

**GESTION PUBLIQUE DU RISQUE DE TREMBLEMENT DE TERRE**

---

par

**Chantal Pelletier  
(059309)**

**Mémoire présenté au Département de science économique  
Université d'Ottawa**

**pour l'obtention du diplôme de Maîtrise**

**Directeur du mémoire: Professeur S. Perrakis**

**ECO-7997**

**Ottawa, Ontario**

**Novembre, 1996**

## TABLE DES MATIÈRES

0.	INTRODUCTION	1
1.	DÉFICIENCES DE MARCHÉ	3
1.1	Théorie de la demande d'assurance et d'auto-assurance	3
1.2	Théorie de l'offre d'assurance	10
1.3	Déconsidération de coûts sociaux	16
1.4	Problèmes informationnels	19
1.5	Modélisation	
1.5.1	Demande d'assurance et d'auto-assurance	21
1.5.2	Offre d'assurance	28
1.5.3	Équilibre de marché	35
2.	ANALYSE DU MARCHÉ CANADIEN	37
2.1	Zones sismiques canadiennes	37
2.2	Impact économique	39
2.3	Demande d'assurance	40
2.4	Offre d'assurance	41
2.5	Réassurance	45
2.6	Code national du bâtiment	46
3.	CADRE PUBLIC DE GESTION DU RISQUE	48
3.1	Cadre de gestion du risque	49
3.2	Déviations par rapport aux niveaux optimaux	51
4.	MÉCANISMES DE CORRECTION	52
4.1	Diffusion d'information	53
4.2	Assurance obligatoire	54
4.3	Assurance publique "expost" obligatoire	55
4.4	Codes du bâtiment	56
4.5	Réassurance	
4.5.1	Fonds privé de réassurance	57
4.5.2	Réassurance publique	61
4.6	Réserves catastrophiques	62
5.	PROPOSITIONS DE L'INDUSTRIE AMÉRICAINE	68
5.1	Coassurance des risques résidentiels	71

5.2	Réassurance publique excédentaire	74
6.	RECOMMANDATIONS	74
Annexe 1:	Élasticité de la demande d'assurance	80
Annexe2:	Relation entre la surcharge actuarielle et la variance	83
Annexe3:	Réduction de primes attribuable au déductible	86
Annexe4:	Fonction de demande d'assurance	88
	Bibliographie	91

## 0. INTRODUCTION

Plus de 25,000 tremblements de terre ont été enregistrés au Canada durant les derniers quatre cents ans. Le plus récent choc séismique majeur (6 sur l'échelle de Richter) survenu ces 50 dernières années a été observé dans la région du Saguenay, au Québec, en 1988. Depuis le début du centenaire, 8 chocs séismiques d'une magnitude variant entre 7 et 8 sur l'échelle de Richter<sup>1</sup> ont survenu dans l'est et l'ouest du Canada dont le plus important a été observé près de l'Archipel de la Reine Charlotte en 1948. Selon certains experts du Pacific Geoscience Centre Seismologist, un tremblement de terre de l'ordre de 8.2 et 9.3 sur l'échelle de Richter est très probable en Colombie-Britannique et, malgré des normes supérieures de construction au Canada, les pertes seraient sévères.

Le risque séismique est considéré comme étant le plus dévastateur de l'industrie de l'assurance au Canada. Selon le président de Munich Réassurance, la Colombie-Britannique est présentement exposée à des chocs séismiques pouvant occasionner des pertes économiques de l'ordre de 30 milliards, dont 10 milliards constituent des pertes assurées. Malgré l'amplitude des pertes potentielles pouvant résulter de la réalisation d'un tremblement de terre majeur, une faible proportion de la population vivant dans les zones à risque est assurée contre ce risque. De plus, malgré un faible taux de participation à l'assurance tremblement de terre, les assureurs ne possèdent pas le capital nécessaire pour faire face aux pertes potentielles assurées et la tarification actuelle des risques est inadéquate.

---

<sup>1</sup>L'échelle logarithmique de Richter mesure l'amplitude du mouvement de la terre. Une augmentation de 1 point signifie une augmentation 10 fois plus grande de l'amplitude.

Le Bureau d'assurance du Canada (BAC) a entrepris des démarches auprès de l'industrie et des divers paliers gouvernementaux afin de redresser la situation actuelle. Le BAC a présenté un plan de redressement visant à augmenter le taux de participation à l'assurance tremblement de terre et requérant l'instauration de mesures fiscales et réglementaires visant à solidifier la capitalisation des assureurs. L'importance des déficiences actuelles du marché de l'assurance tremblement de terre, l'ampleur des pertes économiques potentielles et les propositions de l'industrie justifient une analyse plus approfondie des facteurs à l'origine des imperfections de marché dans un contexte plus général de gestion publique du risque sismique canadien.

