour la propagation des incendies de moyens autres que par le contact direct. La réduction de la probabilité de propagation à chaque intervalle de temps aura pour effet de ralentir l'étendue de la propagation du feu. Comme ce modèle a pour objet d'estimer la perte totale, cela est sans conséquence.

Le modèle a été comparé à celui de Himoto et Tanaka (2009) et les résultats ont été raisonnables. Toutefois, une nouvelle validation est recommandée en ce qui concerne les incendies en zones urbaines et d'autres modèles.

### **Propagation au-delà du coupe-feu**

Cela est basé sur la probabilité qu'il y ait propagation au-delà du coupe-feu en tant que fonction de la vitesse et de la direction du vent, de l'efficacité de suppression et de la largeur du coupe-feu, conformément à Scawthorn et coll. (2005) et avec des probabilités réduites du scénario de vent faible sans aucune suppression. Ces données semblent raisonnables et sont les meilleures qui soient disponibles.

Le modèle présume qu'il y a une probabilité de 25 % que le feu se propage par des débris incendiés (branding) sur une distance de 25 m, ce qui est inférieur à la probabilité de 50 % suggérée par Scawthorn et coll. (2005). Anthenien, Tse et Fernandez-Pello (2006) ont trouvé que la propagation par débris incendiés (branding) sur une distance de plus de 25 m dans des conditions de vent faible était peu probable et je suis d'accord avec cette conclusion. Ce modèle suppose une valeur intermédiaire de 25 %.

La détermination de la largeur moyenne du coupe-feu entre les quadrilatères est bonne; la règle voulant que le feu ne peut pas se propager à un quadrilatère déjà en proie à des flammes peut faire en sorte que la propagation soit limitée dans une certaine mesure et dans certaines circonstances. Toutefois, il est peu probable que ce soit de façon importante et cela affectera davantage le taux d'incendie.

En l'absence de données, il est raisonnable de supposer que le temps qu'il faut pour qu'il y ait propagation au-delà du coupe-feu est lié à la propagation à l'intérieur du quadrilatère et que la réduction de la probabilité d'un incendie de 50 % pour les quadrilatères qui ne renferment que des bâtiments incombustibles.

Le modèle suppose que la végétation n'est pas combustible. Cela risque de ne pas être le cas, selon les types de végétation et les conditions météorologiques récentes.

La largeur du coupe-feu peut être réduite, ou le coupe-feu peut être complètement rempli de débris, permettant ainsi à l'incendie de se propager de l'autre côté d'une chaussée. De même, les dommages causés par le séisme aux revêtements d'immeubles peuvent entraîner la propagation de l'incendie entre les immeubles qui auraient autrement des revêtements incombustibles.

## ***Suppression***

### **Découverte et signalement des incendies**

Les délais d'HAZUS pour la découverte et le signalement d'incendies sont les seuls qui soient disponibles et ils semblent raisonnables. Toutefois, la traînée risque d'être très longue et certains incendies peuvent n'être signalés que lorsqu'ils deviennent évidents en raison de leur importance s'ils se propagent.

En plus d'une réduction de la vitesse de déplacement pour les équipements de lutte contre les incendies, il se peut qu'on ne puisse pas parvenir sur les lieux de l'incendie. Cette possibilité est prévue dans le modèle pour le Japon mais pas dans celui pour le Canada. Bien qu'il soit peu probable que ce soit moins problématique pour le Canada que pour le Japon, cela pourrait néanmoins se produire. Les débris dans la rue près d'un site ou les débris qui bloquent les routes pourraient causer une telle situation. Le problème sera plus probable et plus grave en milieu urbain où le tracé des rues comporte un nombre limité de parcours entre les divers secteurs. Dans les villes sur plan en échiquier et à routes multiples menant au même endroit, le problème sera moins grave, mais les véhicules prendront plus de temps à se rendre à leur destination car il leur faudra trouver d'autres parcours.

Il est supposé qu'un petit incendie peut être éteint avec de l'eau transportée dans les pompes à incendie. Toutefois, pour les incendies plus importants, l'efficacité de suppression dépend en partie de la disponibilité de l'eau, tout en tenant compte de la probabilité de ruptures des tuyaux qui n'est pas à négliger. La mesure dans laquelle on peut lutter contre les incendies dépend aussi des camions à incendie qui sont disponibles par rapport à l'importance des incendies. L'approche est simple et une moyenne sera établie pour les variations liées à la suppression d'incendies précis afin de prédire les pertes générales dans de multiples secteurs et de multiples simulations.

### **Forces et faiblesses du modèle**

Vu la situation actuelle sur le plan des connaissances et les données limitées en raison du nombre restreint d'événements permettant la collecte de données, le modèle répond aux attentes. Il présente une nette amélioration sur le modèle antérieur qui employait les équations d'Hamada. Il a un nombre d'hypothèses pour différents scénarios comme il est traité dans les sections antérieures, mais ces hypothèses s'imposent en l'absence de données.

L'emploi de quadrilatères typiques est une bonne façon de modéliser un pays sans avoir à entrer dans les détails, ce qui serait de toute évidence impraticable.

L'utilisation des automates cellulaires et de la numérotation des cellules pour déterminer la propagation à l'intérieur des quadrilatères est une approche plus rudimentaire que le calcul direct du rayonnement, mais elle a l'avantage d'être beaucoup moins coûteuse en ressources informatiques et, selon moi, offre la capacité de produire plus de simulations avec des variables aléatoires et de mener des études de sensibilité plus étendues grâce à un modèle plus performant, ce qui compense largement les calculs moins précis de la propagation des incendies.

Le modèle est aussi un cadre de travail pour les travaux futurs. Différentes parties du modèle pourraient être révisées, notamment la technique de numérotation des cellules pourrait être remplacée par les calculs directs et d'autres modèles de propagation d'incendies au-delà d'un coupe-feu pourraient être adoptés.

Il y a la question d'incertitude entourant les délais. Cela n'a pas d'incidence directe sur l'ampleur des pertes; toutefois, le temps lié à la propagation des incendies, surtout entre les quadrilatères, est critique tout comme l'est la suppression des incendies. Ce dernier élément présente également beaucoup d'incertitude dans la détermination de l'étendue de la propagation des incendies.

Les effets des vents locaux peuvent contribuer à l'ampleur de la propagation des incendies. Il est toutefois difficile de justifier la collecte des données nécessaires et les efforts de modélisation requis pour résoudre la question.

Le modèle ne tient pas compte du fait que les incendies peuvent se propager lorsqu'il y a des débris dans les coupe-feux et que ces derniers ne permettront pas de ralentir ou d'empêcher la propagation des flammes. Il ne prend pas non plus en compte les dégâts aux revêtements incombustibles et une plus grande possibilité que les incendies se propagent. Si l'on ne tient pas compte des effets du vent, de la végétation inflammable, des

débris dans les coupe-feux et des dommages aux revêtements d'immeubles, il en résulte une baisse des pertes prévues. Toutefois, la probabilité voulant que les taux d'incendies suite à un séisme soient plus faibles aura un effet compensateur.

### Conformité aux besoins

En tant que modèle produit pour prédire la gravité des pertes dans une estimation des pertes liées aux incendies post-sismiques pour l'ensemble du pays sur une période de 10 000 à 100 000 années d'événements générés sur le plan stochastique, ce modèle, vu la situation actuelle au chapitre des connaissances et les données limitées qui sont disponibles, répond aux attentes.

Les utilisateurs du modèle doivent savoir que les résultats peuvent varier considérablement, surtout dans le cas de plus petites régions et/ou d'un seul événement.

### Références

- AIR Worldwide 2012a, « Overview of the AIR Fire Following Models for Japan and Canada » AIR Worldwide Corporation, Boston.
- AIR Worldwide 2012b, « Updates to the AIR Fire Following Model for Japan and Canada » AIR Worldwide Corporation, Boston.
- Anthenian, R.A., Tse, S.D. et Fernandez-Pello, A.C., 2006, « On the Trajectories of Embers Initially Elevated or Lofted by Small Scale Ground Fire Plumes in High Winds », *Fire Safety Journal*, 41, 349-363.
- Cousins, J., D. Heron, S. Mazzoni, G. Thomas et D. Lloyd 2002, « Estimating Risks from Fire Following Earthquake », *Institute of Geological and Nuclear Sciences Client Report*, 2002/60.
- Himoto, K. et T. Tanaka 2010, « Physics-based Modeling of Fire Spread in Densely-built Urban Area and its Application to Risk Assessment » *Monografias de la Real Academia de Ciencias de Zaragoza*, 34, 87-104.
- Hokugo A. « The Performance of Fire protection of Buildings against the Fires Following the Great Hanshin-Awaji Earthquake. » *Fifth International Fire Safety Symposium*. Pp 947-958. Melbourne. 1997.
- Manzello, S. L.; Cleary, T. G.; Shields, J. R.; Yang, J. C. 2005, « On the Ignition of Fuel Beds by Firebrands, Fire and Materials », 30(1) pp, 77-87.
- Manzello, S. L.; Cleary, T. G.; Shields, J. R.; Maranghides, A.; Mell, W. E.; Yang, J. C. 2008a, « Experimental Investigation of Firebrands: Generation and Ignition of Fuel Beds », *Fire Safety Journal*, 43(3), pp 226-233.