La gestion du risque constitue un ensemble de mécanismes permettant à une unité économique d'atteindre certains objectifs en regard à ses expositions aux risques. Les objectifs publics de gestion des risques catastrophiques sont généralement définis par rapport à trois niveaux soient l'adoption de mesures préventives et de mesures de transfert optimal du risque avant la réalisation d'un risque, l'adoption de mesures d'intervention d'urgence et l'adoption de plans de redressement et de réorganisation. Or, dans le cadre de ce travail, nous nous intéressons plus spécifiquement aux objectifs à atteindre vis-à-vis des mesures préventives et de transfert optimal du risque.

Ce travail a pour objectif d'identifier les facteurs à l'origine des déficiences de marché des risques rares et catastrophiques, de modéliser la demande et l'offre d'assurance des risques catastrophiques, d'analyser le marché canadien de l'assurance tremblement de terre, de définir les

objectifs sociaux de gestion du risque séismique, d'identifier et proposer des politiques permettant l'atteinte des objectifs publics.

## **1. DÉFICIENCES DE MARCHÉ**

Afin de mieux comprendre les problèmes de marché associés aux risques rares et catastrophiques, cette section présente divers résultats de la théorie économique de l'assurance des risques catastrophiques et rares. La première partie discute de la demande d'assurance et de la substitution entre l'assurance et la prévention. La seconde et la troisième partie traite respectivement de la théorie de l'offre d'assurance et de la déconsidération de coûts externes. La quatrième section étudie les processus individuels de gestion des risques rares.

### ***1.1 Théorie de la demande d'assurance et d'auto-assurance des risques rares***

L'assurance représente principalement un mécanisme de transfert du risque d'un agent averse au risque vers un autre agent économique moins averse au risque moyennant une prime d'assurance. Cette différence au niveau des degrés d'aversion rend possible un échange économiquement avantageux pour les deux parties. Ehrlich et Becker (1972) ont publié un ouvrage plus élaboré redéfinissant la demande optimale d'assurance par rapport aux mécanismes substitués et complémentaires que constituent respectivement l'auto-assurance et l'auto-protection<sup>2</sup>. L'auto-

---

<sup>2</sup>Même si le terme auto-assurance réfère généralement à la rétention du risque par l'intermédiaire de captives ou de fonds d'assurance privés, le terme auto-assurance signifie une réduction des pertes potentielles attribuable à la prévention dans le langage économique.

assurance et l'auto-protection constituent des mécanismes de prévention permettant respectivement de réduire les pertes susceptibles d'être encourues lors de la réalisation d'un sinistre et de réduire la probabilité de réalisation d'un sinistre.

Même si le rôle premier de l'assurance consiste à transférer le risque, l'assurance représente aussi un mécanisme de réduction du risque. Les probabilités de réalisation et les pertes potentielles assurées sont généralement fonction de variables indépendantes et dépendantes du comportement de l'assuré et du niveau de prévention adopté. Conséquemment, dans la mesure où les variables dépendantes peuvent être modélisées et estimées lors de la tarification, l'assurance peut être utilisée pour atténuer les conséquences et la réalisation d'un risque. Le phénomène du hasard moral (où les assurés augmentent le risque en adoptant des comportements négligents) représente essentiellement le résultat d'une tarification insensible à certaines variables de comportement de l'assuré significatives et corrélées avec le risque assuré. La déconsidération de ces variables lors de la tarification est généralement attribuable à un manque d'information, à des coûts de gestion d'information trop élevés, à l'impossibilité de vérifier l'information pertinente ou encore à des structures de marché peu compétitives et offrant peu d'incitations à tarifer en fonction du risque.

### *La demande d'assurance*

Ehrlich et Becker (1972) ont formulé divers résultats sur la demande nette d'assurance  $D_{an}$  (pertes assurées  $D_{ab}$  moins la prime totale payée) et sur le prix net d'assurance  $Prix_A$  ( $prime_A / (1 - prime_A)$  où  $prime_A$  est la prime marginale unitaire d'assurance). Or, puisque nous nous intéressons

d'avantage aux résultats exprimés en fonction du montant d'assurance acheté  $D_{ab}$  et de la prime marginale  $PrimeA$ , les résultats pertinents, aux fins de ce travail, ont été ré-interprétés en fonction de ces dernières variables. De plus, certains autres résultats pertinents ont été développés à partir du modèle d'Ehrlich et Becker. Vous trouverez les démonstrations des résultats ré-interprétés ou développés aux annexes 1,2 et 4. Le modèle d'Ehrlich et Becker nous a permis de formuler les résultats suivants:

- le consommateur maximise son utilité en achetant une assurance complète lorsque la prime marginale unitaire  $PrimeA$  égale la valeur espérée des pertes potentielles<sup>3</sup>.
- L'élasticité- $PrimeA$ ,  $e_{primeA}$ , de la demande brute d'assurance  $D_{ab}$  est égale à (voir démonstration en annexe 1):

$$(1) e_{primeA} = (PrimeA + e_{prixA}) / (1 - PrimeA)$$

où

$e_{prixA}$ : l'élasticité-PrixA de la demande nette d'assurance  $D_{an}$ .