- Manzello, S. L., Shields, J. R., Hayashi, Y.; Nii, D. 2008b, « Investigating the Vulnerabilities of Structures to Ignition From a Firebrand Attack ». Ninth International Symposium on Fire Safety Science, International Association for Fire Safety Science (IAFSS). pp 143-154.
- Scawthorn, C., J. M. Eiding et A. J. Schiff 2005, « Fire Following Earthquake », Technical Council on Lifeline Earthquake, Engineering Monograph No. 26.
- Scawthorn, C. 2009, « Enhancements in HAZUS-MH, » Projet SPA Risk Project # 10010-01-07-01.
- Thomas, G., D. Heron, J. Cousins et M. Roiste 2012, « Modeling and Estimating Post-Earthquake Fire Spread », Earthquake Spectra 28, 795-810.
- Zhao, S. J., L. Y. Xiong et A. Z. Ren 2006, « A Spatial-Temporal Stochastic Simulation of Fire Outbreaks Following Earthquake Based on GIS », Journal of Fire Science 24, 313-340.



# 14 Annexe—Exposition au risque

## 14.1 Créer une base de données de l'exposition de l'industrie au Canada

On fait référence à l'inventaire de l'exposition au risque des biens et de l'infrastructure du Canada sous l'appellation « base de données de l'exposition de l'industrie » (BDEI). La BDEI comprend les données d'énumération des biens et de l'infrastructure et leurs valeurs de remplacement respectives, de même que des renseignements sur l'occupation et les caractéristiques physiques de ces données d'exposition, comme le type de construction et la classification en termes de hauteur des édifices. La base de données fournit une base pour les estimations de pertes au Canada attribuables à un séisme et à ses risques connexes.

L'illustration 153 ci-dessous donne un aperçu du processus utilisé pour créer la BDEI. Les données sur l'exposition représentent le nombre d'immeubles ou d'infrastructures, comme les édifices ou le nombre de kilomètres pour une route.

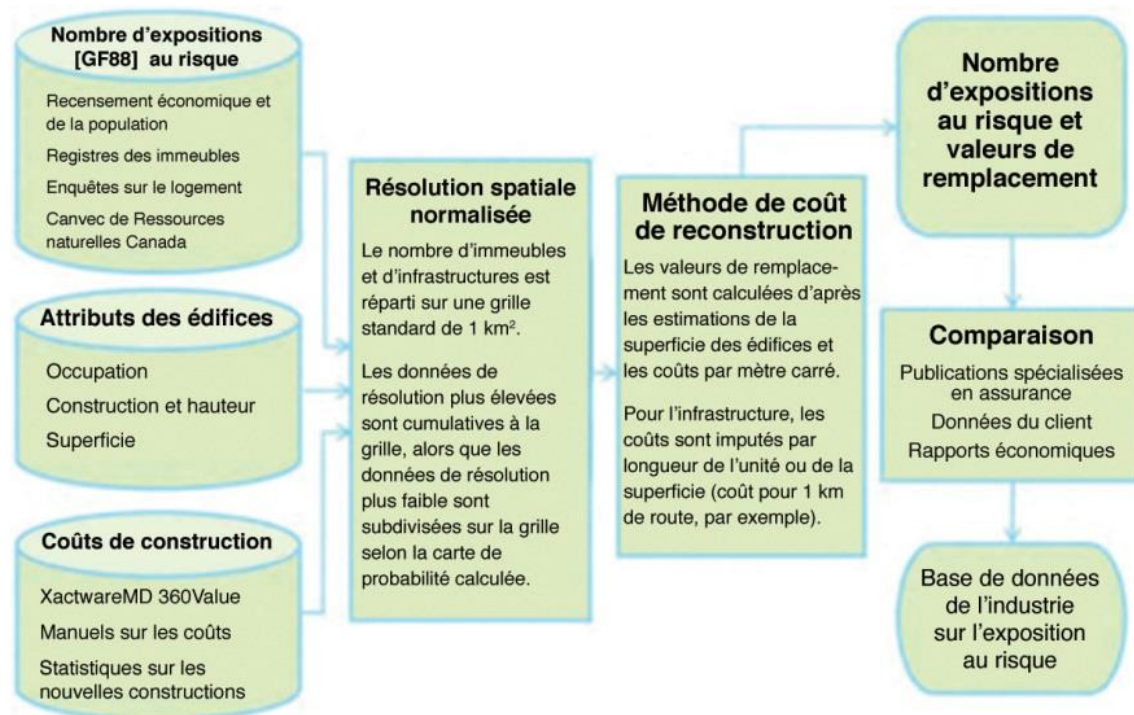


Illustration 153 : Processus de création de la BDEI

La présente section donne un complément d'information sur la création de la BDEI pour le Canada et ne fait pas l'objet d'une discussion dans le corps du rapport.

## **14.2 Création du type structural et de la hauteur des édifices dans la BDEI**

Les attributs des édifices, comme le type de construction et sa hauteur sont des composantes essentielles de la BDEI. La classification des édifices par type structural joue un rôle important dans la modélisation des catastrophes parce que les différences entre les matériaux de construction, la qualité et la conception ont toutes un impact significatif sur la vulnérabilité des édifices et par conséquent sur les estimations de pertes modélisées. Conséquemment, AIR a investi une somme importante d'énergie et de temps à la création de la répartition de la construction pour la BDEI du Canada, qui saisit la proportion d'édifices représentés en fonction des divers types structuraux - comme la charpente en bois, la maçonnerie, la charpente en béton et la charpente en acier.

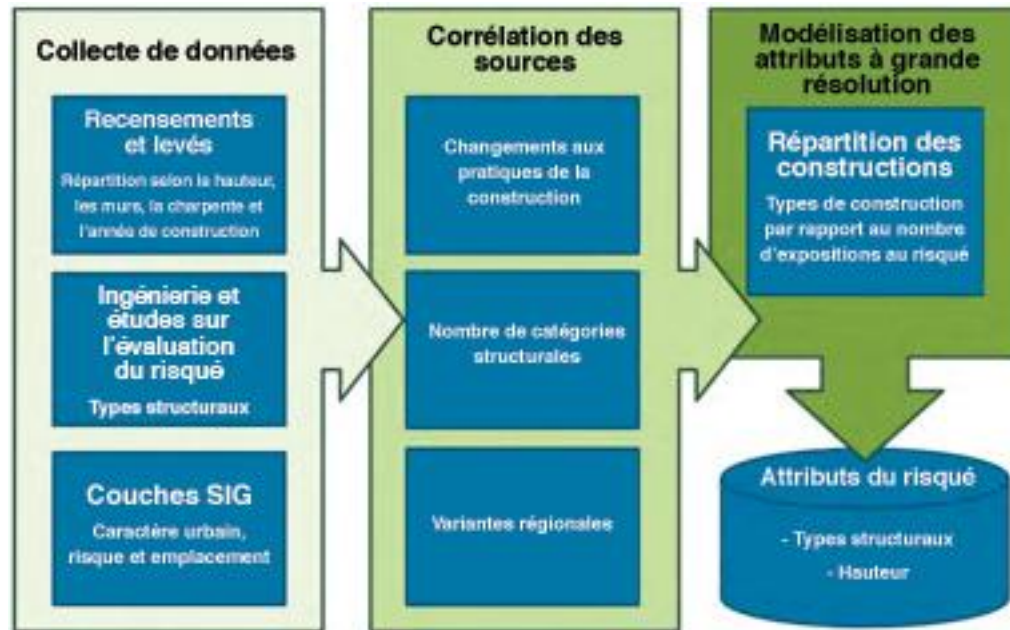
La méthodologie de la société AIR, toutefois, n'identifie pas simplement le nombre d'édifices en bois, en béton ou en acier; elle met plutôt l'accent sur la manière avec laquelle les changements au sein des pratiques d'ingénierie et de construction, de même que les variations à l'environnement de l'édifice attribuables aux influences de l'urbanisation, du développement économique et des lois en matière de planification, ont un impact sur la répartition des constructions au Canada.

La collecte de renseignements au sujet des caractéristiques du stock d'édifices a servi de point de départ à la création de la répartition des constructions. Les ingénieurs en constructions de la société AIR ont également recueilli et analysé les données en fonction des codes du bâtiment et des pratiques, à partir de sources comme les recensements, les levés publiés et les revues spécialisées en ingénierie. Ces ensembles de données servent à dériver des relations entre le type structural, l'occupation et la hauteur.

En catégorisant le stock d'immeubles, les édifices ont été regroupés selon leurs principales caractéristiques structurales, autrement dit leurs matériaux de construction, le mécanisme de résistance à la charge et la hauteur. Cela a permis de répartir le stock d'immeubles en un nombre suffisant de catégories de sorte que chaque catégorie est distincte en termes de réponse structurale aux charges dynamiques imposées par les différents risques.

Des sources additionnelles comme les plans d'occupation du sol (couches SIG) et les exigences du code du bâtiment ont permis d'obtenir une caractérisation plus réaliste de chaque structure, comme sa situation par rapport aux autres édifices et à un risque particulier. Nous avons donc saisi la corrélation entre le type structural, le risque, les pratiques de construction et l'emplacement.

L'illustration 154 montre les étapes utilisées dans la création des attributs du type structural et de la hauteur des édifices dans la BDEI. L'infrastructure et les automobiles ont été exclues de ce processus.



**Illustration 154 : Création du type structural et de la hauteur des édifices dans la BDEI**

### 14.3 Validation des données

La société AIR a corroboré ses ensembles de données brutes contre les ensembles de données régionales et mondiales qui contenaient les édifices déclarés et les attributs économiques. Lorsque nous avons trouvé des anomalies, nous avons mené d'autres recherches pour vérifier les données douteuses. La liste des statistiques validées comprend, mais sans s'y restreindre :

- Population par logement
- Logements par immeuble appartements
- Partage des logements représentés par maison unifamiliale et appartements
- Taille moyenne du logement pour les maisons unifamiliales et les appartements
- Rapport entre la taille du logement des maisons unifamiliales sur celle des appartements
- Population par établissement commercial
- Population par établissement industriel
- Rapport des établissements commerciaux sur les établissements industriels

- Nombre total d'employés des établissements commerciaux
- Nombre total d'employés des établissements industriels
- Nombre total d'employés des établissements commerciaux comme part de la population
- Nombre total d'employés des établissements industriels comme part de la population
- Moyenne des employés par établissement commercial
- Moyenne des employés par établissement industriel
- Automobiles par personne
- Véhicules résidentiels et commerciaux par personne
- Véhicules résidentiels par véhicule commercial

Tous les ensembles de données utilisés, ou créés, dans le processus de création de la BDEI ont également été validés spatialement dans chaque région. La liste des statistiques spatialement validées comprend, mais sans s'y restreindre :

- Nombre d'expositions par km<sup>2</sup> par type d'occupation
- Taux de chômage
- Revenu per capita
- Coûts moyens de reconstruction par édifice par type d'occupation
- Coûts moyens de reconstruction par logement par type d'occupation
- Coûts moyens de reconstruction par m<sup>2</sup> par type d'occupation
- Valeur totale par km<sup>2</sup> par type d'occupation

### ***Analyse comparative des agrégats***

En plus de vérifier les ensembles de données entrées, AIR a fait une analyse comparative de ses valeurs nationales globales contre diverses sources indépendantes, comme un stock de capital brut et des agrégats des données du client. L'analyse comparative a été comparée aux valeurs de la base de données de tous les biens, ce qui comprend toutes les biens ou les infrastructures admissibles à l'assurance.

### ***Stock de capital brut***

Des évaluations indépendantes du stock d'édifices, appelé stock de capital brut, sont disponibles pour le Canada auprès des comptes nationaux. Le stock de capital brut (SCB) a plusieurs composantes, y compris les édifices résidentiels et commerciaux, les routes et les ponts, et les systèmes de transport comme les bateaux et les trains. Pour chacune de ces composantes, il contient des estimations de coût de remplacement. Les valeurs du stock d'édifices résidentiels et commerciaux sont directement comparables aux valeurs du total des édifices résidentiels et commerciaux dans la base de données de tous les biens.

En plus du SCB déclaré dans les comptes nationaux du Canada, AIR estime que SCB utilise sa propre méthodologie. Ce SCB modélisé commence avec les changements annuels du stock de capital, appelé investissement du capital fixe brut, ou ICFB. L'ICFB comprend de nouveaux ajouts au stock de capital de même que les soustractions lorsqu'un édifice est hors d'état ou démoli. Après avoir modélisé une valeur de départ pour chaque composante du SCB à un point donné dans le temps, 1970 par exemple, l'ICFB annuel jusqu'à l'année en cours a été ajouté au stock de capital initial, avec comme résultat l'estimation du SCB. Cette estimation du SCB est ensuite augmentée pour obtenir la valeur actuelle en dollars d'aujourd'hui et comparée au SCB déclaré dans les comptes nationaux du Canada.

### **Données du client**

Étant donné que la société AIR a eu accès à un grand nombre de données du client couvrant la plupart de l'industrie de l'assurance au Canada, les données du client ont été un outil de validation valable aux fins de la BDEI. Une analyse de validation clé effectuée avec les données du client est une analyse de la part de marché. Dans cette analyse, l'estimation de la part de marché pour les données du client a été calculée en divisant les données tous risques globales du client par le total assuré estimé de l'industrie. Cette part du marché a par la suite été comparée aux rapports sur le marché de l'assurance publiés par diverses sources de l'industrie de l'assurance, y compris les derniers rapports sur le marché de l'assurance d'AXCO

Les estimations du client sur le marché assuré ont été divisées par l'estimation de toutes les biens de l'industrie pour obtenir un taux de pénétration du marché, ou le pourcentage de tous les biens qui sont actuellement assurés pour un risque donné. Ces renseignements ont ensuite été utilisés pour valider les agrégats estimés de tous les biens de l'industrie et les taux de pénétration du marché estimés par AIR.

Lorsque les données du client contenaient des renseignements détaillés, comme des données sur le nombre d'exposition au risque et les valeurs, plusieurs analyses de validation supplémentaires étaient possibles. Par exemple, la valeur moyenne par nombre d'exposition au risque a été calculée et comparée aux valeurs moyennes de l'industrie. Le partage de garanties du client (pourcentage d'édifices, de dépendances, de contenu et de couverture frais de subsistance supplémentaire/perte d'exploitation) a également été comparé à l'estimation du partage de garanties de l'industrie. Les données d'attribut comme la répartition par construction et année de construction, et les dispositions du contrat, notamment les franchises et les limites, ont aussi été comparées aux données du client et aux estimations de l'industrie.

Bien que les données du client soient un outil de validation valable, leur analyse représentait aussi un défi. Par exemple, parce que bon nombre de comparaisons ont été effectuées par type d'occupation, toute différence dans la concordance du type d'occupation entre les données du client et celles de l'industrie avait le potentiel de fausser l'analyse des résultats. En outre, étant donné que la société AIR a reçu les données du client de plusieurs sources, comme des assureurs, réassureurs, courtiers et associations d'assurance, il a fallu tenir compte de la duplication des données. De plus, il y avait une incertitude inhérente dans les parts de marché déclarées et la mesure qui avait été utilisée pour calculer une part de marché déclarée n'était pas toujours claire.