- Toutes autres choses étant égales par ailleurs, la demande nette d'assurance et la demande brute d'assurance sont respectivement égales à (voir la démonstration en annexe 4):

<sup>3</sup>Sous l'hypothèse d'utilité marginale décroissante, le taux marginal de substitution (TMS) pondéré par les probabilités respectives de réalisation des états possibles est égal au rapport des probabilités de réalisation puisque les utilités marginales sont égales dans les états réalisables.  $PrixA$  est, lui-même, égal au rapport des probabilités de réalisation lorsque  $PrimeA$  est égal à  $p$  ( $p$ : probabilité de réalisation de l'état défavorable). Conséquemment, une-couverture complète du risque potentiel représente un comportement optimal.

$$D_{an} = (I_1 - a - I_0 / (1+w)) / (1 / (1+w) + \text{PrixA})$$

$$D_{ab} = (1 / (1 - \text{PrimeA})) * (I_1 - a - I_0 / (1+w)) / (1 / (1+w) + \text{PrimeA} / (1 - \text{PrimeA}))$$

où

$I_0$  : richesse de dotation dans l'état défavorable;

$I_1$  : richesse de dotation dans l'état favorable;

$a$  : constante définie à l'annexe 4.

si le facteur de surcharge est appliqué sur le prix d'assurance actuariellement correct i.e  $\text{PrixA} = p / (1-p)$  (où  $p$  et  $(1-p)$  représentent respectivement la probabilité de réalisation de l'état défavorable et de l'état favorable dans une période donnée) et est indépendant de la probabilité de réalisation du risque, i.e.:

$$(2) \text{PrixA} = (1+w) * p / (1-p)$$

où

$w$ : facteur relatif de surcharge attribuable aux coûts de gestion et à la prime de risque<sup>4</sup>.

Or, en pratique, les assureurs appliquent une surcharge sur la prime pure réelle (espérance du risque). Conséquemment, le prix net d'assurance égale  $(1+w) * p / (1 - (1+w)p) = A * (1+w) * p / (1-p)$  où  $A = (1-p) / (1 - (1+w)p)$  est nécessairement plus grand que 1 car  $w$  est positif. Puisque la dérivée partielle de  $A$  par rapport à  $p$ ,  $w / (1 - (1+w)p)^2$ , est positive, alors on peut déduire que le facteur réel de surcharge,  $A * (1+w)$ , s'accroît avec la probabilité de

---

<sup>4</sup>Nous verrons à la section 1.2 que les assureurs sont averses vis-à-vis du risque.

réalisation du risque. La surcharge,  $w$ , qu'appliquent les actuaires sur la prime pure augmente généralement avec la variabilité du risque assuré. Puisque la variance des risques catastrophiques et rares est grande, alors l'effet net sur prix  $A$  est indéterminé (une explication vous est fournie en annexe 2).

Selon la théorie de la maximisation de l'utilité espérée, la demande d'assurance des risques rares est égale à la perte potentielle lorsque la prime marginale est inférieure à l'espérance de la perte marginale. Aussi, étant donné un facteur relatif de surcharge et des pertes réalisables, la demande d'assurance des risques rares est supérieure à la demande d'assurance des risques à fréquence plus élevée. Nous verrons dans la section 2 que même si la prime d'assurance tremblement de terre actuelle est inférieure à l'espérance du risque, une faible proportion des propriétaires résidentiels achetant la police standard sont couverts contre le risque séismique. La demande actuelle est donc nettement inférieure à la demande théorique. Ces contradictions entre les résultats théoriques et les faits observés nous amènent à conclure que soit les propriétaires immobiliers possèdent de l'information erronée, soit leur processus de décision d'assurance des risques rares est inconsistant avec la théorie de l'utilité, soit la prévention s'est substituée à l'assurance ou encore qu'il existe d'autres facteurs qui découragent l'achat d'assurance<sup>5</sup>. La validité de ces différentes possibilités sera considérée plus loin.

### *L'assurance et l'auto-assurance*

---

<sup>5</sup>Selon André Fredette (Canadian Insurance, March 1995), l'offre actuelle est égale à la demande i.e. que tous les propriétaires désirant une assurance au prix actuel sont couverts contre le risque. La faible proportion des propriétaires résidentiels couverts contre le risque séismique n'est donc pas attribuable à une offre restreinte d'assurance.