# 15 Annexe—Sources des données

Les sources de données primaires dans la création de chaque composante du Modèle AIR des séismes au Canada sont les suivantes :

<b>Secousse sismique</b>
Catalogue des données historiques sur les séismes de la Commission géologique du Canada (J. Adams, communication personnelle, 2012)
U.S.Geological Survey - PDE et base de données exhaustive sur les séismes. Disponible en ligne : <a href="http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/epic/">http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/epic/</a>
U.S. Geological Survey (Wesson et coll., 2007 et Peterson et coll., 2008)
Division of Geological and Geophysical Surveys of Alaska (Koehler et coll., 2012)
Réseau de base canadien (Craymer et coll., 2011)
Elliott et coll. (2010)
Leonard et coll. (2007, 2008), Campaign and Continuous
Mazzotti et coll. (2011)
McCaffrey et coll. (2012)
CGC (Adams et Halchuck, 2003)
étude de 2011 du d <sup>r</sup> John Adams du CGC
Atkinson et Goda (2011)
Abrahamson et Sliva (2008)
Boore et Atkinson (2008)
Campbell et Bozorgnia (2008)
Chiou et Youngs (2008)
Chouinard et Rosset (2007, 2011)
Motazedian et coll. (2011)
Hunter et coll. (2010)
Ventura et col. (2004)
Monahan et coll. (2000)
Fulton, R.J., Compilation 1996, Matériaux superficiels du Canada, Commission géologique du Canada, carte 1880A
Klassen, R.A., Paradis, S. Bolduc, A.M., et Thomas, R.D., 1992 : Glacial landforms and deposits, Labrador, Newfoundland and eastern Québec, Commission géologique du Canada, carte 1814A
Carte de géologie de surface, Géologie urbaine et environnementale de la vallée du Saint-Laurent, Ressources naturelles Canada, 2004-2010
Prest, V.K., et J. Hode-Keyser, Géologie des dépôts meubles, Île de Montréal, 1975
Chouinard Luc et Rosset Philippe, Microzonation of Montreal, variability in soil classification, 4 <sup>th</sup> IASPEI/IAEE International Symposium, août 2011
Géologie urbaine et environnementale de la vallée du Saint-Laurent, Géologie de surface, Gouvernement du Canada, Secteur des sciences de la terre de Ressources naturelles Canada, 2010

<b>Secousse sismique</b>
Utting, D.J., B.E. Fisher, A.L. Ehler, Données géologiques créées dans le cadre d'un projet de carte de géologie superficielle de la région métropolitaine de Halifax et ses environs, comtés de Halifax et Hants, Nouvelle-Écosse, 2011
Commission géologique de l'Ontario et Commission géologique du Canada, 2003, Géologie superficielle du Sud de l'Ontario.
Commission géologique de l'Ontario, 1997, Géologie quaternaire de l'Ontario - couverture uniforme de la province de l'Ontario : Commission géologique de l'Ontario, ensemble de données ERLIS 14
Relative Amplification of Ground Motion Hazard Map of Metro Victoria, Patrick A. Monahan, Victor M. Levson, Paul Henderson, et Alax Sy, échelle 1:25 000, 2000.
Carte géologique quaternaire du Grand Victoria, Patrick A. Monahan et Victor M. Levson, 2000.
Commission géologique du Canada, 1980, Surficial geology, New Westminster, British Columbia
Commission géologique du Canada, 1979, Surficial geology, Vancouver, British Columbia
Commission géologique du Canada, 1980, Surficial geology, Mission, British Columbia
Commission géologique du Canada, 1980, Surficial geology, Chillwack, British Columbia
Massey, N.W.D., MacIntyre, D.G. Desjardins, P.J. et Conet, R.T., 2005, Digital Geology Map of British Columbia, B.C. Ministry of Energy and Mines, données ouvertes 2005-2
<b>Cartes sur la liquéfaction et les sols</b>
Réseau d'information sur les eaux souterraines (RIES) base de données sur les puits d'eau. Commission géologique du Canada / Ressources naturelles Canada Disponible en ligne :
British Columbia Groundwater Observation Well Network. Disponible en ligne : <a href="http://www.env.gov.bc.ca/wsd/data_searches/obsWell/map/obsWells.html">http://www.env.gov.bc.ca/wsd/data_searches/obsWell/map/obsWells.html</a>
Données numériques d'élévation du Canada (DNEC) Disponible en ligne : <a href="http://www.geobase.ca/geobase/en/data/cded/description.html">http://www.geobase.ca/geobase/en/data/cded/description.html</a>
Commission géologique du Canada, 1980, Surficial geology, New Westminster, British Columbia; échelle 1:50 000.
Commission géologique du Canada, 1979, Surficial geology, Vancouver, British Columbia; échelle 1:50 000.
Commission géologique du Canada, 1980, Surficial geology, Mission, British Columbia; échelle 1:50 000.
Commission géologique du Canada, 1980, Surficial geology, Chillwack, British Columbia; échelle 1:50 000.
Commission géologique de l'Ontario et Commission géologique du Canada, 2003, Géologie superficielle du Sud de l'Ontario.
Géologie urbaine et environnementale de la vallée du Saint-Laurent, Géologie de surface, Gouvernement du Canada, Secteur des sciences de la terre de Ressources naturelles Canada, 2010
Banque de données géoscientifiques pour la région de la Capitale nationale du Canada, Bélanger, R. Commission géologique du Canada, données ouvertes 5311
Prest, V.K., et J. Hode-Keyser, Géologie des dépôts meubles, Île de Montréal, 1975.
Relative Liquefaction Hazard Map of Metro Victoria, Patrick A. Monahan, Victor M. Levson, Paul Henderson, et Alax Sy, échelle 1:25 000, 2000.
Liquefaction Hazard Map of Richmond, British Columbia, Patrick A. Monahan, Victor M. Levson, Ben Kerr, échelle 1:20 000, 2010.
Preliminary Liquefaction Potential Map of Chilliwack Area, Victor M. Levson, Patrick A. Monahan, Daniel G. Meldrum, (B.C. Geological Survey) échelle 1:20 000, 2010.
City of Surrey Water System Seismic Vulnerability Assessment Study Report 1999
Hunter, J. A., R. A. Burns, R. L. Good, et C. F. Pelletier (1998). A compilation of shear wave velocities and borehole geophysical logs in unconsolidated sediments of the Fraser River delta, données ouvertes 3622, Commission géologique du Canada, Ottawa, Canada
Hunter, J. A., R. A. Burns, R. L. Good, J. M. Aylsworth, S. E. Pullan, D. Perret, et M. Douma (2007). Borehole shear wave velocity measurements of Champlain Sea sediments in the Ottawa–Montreal region, données ouvertes rapport 5345, Commission géologique du Canada, Ottawa, Canada

<b>Glissement de terrain</b>
Données numériques d'élévation du Canada (DNEC) Disponible en ligne : <a href="http://www.geobase.ca/geobase/fr/data/cded/description.html;jsessionid=217BCA474759C499B14DC8063E9BB017.geobase2">http://www.geobase.ca/geobase/fr/data/cded/description.html;jsessionid=217BCA474759C499B14DC8063E9BB017.geobase2</a>
The Shuttle Radar Topography Mission(SRTM) elevation data
Digital Geology Map of British Columbia : Whole Province, B.C. Ministry of Energy and Mines, GeoFile 2005-1, par N.W.D. Massey, D.G. MacIntyre, P.J. Desjardins et R.T. Cooney.
Wheeler, J.O.,1996 Carte géologique du Canada carte 1860A 1:5 000 000.
Ontario Geological Survey MRD126 1:250 000 Scale Bedrock Geology of Ontario
Fulton, R.J.,compilation 1996, Matériaux superficiels du Canada, Commission géologique du Canada, carte 1880A, échelle 1:5 000 000
Prest, V.K., et J. Hode-Keyser,Géologie des dépôts meubles, Île de Montréal, 1975
Commission géologique du Canada, 1980, Surficial geology, New Westminster, British Columbia; échelle 1:50 000.
Commission géologique du Canada, 1979, Surficial geology, Vancouver, British Columbia; échelle 1:50 000.
Commission géologique du Canada, 1980, Surficial geology, Mission, British Columbia; échelle 1:50 000.
Commission géologique du Canada, 1980, Surficial geology, Chillwack, British Columbia; échelle 1:50 000é
Géologie urbaine et environnementale de la vallée du Saint-Laurent, Géologie de surface, Gouvernement du Canada, Secteur des sciences de la terre de Ressources naturelles Canada, 2010
Banque de données géoscientifiques pour la région de la Capitale nationale du Canada, Bélanger, R. Commission géologique du Canada, données ouvertes 5311
Utting, D.J., B.E. Fisher, A.L. Ehler, Données géologiques créées dans le cadre d'un projet de carte de géologie superficielle de la région métropolitaine de Halifax et ses environs, comtés de Halifax et Hants, Nouvelle-Écosse, 2011
Géologie des formations en surface, basse vallée de l'Outaouais, Ontario-Québec, Commission géologique du Canada, carte 2140A, échelle 1:125 000
Klassen, R.A., Paradis, S. Bolduc, A.M., et Thomas, R.D., 1992: Glacial landforms and deposits, Labrador, Newfoundland and eastern Québec, Commission géologique du Canada, carte 1814A
Données des stations pour le calcul des normales climatiques au Canada. Disponible en ligne : <a href="http://climate.weatheroffice.gc.ca/prods_servs/index_f.html">http://climate.weatheroffice.gc.ca/prods_servs/index_f.html</a>
<b>Incendie post-sismique</b>
Données sur l'utilisation des terres d'Agriculture et agroalimentaire Canada (2005)
Données sur les surfaces imperméables du National Geophysical Data Center (2012)
Données LandScan sur la population, Oak Ridge National Laboratory (2007)
Données sur la densité des édifices, données Canvec de Ressources naturelles Canada (2011) et de GEOGRAFX© Digital Mapping Services (2011).
Données sur la vitesse et la direction du vent obtenues des données d'Integrated Surface Hourly du National Climatic Data Centre (2010).
Données sur l'emplacement des stations d'incendie obtenues de l'ensemble de données Canvec de Ressources naturelles Canada (2011) et des renseignements publics sur les services d'incendies municipaux (2012)
<b>Tsunami</b>
Bathymétrie et élévation : NOAA ETOPO Relief Model (2009)
Bathymétrie : National Geophysical Data Center - South Alaska (2011)
Bathymétrie : National Geophysical Data Center - Strait of Juan de Fuca (2003)

Bathymétrie : National Geophysical Data Centre – Northern California (2006)
Élévation : United States Geological Survey 30m National Elevation Data (NED)

<b>Tsunami</b>
Élévation : GéoBase Canada données numériques sur l'élévation 23 m
Données sur les levées : créées à l'interne
Utilisation et couverture du sol (LULC) : 150 m Résolution : Commission de coopération environnementale, Amérique du Nord, LULC (2005)
WWW Tide and Current Predictor, <a href="http://tbone.biol.sc.edu/tide/">http://tbone.biol.sc.edu/tide/</a>
<b>Vulnérabilité aux secousses</b>
Code national du bâtiment du Canada (1953-2010)
International Building Code (IBC) 2000-2009
Données sur les sinistres, séisme de Northridge 1994, obtenues du California Department of Insurance (DOI) et d'assureurs privés.
Rapports sur les dommages du séisme de Loma Prieta, 1989, du séisme de San Simeon, 2003 et du séisme de Chino Hills, 2008, obtenues du Office of Emergency Services (OES) en Californie.
Dommages aux édifices MNR lors de séismes en Italie depuis 1975, données obtenues du ministère de la protection civile de l'Italie.
Données historiques sur les séismes au Canada obtenues de Ressources naturelles Canada (Séismes Canada).
HAZUS-MH 2004. données obtenues de FEMA.
<b>Vulnérabilité au tsunami et à la liquéfaction</b>
Données sur les dommages causés par le tsunami à la suite du séisme de Tōhoku, 2011, fournies par MLIT Japon.
Constataion des dommages du séisme Tōhoku 2011, AIR
Constataion des dommages de Chistchurch en 2010 et 2011, NZ, AIR
<b>Exposition au risque</b>
Registre des entreprises de GEOGRAFX® Digital Mapping Services (2011)
Données sur le recensement : Statistique Canada (2006 et 2011)
Attributs des édifices : Association canadienne des constructeurs d'habitations (2011), Colliers International (2011), et Ressources naturelles Canada (2007 et 2010)
Coûts de construction : Xactware (2011), Groupe Altus (2012) et BTY Group (2011)
Nombre de véhicules à moteur : Statistique Canada (2009)
Valeur des véhicules à moteur : Comptes nationaux de Statistique Canada (2012)
Nombre d'infrastructures : Données Canvec de Ressources naturelles Canada (2011), Cartes des aéroports canadiens de NAV Canada (2012), Listes techniques et administratives des fréquences (2013) d'Industrie Canada (2013), Transports Canada (2012)
Valeur de l'infrastructure : BTY Group (2011), Le Bulletin de rendement des infrastructures canadiennes (2012), Edison Electric Institute (2012), comptes nationaux de Statistique Canada (2011)
<b>Conditions de contrats</b>
Données du client de la société AIR (2008-2011)
AXCO Insurance Information Services, rapport pour le Canada (2013)

## 16 Annexe—Références

Les documents de référence suivants ont été utilisés pour la création et l'amélioration du Modèle AIR des séismes au Canada :

### *Références générales :*

Munich Reinsurance Company of Canada, A Study of the Economic Impact of a Severe Earthquake in the Lower mainland of British Columbia, 1991

Scawthorn, C., Waisman, F. Assessment of Risk due to Fire Following Earthquake Lower mainland, British Columbia, EQE International, pour l'Institut de prévention des sinistres catastrophiques, 2001

### *Estimation des dommages*

Mitchell, D., Paultre, P., Tinawi, R., Saatcioglu, M., Tremblay, R., Elwood, K., Adams, J., et DeVall, R., 2010. « Evolution of seismic design provisions in the National building code of Canada. » Canadian Journal of Civil Engineering, 9, pp. 1157–1170.

Nollet, M.-J., Désilets, C., Abo El Ezz, A. et Nastev, M., 2012. Approche méthodologique d'inventaire de bâtiments pour les études de risque sismique en milieu urbain / Ville de Québec, Arrondissement La Cité- Limilou. Commission géologique du Canada, Dossier public DP7260, 93p.

Nollet, M.-J., Désilets, C., Abo El Ezz, A. et Nastev, M., 2013. « Inventory method for urban seismic risk studies ». 3<sup>e</sup> Conférence spécialisée sur la prévention et la mitigation des désastres naturels, SCGC, Montréal, Québec, du 29 mai au 1<sup>er</sup> juin, N° DIS-59.

Onur, T., Ventura, C.E., Finn, W.D.L., 2005. « Regional seismic risk in British Columbia- damage and loss distribution in Victoria and Vancouver », Canadian Journal of Civil Engineering, 32, pp. 361 à 371

Ventura, C.E., Finn, W.D.L., Onur, T., Blanquera, A., et Rezai, M. 2005. « Regional seismic risk in British Columbia — classification of buildings and development of damage probability functions », Canadian Journal of Civil Engineering, 32, 372–387.



Ventura, C. et Kharrazi, H.K., 2002, « Single-family wood frame house » Rapport numéro 82 du World Housing Encyclopedia, Earthquake Engineering Research Institute (EERI) et International Association for Earthquake Engineering (IAEE), 2002.

### **Incendie post-sismique**

Cousins, J., D. Heron, S. Mazzoni, G. Thomas, et D. Lloyd 2002, « Estimating Risks from Fire Following Earthquake », Institute of Geological and Nuclear Sciences Client Report, 2002/60.

Cousins, J., D. Heron, Mazzoni, S. Mazzoni, G. Thomas, et D. Lloyd 2003, « Modelling the spread of post-earthquake fire », comptes rendus de la Pacific Conference on Earthquake Engineering, du 13 au 15 février 2003, Christchurch, Nouvelle-Zélande. New Zealand Society for Earthquake Engineering.

Cousins, J. et Smith, D. 2004, « Estimated Losses due to Post-Earthquake Fire in Three New Zealand Cities », *Getting the message across and moving ahead* : comptes rendus de la conférence, Wellington, N-Z: New Zealand Society for Earthquake Engineering.

Eidinger, J. M., E. A. Avila, D. Ballantyne, L. Cheng, A. der Kiureghian, B.F. Maison, T.D. O'Rourke, et M. Power 2001, Seismic Fragility Formulations for Water Systems, Part 1 – Guideline, American Lifelines, Alliance, American Society of Civil Engineers, avril 2001.

Heron, D., J. Cousins, B. Lukovic, G. Thomas, et R. Schmid 2003, « Modeling Fire-Spread in and around Urban Centers », Institute of Geological and Nuclear Sciences Client Report, 2003/96.

Himoto, K., et T. Tanaka 2000, « A Preliminary Model for Urban Fire Spread: Building Fire Behavior Under the Influence of External Heat and Wind », U.S./Japan Government Cooperative Program on Natural Resources (UJNR), recherche sur les incendies et la sécurité, comptes rendus du 15<sup>e</sup> groupe de discussion conjoint, vol. 2.

Himoto, K., et T. Tanaka 2008, « Development and Validation of a Physics-Based Urban Fire Spread Model », Fire Safety Journal, 43, pp. 477 à 494.

Himoto, K. et T. Tanaka 2010, « Physics-based Modeling of Fire Spread in Densely-built Urban Area and its Application to Risk Assessment, » Monographies de la Real Academia de Ciencias de Zaragoza, 34, pp. 87 à 104.

Scawthorn, C. 1992, « The Loma Prieta, California, Earthquake of October 17, 1989 – Marina District » USGS Professional Paper 1551 – F, Ed. O'Rourke, T.

Scawthorn, C., A. D. Cowell, et F. Borden 1996, « Fire-Related Aspects of the Northridge Earthquake », rapport de la National Institute of Standards and Technology pour le U.S. Department of Commerce, NIST-GCR-98-743.

Scawthorn, C., J. M. Eiding, et A. J. Schiff 2005, Fire Following Earthquake, Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering, monographie n° 26.