Les technologies d'auto-assurance sont généralement définies par rapport à leur productivité marginale  $L'(c)$  ( $L$ : perte potentielle;  $c$ : dépense d'auto-assurance) où  $L'(c) < -1$  i.e.  $L'(c)+1 < 0$  et  $L''(c) > 0$ . Afin d'obtenir une comparaison valable entre l'assurance et l'auto-assurance, on peut définir la prime unitaire marginale d'auto-assurance comme étant égale à  $-1/L'(c)$  où la prime unitaire marginale représente le montant à déboursier pour réduire la perte potentielle de \$1. La prime unitaire marginale d'auto-assurance dépend uniquement du montant auto-assuré ( $L(0) - L(c)$ ). Ehrlich et Becker ont démontré que:

- plus la probabilité de réalisation d'un risque est faible, plus la dépense et la demande d'auto-assurance diminue<sup>6</sup>. Toutes autres choses étant égales par ailleurs, la demande d'auto-assurance des risques rares est inférieure à celle des risques fréquents.
- l'assurance et l'auto-assurance constituent des substituts parfaits<sup>7</sup>. Sous l'hypothèse de productivité marginale décroissante des technologies d'auto-assurance (i.e. où la prime

<sup>6</sup>La dérivée de  $p/(1-p)$  par rapport à  $p$ ,  $1/(1-p)^2$ , est positive. La dérivée du TMS pondéré ( $TMS \cdot p/(1-p)$ ) par rapport à  $p$  est donc positive. À la demande optimale d'auto-assurance,  $TMS \cdot p/(1-p) = \text{PrixAU}$ . Or, puisque le TMS pondéré diminue lorsque  $p$  diminue et que le prix d'auto-assurance ne varie pas avec  $p$ , alors la demande d'auto-assurance diminue avec  $p$ .

<sup>7</sup>Un consommateur maximise son utilité en achetant de l'auto-assurance jusqu'à ce que le prix d'auto-assurance égale le prix d'assurance:

$$\text{PrixA} = \text{PrixAU} = -1/(L'(c)+1)$$

et achètera de l'assurance jusqu'à ce que:

$$\text{PrixA} = p \cdot U'(I_1 - c - L(c) + \text{Dan}) / (1-p) \cdot U'(I_1 - c - \text{PrixA} + \text{Dan})$$

où

$I_1$  : richesse de dotation dans l'état favorable;  
 PrixAU : prix d'auto-assurance.

unitaire marginale d'auto-assurance augmente avec le montant auto-assuré), la demande optimale d'auto-assurance est telle que la prime unitaire marginale d'auto-assurance égale la prime unitaire marginale d'assurance. Une augmentation/diminution du prix d'assurance augmente/diminue la demande d'auto-assurance.

Or, étant donné le bas niveau des primes séismiques actuelles (inférieures aux pertes espérées) et les mesures minimales de prévention contre le risque séismique contenues dans les codes du bâtiment et contribuant peu à réduire l'ampleur des pertes probables (voir section 2), il est peu probable que les faibles niveaux d'assurance observés soient attribuables à la substitution entre la prévention et l'assurance.

En supposant que la valeur de l'objet assuré demeure constante indéfiniment, les niveaux d'auto-assurance qui maximisent l'espérance de la richesse sont tels que la prime d'auto-assurance égale la valeur présente des diminutions espérées de pertes:

$$(3) p^*(1/r) = -1/L'(c);$$

où

- r : taux d'intérêt;
- 1/r : valeur présente d'une perpétuité de \$1;

Les niveaux d'auto-assurance maximisant la richesse espérée peuvent être atteints par l'intermédiaire d'une tarification appliquant des réductions de primes d'assurance égales aux

diminutions espérées de pertes correspondant aux niveaux d'auto-assurance adoptés<sup>8</sup>. Étant donné que la plupart des polices comportent des déductibles, la diminution espérée de pertes correspondant à un niveau d'auto-assurance serait partiellement reflétée par une réduction de la prime d'assurance (voir annexe 3). Par conséquent, dans la mesure où les assurés reconnaissent les bénéfices de la prévention sur le risque qu'ils assument, la demande d'auto-assurance serait égale au niveau maximisant la richesse. Une tarification sensible aux mesures préventives inciterait les assurés à adopter des niveaux de prévention maximisant la richesse espérée.

### *1.2 Théorie de l'offre d'assurance*

L'offre d'assurance est obtenue en maximisant l'utilité espérée d'un assureur sous certaines contraintes de réglementation de solvabilité:

$$\text{Max } E(U(S-O-C(O)+P))$$

s.c.:

$$S \geq 1/3 * P^9$$

où

$E(U)$  : espérance de l'utilité  $U$ ;  
 $S$  : surplus de l'assureur;  
 $O$  : offre totale d'assurance (pertes assurées);

<sup>8</sup>En réalité, les réductions de primes seraient plus élevées que la réduction de l'espérance des pertes car les coûts d'acquisition varient proportionnellement avec la prime pure. Les assurés adopteraient des niveaux de prévention plus élevés que les niveaux maximisant la richesse espérée.