Scawthorn, C. 2009, « Enhancements in HAZUS-MH », SPA Risk Project n° 10010-01-07-01.

Sekizawa, A. 1996, « Post-Earthquake Fires and Firefighting Activities in the Early Stage in the 1995 Great Hanshin Earthquake », dans le cadre du 13<sup>e</sup> groupe de discussion conjoint du U.S.-Japan Cooperative Program in Natural Resources (UJNR), Groupe de discussion sur la recherche sur les incendies et la sécurité, Gaithersburg, Maryland, du 13 au 20 mars 1996.

Thomas, G.C, D 2005, « Fire-fighting and rescue operations after earthquakes – lessons from Japan », Victoria University of Wellington et GNS Science, Document numéro 17, New Zealand Fire Service Commission.

Thomas, G., D. Heron, et G. Baker 2008, « Implementation of Urban Fire Spread Model as NZFS Tools », New Zealand Fire Service Commission Research Report, numéro 80.

Thomas, G., D. Heron, J. Cousins, et M. Roiste 2012, « Modeling and Estimating Post-Earthquake Fire Spread », Earthquake Spectra 28, pp. 795 à 810.

Zhao, S. J., L. Y. Xiong, et A. Z. Ren 2006, « A Spatial-Temporal Stochastic Simulation of Fire Outbreaks Following Earthquake Based on GIS », Journal of Fire Science 24, pp. 313 à 340.

Zhao, S. J. 2011, « Simulation of Mass Fire-Spread in Urban Densely Built Areas Based on Irregular Coarse Cellular Automata », Fire Technology, 47, pp. 721 à 749.

### **Pertes indirectes**

Applied Technology Council (ATC). 1991. Seismic Vulnerability and Impacts of Disruptions of Utility Lifelines in the Conterminous United States, rapport ATC-25. Redwood, CA : Applied Technology Council.

- Chang, S.E., T.L. McDaniels, J. Mikawoz, et K. Peterson. 2007. « Infrastructure Failure Interdependencies in Extreme Events: Power Outage Consequences in the 1998 Ice Storm » *Natural Hazards* 41 : pp. 337 à 358.
- Union européenne. 2003. Comptes rendus de l'atelier conjoint NEDEIS et université de Twente : In Search of a Common Methodology for Damage Estimation, Bruxelles : Office des publications de l'Union européenne.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). 2008. Earthquake Loss Estimation Methodology HAZUS-MH MR3 (HAZUS). Washington, D.C. : National Institute of Building Sciences.
- Gordon, P., H. Richardson, J. Moore II, J. Park et S. Kim. 2007. « Economic Impacts of a Terrorist Attack on the U.S. Commercial Aviation System », *Risk Analysis* 27(3) : pp. 505 à 512.
- Multihazard Mitigation Council (MMC). 2005. « Natural Hazard Mitigation Saves: Independent Study to Assess the Future Benefits of Hazard Mitigation Activities », document d'étude, vol. 2, rapport à la Federal Emergency Management Agency par le Applied Technology Council, National Institute of Building Sciences, Washington, D.C.
- National Research Council. 2005. Improved Seismic Monitoring--Improved Decision-Making: Assessing the Value of Reduced Uncertainty, Washington, D.C.: National Academy Press.
- Rose, A. 2004. Economic Principles, Issues, and Research Priorities of Natural Hazard Loss Estimation, dans Y. Okuyama et S. Chang (eds.) *Modeling of Spatial Economic Impacts of Natural Hazards*, Heidelberg: Springer.
- Rose, A. et D. Lim. 2002. « Business Interruption Losses from Natural Hazards: Conceptual and Methodology Issues in the Case of the Northridge Earthquake », *Environmental Hazards: Human and Social Dimensions* 4: pp. 1 à 14.
- Rose, A. et W. Miernyk. 1989. « Input-Output Analysis: The First Fifty Years », *Economic Systems Research* 1(2): pp. 229 à 271.
- Rose, A., Wei, D. et A. Wein. 2011. « Economic Impacts of the ShakeOut Scenario », *Earthquake Spectra* 27(2) pp. 539-57.
- Rose, A., Oladosu, G., Lee, B., et Beeler-Asay, G. 2009. The Economic Impacts of the 2001 Terrorist Attacks on the World Trade Center: A Computable General Equilibrium Analysis, *Peace Economics, Peace Science, and Public Policy* 15(2): Article 4.
- Rose, A. et coll. 2007. « Benefit-Cost Analysis of FEMA Hazard Mitigation Grants », *Hazards Review* 8(4): pp. 97 à 111.
- Tierney, K. 1997. « Impacts of Recent Disasters on Businesses: The 1993 Midwest Floods and the 1994

Northridge Earthquake », dans B. Jones (ed.), *Economic Consequences of Earthquakes: Preparing for the Unexpected*, Buffalo, N.Y. : National Center for Earthquake Engineering Research.

### **Glissements de terrains**

Mathews, W.H. : 1979, Landslides of central Vancouver Island and the 1946 earthquake, *Seismol. Soc. Amer. Bull.* 69, pp. 445 à 450.

Blais-Stevens, A., Hungr O. : 2008, Landslide Hazards and Mitigation Along the Sea to Sky Corridor, British Columbia, *Comptes rendus de la 4<sup>e</sup> Canadian Conference on Geohazards : From Causes to Management*. Presse de l'Université Laval, Québec

Cassidy, J.F., Rogers, G.C., 2010, Lamontagne, M., Halchuk, S., Adams, J. , Canada's Earthquakes: « The good, the bad, and the ugly », *Geoscience Canada*, volume 37, numéro 1

Geertsema, M., Schwab, J.W., Blais-Stevens, A. 2008, Landslide and Linear Infrastructure in West-Central British Columbia, *Comptes rendus de la 4<sup>e</sup> Canadian Conference on Geohazards : From Causes to Management*. Presse de l'Université Laval, Québec

Geertsema, M., J.J. Clague, J.W. Schwab & S.G. Evans (2006), An overview of recent large catastrophic landslides in northern British Columbia, Canada. *Engineering Geology* 83, pp.120-143.

Clague, J.J. (2002), The Earthquake Threat in Southwestern British Columbia : A Geologic Perspective, *Natural Hazards* 26 : p.p. 7 à 34

Ouellet, M. (2012), Lake sediments and Holocene seismic hazard assessment within the St. Lawrence Valley, Québec, *Geological Society of America Bulletin* 1997;109, numéro 6; pp. 631 à 642

Aylsworth, J.M., Lawrence, D.E., Guertin J. (2000), Did two massive earthquakes in the Holocene induce widespread landsliding and near-surface deformation in part of the Ottawa Valley, Canada? *Geology* 2000;28;903-906

Solomon, B.J., Storey, N., Wong, I., Silva, W., Gregor, N., Wright, D., McDonald, G. (2004) Earthquake-Hazards Scenario for a M 7 Earthquake on the Salt Lake City Segment of the Wasatch Fault Zone, Utah. Utah Geological Survey, Special Study 111 DM.

Wilson, R.C., et Keefer D.K., 1985, Predicting Areal Limits of Earthquake Induced Landsliding, *Evaluating Earthquake Hazards in the Los Angeles Region: U.S. Geological Survey Professional Paper*, Ziony, J. I., éditeur, pp. 317-493.

Newmark, N.M., 1965, Effects of earthquakes on dams and embankments: *Géotechnique*, v. 15,p. 139-160.

Jibson, R.W., Harp, E.L., et Michael, J.A., 2000, A method for producing digital probabilistic seismic landslide hazard maps. *Engineering Geology*, v. 58, pp. 271 à 289.

Arias, A., 1970, A measure of earthquake intensity, dans Hansen, R.J., éditeur, *Seismic design for nuclear*

power plants: Cambridge, Massachusetts Institute of Technology Press, pp. 438 à 483.

Jibson, R.W., 1993, Predicting earthquake-induced landslide displacements using Newmark's sliding block analysis: Transportation Research Record, n° 1411, pp. 9 à 17

Jibson, R.W., Harp, E.L., et Michael, J.A., 1998, A Method for Producing Digital Probabilistic Seismic Landslide Hazard Maps : An Example from the Los Angeles, California area : U.S. Geological Survey Open-File Report 98-113, 17 p., 2 pl., <http://pubs.usgs.gov/of/1998/ofr-98-113/>

Wieczorek, G.F., Wilson, R.C., et Harp, E.L., 1985, Map of slope stability during earthquakes in San Mateo County, California : U.S. Geological Survey Miscellaneous Investigations Map I-1257-E, échelle 1:62 500

Calvert, H.T., Hyde S.B., 2002, Assessing Landslide Hazards In The Ottawa Valley Using Electrical And Electromagnetic Methods. 15<sup>e</sup> EEGS Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems.

### **Liquéfaction**

Holzer T, Noce T, Bennett M. (2011). Liquefaction Probability Curves for Surficial Geologic Deposits. Environmental & Engineering Geoscience, Vol. XVII, numéro. 1, février 2011, pp. 1 à 21

Ishihara, K. et M. Yoshimine 1992, « Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquakes », Soils and Foundations, 32, pp. 173 à 188.

« Liquefaction resistance of soils: Summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils », Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, p.p. 817-833.

Idriss, I. M. et R. W. Boulanger 2008. « Soil liquefaction during earthquakes », monographie MNO-12, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, California.

Youd, T.L., et Perkins, D.M., 1978, Mapping liquefaction-induced ground failure potential. Journal of the Geotechnical Engineering Division, American Society of Civil Engineers, v. 104, pp. 433 à 446

Andrus, R. D., et K. H. Stokoe II (2000). Liquefaction resistance of soils from shear wave velocity, J. Geotech. Geoenviron. Eng. 126, pp. 1015 à 1025.

Hunter, J. A., R. A. Burns, R. L. Good, J. M. Aylsworth, S. E. Pullan, D. Perret, et M. Douma (2007). Borehole shear wave velocity measurements of Champlain Sea sediments in the Ottawa–Montreal region, données ouvertes rapport 5345, Commission géologique du Canada, Ottawa, Canada

Hunter, J. A., R. A. Burns, R. L. Good, et C. F. Pelletier (1998). A compilation of shear wave velocities and borehole geophysical logs in unconsolidated sediments of the Fraser River delta, données ouvertes 3622, Commission géologique du Canada, Ottawa, Canada



### **Séismicité et intensité de mouvement du sol**

- Abrahamson, N. A., et W. J. Silva 2008, « Summary of the Abrahamson & Silva NGA Ground Motion Relations », *Earthquake Spectra*, 24, pp. 67 à 97.
- Adams, J. et S. Halchuck, 2003, « Fourth generation seismic hazard maps of Canada: Values for over 650 Canadian localities intended for the 2005 National Building Code of Canada », Commission géologique du Canada, données ouvertes. rapport 4459.
- Adams, J. 2011, « Seismic Hazard Maps for the National Building Code of Canada », CSCE 2011 General Conference, Jagmohan Humar Symposium, du 14 au 17 juin 2011, Ottawa, Ontario.
- Atkinson, G. M. 2008. « Ground-Motion Prediction Equations for Eastern North America from a Referenced Empirical Approach: Implications for Epistemic Uncertainty », *Bulletin of Seismological Society of America*, 98, pp. 1304 à 1318.
- Atkinson, G. M., et K. Goda 2011. « Effect of Seismicity Models and New Ground-Motion Prediction Equations on Seismic Hazard Assessment for Four Canadian Cities », *Bulletin of Seismological Society of America*, 101, pp. 176 à 189.
- Atkinson, G. M., et M. Macias 2009. « Predicted Ground Motions for Great Interface Earthquakes in the Cascadia Subduction Zone », *Bulletin of Seismological Society of America*, 99, pp. 1552 à 1578.
- Bent, A. L. 2011, « Moment Magnitude ( $M_w$ ) Conversion Relations for Use in Hazard Assessment in Eastern Canada », doi: 10.1785/gssrl.82.6.984 *Seismological Research Letters*, 82, pp. 984 à 990
- Boore, D. M., et G. M. Atkinson 2008, « Ground-Motion Prediction Equations for the Average Horizontal Component of PGA, PGV, and 5%-damped PSA at Spectral Periods between 0.01 s and 10.0 s », *Earthquake Spectra*, 24, pp. 99 à 138
- Campbell, K. W. , 2003, « Prediction of Strong Ground Motion using the Hybrid Empirical Method and its use in the Development of Ground-Motion (Attenuation) Relations in Eastern North America », *Bulletin of the Seismological Society of America*, 93, pp. 1012 à 1033.
- Campbell K. W., et Y. Bozorgnia 2008, « NGA Ground Motion Model for the Geometric Mean Horizontal Component of PGA, PGV, PGD and 5% Damped Linear Elastic Response Spectra for Periods Ranging from 0.01 to 10s », *Earthquake Spectra*, 24, pp. 139 à 171.
- Central and Eastern United States Seismic Source Characterization for Nuclear Facilities 2012, parrainé par le U.S. Department of Energy, Electric Power Research Institute et le U.S. Nuclear Regulatory Commission.
- Chiou, B. S. J., et R. R. Youngs 2008, « Chiou-Youngs NGA Ground Motion Relations for the Geometric Mean Horizontal Component of Peak and Spectral Ground Motion Parameters », *Earthquake Spectra*, 24, pp. 173 à 215.
- Chouinard, L. et Rosset, Ph. (2007), Seismic site effects and seismic risk in the Montreal area – the influence

of marine clays, 9<sup>e</sup> Conférence Canadienne de Génie Parasismique, Ottawa, Ontario, Canada, juin 2007.

Chouinard, L. et Rosset, Ph. Chouinard Luc et Rosset Philippe, Microzonation of Montreal, variability in soil classification, 4th IASPEI/IAEE International Symposium, août 2011

Craymer, M. R., J. A. Henton, M. Piraszewski, E. Lapelle, (2011). An Updated GPS Velocity Field for Canada, AGU automne 2011, G12A-0793.

Elliott, J. L., C. F. Larsen, J. T. Freymueller, et R. J. Motyka (2010), Tectonic block motion and glacial isostatic adjustment in southeast Alaska and adjacent Canada constrained by GPS measurements, *J. Geophys. Res.*, 115, B09407, doi:10.1029/2009JB007139.

Frankel, A., C. Mueller, T. Barnhard, D. Perkins, E. Leyendecker, N. Dickman, S. Hanson, et M. Hopper 1996, « National Seismic Hazard Maps— Documentation juin 1996 », U.S. Geological Survey, données ouvertes Rapport 96– 532, 110.

Goda K., et G. M. Atkinson 2009, « Probabilistic Characterization of Spatially Correlated Response Spectra for Earthquakes in Japan », *Bulletin of Seismological Society of America*, 99, pp. 3003 à 3020.

Gregor, N. J., W. J. Silva, I. G. Wong, et R. R. Youngs (2002). Groundmotion attenuation relationships for Cascadia subduction zone megathrust earthquakes based on a stochastic finite-fault model, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 92, 1923–1932.

Hunter, J.A., H.L. Crow, G. Brooks, D. Motazedian, et coll. (2010) Seismic site classification and site period mapping in the Ottawa area using geophysical methods, Commission géologique du Canada, données ouvertes, rapport 6273.

Hyndman, R.D. Hyndman et al, Giant earthquakes beneath Canada's West coast, <http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/energy/mineral/geology/geodynamics/earthquake-processes/8595>

Koehler, R.D., R-E. Farrell, P.A.C. Burns, et R.A. Combellick, 2012, QUATERNARY FAULTS AND FOLDS IN ALASKA: A DIGITAL DATABASE, Alaska Division of Geological & Geophysical Surveys, MISCELLANEOUS PUBLICATION 141,

Leonard, L. J., R. D. Hyndman, S. Mazzotti, L. Nikolaishen, M. Schmidt, et S. Hippchen (2007), Current deformation in the northern Canadian Cordillera inferred from GPS measurements, *J. Geophys. Res.*, 112, B11401, doi:10.1029/2007JB005061.

Leonard, L. J., S. Mazzotti, et R. D. Hyndman (2008), Deformation rates estimated from earthquakes in the northern Cordillera of Canada and eastern Alaska, *J. Geophys. Res.*, 113, B08406, doi:10.1029/2007JB005456.

Mazzotti, S., L. J. Leonard, J. F. Cassidy, G. C. Rogers, et S. Halchuk, 2011. « Seismic hazard in western Canada from GPS strain rates versus earthquake catalog », *J. Geophys. Res.*, 116, B08406, doi:10.1029/2007JB005456.

McCaffrey, R., A. I. Qamar, R. W. King, R. Wells, G. Khazaradze, C. A. Williams, C. W. Stevens, J. J. Vollick, et P. C. Zwick, 2007. « Fault locking, block rotation and crustal deformation in the Pacific Northwest »,

Geophys. J. Int., 169, 1315–1340, doi:10.1111/j.1365-246X.2007.03371.x.

McCaffrey, R., R. W. King, S. J. Payne, et M. Lancaster, (2013). Active Tectonics of Northwestern US inferred from GPS-derived Surface Velocities, *J. Geophys.* 4161182 pp. 709 à 723.