<sup>9</sup>Le Bureau du surintendant des institutions financières exige que les assureurs maintiennent un ratio prime/surplus inférieur ou égal à 3.

C(.) : coûts de gestion<sup>10</sup> et d'ajustement des réclamations;  
P : prime totale d'assurance.

Or, il existe certaines évidences et principes d'assurance nous permettant de conclure quant à l'aversion des assureurs et de modéliser l'offre d'assurance. Plus particulièrement, les assureurs ont généralement une aversion absolue<sup>11</sup> vis-à-vis du risque décroissante avec le surplus. En pratique, l'aversion d'un assureur se mesure par rapport à sa probabilité de faillite i.e. la probabilité que les pertes assurées soient supérieures au surplus de l'assureur. En général, les assureurs ont tendance à conserver une probabilité de faillite inférieure ou égale à un seuil maximal de probabilité de faillite (voir discussion à la section 1.5.2). L'offre d'assurance est déterminée en fonction du seuil maximal de probabilité de faillite et d'autres paramètres et critères discutés ici-bas. Ces derniers nous permettront, plus tard, de modéliser l'offre d'assurance.

### *Critères d'assurance*

Un risque est assurable s'il existe un grand nombre d'unités d'exposition homogènes et indépendantes exposées au risque, si la perte survient dans une période bien définie; si la fréquence et la sévérité sont déterminables et si la perte potentielle est petite par rapport à la capacité de l'assureur.

---

<sup>10</sup>Les coûts de gestion des assureurs comprennent des coûts fixes et des coûts d'acquisition qui varient proportionnellement avec le volume d'affaire.

<sup>11</sup>Arrow mesure l'aversion absolue comme suit:  $RA(W) = -U''(W)/U'(W)$  où  $W$ : richesse. Plus  $RA$  est élevé, plus un agent est averse vis-à-vis du risque.

Les deuxième et troisième conditions déterminent la précision avec laquelle l'assureur peut tarifer le risque en question. Aussi, un risque dont les paramètres statistiques sont inconnus comporte une incertitude plus grande. Les assureurs sont, en général, plus averses vis-à-vis des risques incertains<sup>12</sup> puisque les pertes réelles assurées peuvent être supérieures à leurs anticipations. Une sous-estimation des pertes assurées résulte en une sous-estimation systématique de la probabilité de faillite et une sous-tarification du risque assumé.

Les première et quatrième conditions permettent à l'assureur de minimiser sa probabilité de faillite. L'indépendance des unités d'exposition est essentielle au mécanisme d'assurance pour deux principales raisons:

- elle permet de répartir les pertes des sinistrés sur un ensemble d'assurés homogènes;
- elle minimise la probabilité de faillite des assureurs en minimisant la variance des pertes annuelles encourues<sup>13</sup> et, conséquemment, la variabilité du surplus des assureurs.

Les risques naturels tels les tremblements de terre et les tornades comportent des problèmes d'indépendance car tous les assurés résidant dans une même zone à risque subissent des pertes

---

<sup>12</sup>Voir "Insurers Ambiguity and Market Failure", Kunreuther, 1993.

<sup>13</sup>Soient X: pertes assurées de l'assuré 1 et Y: pertes assurées de l'assuré 2. La variance de  $X+Y$ ,  $\text{Var}(X+Y)$ , est égale à  $\text{Var}(X)+\text{Var}(Y)+2*\text{Cov}(X,Y)$ . La  $\text{Cov}(X,Y)$  est respectivement positive, nulle, négative lorsque les pertes des assurés sont positivement corrélées, indépendantes et négativement corrélées. La variance des pertes corrélées positivement est donc supérieure à la variance des risques indépendants.

simultanément i.e. que les risques des unités d'exposition homogènes sont quasi parfaitement corrélés. Cette corrélation rend l'assureur particulièrement vulnérable au risque de faillite.

L'homogénéité permet à l'assureur d'éviter la sélection adverse résultant d'une tarification favorable en faveur des mauvais risques. En effet, une même tarification appliquée sur des risques différents incite les assurés ayant des risques plus élevés à acheter la police et décourage les bons risques à s'assurer. Ce qui résulte en une augmentation continue des pertes, et conséquemment, en une augmentation des primes afin de couvrir les pertes de plus en plus élevées. L'équilibre de marché dépend donc du degré d'aversion des agents et de la structure de marché. L'équilibre dans un marché compétitif est généralement caractérisé par une tarification basée sur le risque car les assureurs offrant une tarification uniforme perdent les bons risques au profit des mauvais risques.