Monahan, Victor M. Levson, Paul Henderson, et Alax Sy (2000), Relative Amplification of Ground Motion Hazard Map of Greater Victoria, scale 1:25 000, Geological Survey Branch, British Columbia Ministry of Energy and Mines, Geoscience Map 2000-3b.

Motazedian D, J. A. Hunter, A. Pugin, et H. Crow 2011, « Development of a Vs30 (NEHRP) Map for the City of Ottawa, Ontario, Canada », *Canadian Geotechnical Journal*, 48, pp. 458 à 472.

Petersen, M. D., A. D. Frankel, S. C. Harmsen, C. S. Mueller, K. M. Haller, R. L. Wheeler, R. L. Wesson, Y. Zeng, O. S. Boyd, D. M. Perkins, N. Luco, E. H. Field, C. J. Wills et K. S. Rukstales 2008, Documentation pour le 2008 Update of the United States National Seismic Hazard Maps, United States Geological Survey, données ouvertes rapport 2008-1128.

Ristau, J., G.C. Rogers et J.F. Cassidy 2003, « Moment magnitude-local magnitude calibration for earthquakes off Canada's west coast », *Bull. Seism. Soc. Am.*, 93, 2296-2300.

Ristau, J., G.C. Rogers et J.F. Cassidy 2005, « Moment magnitude-local magnitude calibration for earthquakes in Western Canada », *Bull. Seism. Soc. Am.*, 95, 1994-2300.

Somerville, P., N. Collins, N. Abrahamson, R. Graves, et C. Saikia 2001, « Ground Motion Attenuation Relations for the Central and Eastern United States—Final report, June 30, 2001 », Rapport au United States Geological Survey for Award 99HQGR0098, 38.

Toro, G. R. 2002, « Modification of the Toro et al. (1997) Attenuation Equations for Large Magnitudes and Short Distances », rapport de Risk Engineering, Inc. disponible à :

[http://www.riskeng.com/downloads/attenuation\\_equations](http://www.riskeng.com/downloads/attenuation_equations)

Toro, G. R., N. A. Abrahamson, et J. F. Schneider. Model of strong ground motions from earthquake in central and eastern North America : Best estimates and uncertainties. *Seismological Research Letters*, 68(1):41–57, Jan/Fév. 1997.

Tavakoli, B., et S. Pezeshk 2005, « Empirical-Stochastic Ground-Motion Prediction for Eastern North America », *Bulletin of the Seismological Society of America*, 95, pp. 2283 à 2296.

Ventura, C.E.; Onur, T.; et Hao, K.X-S., Site period estimations in the Fraser River delta using microtremor measurements – experimental and analytical studies, Ressources naturelles Canada, secteur des sciences de la terre, Renseignements généraux, produit 23.

Wesson, L.R, O. S. Boyd, C. S. Mueller, C. G. Bufe, A. D. Frankel, et M. D. Petersen 2007, « Revision of time-independent probabilistic seismic hazard maps for Alaska », USGS données ouvertes dossier 2007-1043.

Weichert, D.H. 1980, « Estimation of the earthquake recurrence parameters for unequal observation periods for different magnitudes », *Bull. Seism. Soc. Am.*, 70, pp. 1337 à 1346

Youngs, R. R. , S.-J. Chiou, W. J. Silva, et J. R. Humphrey. Strong ground motion attenuation relationships for subduction zone earthquakes. *Seismological Research Letters*, 68(1):58-73, Jan/Fév. 1997.

Zhao J. X., J. Zhang, A. Asano, Y. Ohno, T. Oouchi, T. Takahashi, H. Ogawa, K. Irikura, H. Thio, P. Somerville, et Y Fukushima 2006, « Attenuation Relations of Strong Ground Motion in Japan Using Site Classification Based on Predominant Period », *Bulletin of the Seismological Society of America*, 96, pp. 898 à 913.

## Tsunami

Cho., Y.-S., *Numerical simulations of tsunami and runup*. thèse de doctorat, Cornell University, 1995.

Engman, E. T. (1986). Roughness coefficients for routing surface runoff. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 112 (1), pp. 39 à 53.

Goto, C. and Ogawa, Y. Numerical Method of Tsunami Simulation with the Leap- Frog Scheme, Traduit pour le Time Project par Shuto, N., Disaster Control Research Center, Faculté de génie, Université Tōhoku en juin 1992, 1982.

Goto, C., Ogawa, Y., Shuto, N., et Imamura, F. Numerical method of tsunami simulation with the leap-frog scheme (IUGG/IOC Time Project), IOC Manual, UNESCO, N° 35, 1997.

Imamura, F., et autres. The Tōhoku region Pacific earthquake and tsunami simulation model, Université Tōhoku. 2011. Disponible à : [http://www.tsunami.civil.Tohoku.ac.jp/hokusai3/J/events/Tohoku\\_2011/model/dcrc\\_ver1.1\\_111107.pdf](http://www.tsunami.civil.Tohoku.ac.jp/hokusai3/J/events/Tohoku_2011/model/dcrc_ver1.1_111107.pdf).

Imamura, F., Yalciner, A. C., et Ozyurt, G. Tsunami modeling manual, manuel en ligne, [http://ioc3.unesco.org/ptws/21/documents/TsuModelMan-v3-ImamuraYalcinerOzyurt\\_apr06.pdf](http://ioc3.unesco.org/ptws/21/documents/TsuModelMan-v3-ImamuraYalcinerOzyurt_apr06.pdf), 2006.

Imamura, F., N. Shuto, et C. Goto. Numerical simulation of the transoceanic propagation of tsunamis. *document présenté au sixième Congress of the Asian and Pacific regional Division, Int. Assoc. Hydraul. Res., Kyoto, Japon, 1988.*

Liu, P. L.-F. , S-B. Woo, et Y-S Cho. Computer programs for tsunami propagation and inundation. Rapport technique, Cornell University, 1998.

Mansinha, L. et Smylie, D. E. The displacement fields of inclined faults, *B. Seismol. Soc. Am.*, 61(5), 1433–1440, 1971.

Mori, N. Overview of the 2011 Tōhoku Earthquake Tsunami Survey Results. 2012.

Disponible en ligne :

[http://www.worldscibooks.com/etextbook/8253/8253\\_chap07.pdf](http://www.worldscibooks.com/etextbook/8253/8253_chap07.pdf).

Okada, Y. Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space, *B. Seismol. Soc. Am.*, 75, 1135–1154, 1985. Shuto, N. et Goto, C.: Numerical simulations of the transoceanic propagation of Tsunamis, dans le: Sixth Congress Asian and Pacific Regional Division, International Association for Hydraulic Research, Kyoto, Japon, 1988.

Senarath, S. U. S., Ogden, F. L., Downer, C. W., et Sharif, H. O. On the calibration and verification of two-dimensional, distributed, Hortonian, continuous watershed models. *Wat. Resour. Res.* 36(6), 1495-1510, 2000.

Dao, M. H., et P. Tkalich, 2007: Tsunami propagation modelling – a sensitivity study. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 7, 741–754.

Shuto, N. Numerical simulation of tsunamis—its present and near future. *Nature's Hazards*, 4:171–191, 1991.

### **Infrastructure**

Kovacs, P Reducing the Risk of Earthquake Damage in Canada: Lessons from Haiti and Chile. Institut de prévention des sinistres catastrophiques, novembre 2010

Kovacs, P., Kunreuther, H. Managing Catastrophic Risk : Lessons from Canada. IPSC/BAC Conférence sur les tremblements de terre, Simon Fraser University, Vancouver, 23 mars 2001



## 17 Au sujet d'AIR Worldwide

AIR Worldwide (AIR) est une société scientifique chef de file et un fournisseur très respecté de logiciels de modélisation du risque et de services consultatifs. AIR a fondé l'industrie de modélisation des catastrophes en 1987. De nos jours, la société AIR modélise les risques allant de catastrophes naturelles au terrorisme dans plus de 90 pays. Plus de 400 clients provenant des domaines de l'assurance, de la réassurance, des finances, des entreprises et de l'État comptent sur les logiciels et les services de la société AIR pour la gestion du risque catastrophique, les titres liés à l'assurance, des analyses techniques sur les séismes et les vents sur des sites particuliers, et la gestion des risques agricoles. AIR est membre du groupe Verisk Insurance Solutions chez Verisk Analytics (nasdaq : VRSK) et a son siège social à Boston en plus d'autres bureaux en Amérique du Nord, en Europe et en Asie. Pour de plus amples renseignements, veuillez parcourir [www.air-worldwide.com](http://www.air-worldwide.com).