La quatrième condition concrétise l'aversion des assureurs par l'établissement d'un ratio pertes potentielles sur capacité acceptable i.e. un seuil acceptable de probabilité de faillite. En pratique, ce ratio reflète aussi le souci de solvabilité des institutions publiques de réglementation vis-à-vis des assureurs. En effet, ces derniers doivent généralement posséder un ratio de souscription inférieur ou égal à un ratio maximal de souscription déterminé par les institutions publiques de réglementation. Au Canada, le Bureau du surintendant des institutions financières limite le risque de faillite des assureurs, pouvant résulter d'une trop grande souscription de risques, en exigeant un ratio prime/surplus inférieur ou égal à 3.

### *Degré d'adhésion du risque de tremblement de terre aux critères d'assurance*

Le risque séismique comporte certains problèmes de conformité aux principes d'assurance - la variabilité estimée est élevée étant donné la corrélation entre les risques et la fréquence de réalisation et les pertes réalisables sont difficiles à estimer.

La réalisation d'un tremblement de terre affecte simultanément toutes les unités d'exposition situées dans un certain rayon de distance par rapport à l'épicentre. Munich Réassurance estime que la réalisation d'un tremblement de terre d'une intensité 6.5 sur l'échelle de Richter dans le Détroit de Georgia<sup>14</sup> au niveau de Vancouver affecterait la ville de Vancouver et les villes environnantes soit approximativement 1.5 millions de personnes. De plus, les assureurs sont incapables de diversifier le risque séismique sur l'ensemble des zones risquées puisque le tiers de la population canadienne vit dans les deux zones à risque. Cette corrélation entre les risques augmente significativement la variance du portefeuille de risques séismiques des assureurs.

Le risque séismique est difficile à tarifer étant donné l'ambiguïté concernant les vrais paramètres de risque tels la fréquence de réalisation (espérance et variance) et les pertes espérées (et la variabilité de ces dernières). La quasi-impossibilité de déterminer les paramètres réels de risque avec un niveau de confiance acceptable rend généralement les assureurs plus averses vis-à-vis du risque séismique. (Camerer et Kunreuther, 1989) "The greater ambiguity aversion of insurers helps explain the failure of private insurance markets against ambiguous risks such as

---

<sup>14</sup>Le Détroit de Georgia est le bras de mer qui sépare l'île de Vancouver du littoral continental.

environmental pollution, earthquake losses, and nuclear power plant accidents: The premium that insurers would want to charge is likely to be much higher than the potential client is willing to pay." Les problèmes d'information imparfaite ont été partiellement résolus depuis quelques années avec la venue de modèles de simulation sophistiqués (IRAS et EQE). Ces derniers améliorent la capacité des assureurs à mesurer la probabilité et l'amplitude des pertes reliées aux divers tremblements de terre probables.

L'offre d'assurance d'un assureur dépend de la variabilité associée au risque, de l'incertitude quant aux valeurs intrinsèques du risque et du seuil maximal de probabilité de faillite des assureurs. Une plus grande variabilité et incertitude de même qu'un faible seuil maximal de probabilité de faillite augmente l'aversion d'un assureur vis-à-vis d'un risque. Les pertes des assureurs peuvent être réduites en augmentant les déductibles des polices et en réduisant le nombre de polices offertes (diminution de l'offre d'assurance) ou en transférant une partie des pertes assurées aux réassureurs.

La réassurance permet aux assureurs de transférer une partie de leurs risques aux réassureurs afin de conserver un seuil acceptable de probabilité de faillite et/ou de réduire la variabilité et l'incertitude d'un risque en transférant la partie la plus variable ou incertaine aux réassureurs. Selon Kunreuther (1993), la réassurance contribue peu à réduire la probabilité de faillite des assureurs américains. Un tremblement de terre d'une intensité 8.3 sur l'échelle de Richter en Californie provoquerait une diminution de 1/3 du surplus total de l'ensemble des assureurs américains. De plus, 45% des assureurs ayant un surplus inférieur à \$2 milliards (petits et moyens

assureurs) subiraient des pertes supérieures à leur surplus avant et après réassurance. Aussi, 57% et 50% des assureurs ayant un surplus supérieur à \$2 milliards encourraient une réduction de surplus significative respectivement avant et après réassurance.

Outre une réduction dans l'offre d'assurance et la réassurance des risques assurés, l'incitation à la prévention constitue un autre mécanisme permettant de réduire la probabilité de faillite en diminuant les pertes potentielles réalisables. Une tarification basée sur l'adoption de mesures préventives inciterait les assurés à la prévention dans la mesure où les coûts de prévention sont inférieurs aux réductions de primes. En principe, les réductions de primes rattachées à un niveau de prévention correspondent aux diminutions de pertes espérées. Par conséquent, l'existence de technologies d'auto-assurance permettant des diminutions de pertes espérées supérieures aux coûts d'auto-assurance constitue la base de l'implantation d'un système de tarification sensible à la prévention. Au Canada, l'efficacité des diverses technologies d'auto-assurance, le niveau de prévention maximisant la richesse sociale de même que la diminution des pertes correspondantes n'ont pas été estimés. Dans la mesure où l'efficacité de technologies d'auto-assurance à réduire les pertes réalisables peut être démontrée, alors la faisabilité d'une tarification basée sur la prévention devrait être examinée.

### ***1.3 Déconsidération des coûts sociaux***

Les coûts que considèrent les agents dans la gestion de leurs risques dépendent de l'efficacité du système légal en vigueur à reconnaître la responsabilité d'un agent vis-à-vis des dommages causés

à autrui, des programmes gouvernementaux d'aide aux sinistrés et de la capacité de payer des agents (coût maximum). Or, nous nous attarderons plus particulièrement à la déconsidération des coûts pouvant résulter des programmes d'aide aux sinistrés puisqu'il est raisonnable d'affirmer que la déconsidération de coûts provenant du système légal sont minimales étant donné que ce dernier reconnaît la responsabilité d'un agent vis-à-vis des dommages infligés à autrui résultant de la possession d'un bien.

Lewis et Nickerson ont démontré que l'existence d'un programme d'indemnisation aux sinistrés (où l'État compense pour le manque à gagner entre la valeur immobilière dans l'état réalisé et un niveau minimal  $M^{15}$ ) incite les agents à adopter des niveaux de prévention inférieurs aux niveaux maximisant la richesse. L'exclusion des états réalisables les plus défavorables, assumés par l'État (ceux dont la valeur immobilière est inférieure à  $M$ ), incite les agents à adopter des niveaux de prévention insuffisants.

Même si la déconsidération de coûts résultant de programmes d'aide aux sinistrés peut expliquer les bas niveaux d'assurance et d'auto-assurance traditionnellement observés chez les risques rares et catastrophiques, il n'existe pas d'évidences empiriques permettant de confirmer ce fait. L'enquête effectuée par Kunreuther (1979) auprès de résidents vivant dans des zones à risque d'inondation élevé en Californie, afin d'expliquer le faible taux de participation au programme national d'assurance inondation et les niveaux inadéquats de prévention dans ces mêmes zones, a

---

<sup>15</sup> Les auteurs ont cité plusieurs études démontrant que  $M$  est fixé par rapport à des facteurs d'équité et politiques.

démontré que même si la plupart des résidents non assurés reconnaissent l'existence de ces programmes, la plupart n'anticipaient aucune aide financière du gouvernement. De plus, les répondants considéraient la réalisation d'une inondation tellement improbable qu'ils n'avaient même pas songé aux conséquences d'un tel sinistre.

Les programmes gouvernementaux d'aide financière découragent la prévention et le transfert du risque dans la mesure où les agents reconnaissent le risque auquel ils sont exposés et, par la suite, considèrent les façons de gérer ce risque. De plus, l'incertitude quant à l'obtention d'une aide gouvernementale est considérable. En effet, il existe une incertitude quant à la possibilité de recevoir une aide gouvernementale et quant au montant de la compensation. Puisque le Canada possède une expérience séismique plus limitée que les États-Unis, les niveaux de protection des programmes gouvernementaux<sup>16</sup> sont d'autant moins définis et certains. Au Canada, il n'existe pas de données nous permettant de quantifier l'impact des programmes de compensation sur les décisions des agents. Pour toutes ces raisons, ces programmes ne seront pas considérés comme étant des facteurs importants de distorsion.

Cependant, les inondations récentes survenues dans la région du Saguenay de même que le niveau de compensation accordé aux sinistrés auront certainement un impact sur le processus de gestion

---

<sup>16</sup>Sous le programme "Disaster Financial Assistance Arrangements", le gouvernement fédéral assume, à la demande de la province, les dépenses éligibles dans les proportions suivantes:

premier \$1 per capita	:	0%
\$2 supplémentaires per capita	:	50%
\$2 supplémentaires per capita	:	75%
dépenses supplémentaires	:	90%

Les dépenses éligibles incluent les dépenses nécessaires pour restaurer les infrastructures et les biens essentiels aux citoyens tels les résidences primaires et les appareils ménagers.

des risques des Canadiens. Plus particulièrement, il est raisonnable de croire que les lacunes informationnelles et les comportements irrationnels discutés ici-bas seront atténués et que les distortions pouvant résulter des programmes d'aide aux sinistrés s'intensifieront. Les gouvernements auraient donc intérêt à sonder les Canadiens sur leurs changements de comportement vis-à-vis leurs perceptions des risques catastrophiques et leurs attentes vis-à-vis des programmes de compensation gouvernementaux avant d'instaurer une quelconque politique de gestion du risque séismique.

#### *1.4 Problèmes informationnels*

Les résultats présentés ci-dessus présument que les agents possèdent l'information pertinente sur le risque et les mesures de prévention disponibles et qu'ils agissent rationnellement. Or, ces hypothèses d'information parfaite et de rationalité semblent inadéquates pour les risques rares et catastrophiques<sup>17</sup>. En effet, plusieurs études et analyses de cas tendent à démontrer que les propriétaires résidentiels possèdent de fausses croyances quant aux risques rares, et adoptent des comportements irrationnels dans leur processus de décision. La différence marquée entre les niveaux d'assurance des propriétaires résidentiels et des propriétaires commerciaux semble soutenir l'hypothèse d'information erronée et d'irrationalité. En effet, les propriétaires commerciaux sont davantage assurés contre le risque séismique que les propriétaires résidentiels. Il est généralement reconnu que les entreprises agissent plus rationnellement que les

---

<sup>17</sup>voir Camerer et Kunreuther 1989

consommateurs afin de maximiser leur richesse et ont accès à des réseaux d'information plus développés.

Selon Kunreuther et Kleffner (1992), l'irrationalité vis-à-vis du processus de gestion des risques rares et catastrophiques origine de deux principaux facteurs soient la présence d'un seuil minimal de probabilité de réalisation en deçà duquel les agents ignorent le risque et le manque de considération des états réalisables dans un avenir plus lointain. La perception de la probabilité de réalisation constitue un élément déclencheur au processus de gestion des risques rares et catastrophiques. Les agents ne prendront aucune initiative visant à gérer le risque si la probabilité subjective de réalisation du risque est inférieure à un seuil minimal de considération  $p_{\min}$ . Si la probabilité de réalisation est supérieure à ce seuil, alors les agents examineront les diverses alternatives de gestion du risque disponibles.

La prise de conscience des risques assumés par les agents représente donc une variable essentielle à l'adoption de comportements optimaux de gestion du risque. Les croyances typiques erronées résultant de certaines attitudes optimistes telles "ça n'arrive qu'aux autres", du manque de données disponibles et du manque d'expérience des gens vis-à-vis des risques rares et catastrophiques doivent être corrigées. La sous-estimation systématique des probabilités de réalisation intensifie l'irrationalité résultant du seuil minimal de considération.

En plus de ne considérer que les risques comportant une probabilité de réalisation supérieure à un niveau minimum, les gens ont tendance à ne considérer que les états réalisables dans un avenir

proche. Cela permet d'expliquer cette tendance qu'ont les agents économiques à ne reconnaître que les coûts des mesures de prévention sans reconnaître les bénéfices à long terme rattachés à ces dernières. En effet, les bénéfices de prévention s'étalent sur la durée de vie du bien immobilier alors que les coûts sont encourus lorsque les mesures préventives sont implantées. Une tarification sensible à la prévention permettrait de mettre immédiatement en évidence les bienfaits futurs de la prévention en réduisant les primes d'assurance.

### ***1.5 Modélisation de la demande d'assurance/d'auto-assurance, de l'offre d'assurance et de l'équilibre de marché***

Aux fins de modélisation de la demande d'assurance, d'auto-assurance, de l'offre d'assurance et de l'équilibre du marché de l'assurance, nous supposerons qu'il existe  $n$  consommateurs identiques et que chaque consommateur est exposé à deux états possibles soient l'état favorable où la perte est nulle et l'état défavorable où la perte est égale à  $L$ . La probabilité de réalisation de l'état favorable et défavorable est respectivement  $1-p$  et  $p$ .

#### ***1.5.1 Demande d'assurance et d'auto-assurance***

Afin de modéliser la demande d'assurance et d'auto-assurance, nous utiliserons un programme de maximisation de l'utilité en modifiant certains paramètres reflétant les divers résultats présentés dans la section 1.4 (Kunreuther a discuté brièvement des impacts de la sous-estimation de la probabilité de réalisation en 1992 sans formaliser le problème informationnel). Puisque le programme de maximisation décrit par Ehrlich et Becker maximise l'utilité ( $U'(I) > 0$  et  $U''(I) < 0$

où  $I$  est la richesse) en considérant l'assurance et l'auto-assurance simultanément, alors nous utiliserons ce dernier en remplaçant les paramètres réels de risque par les paramètres subjectifs des agents et en y intégrant un seuil minimal de considération discuté plus tôt. Afin d'obtenir la fonction de demande d'assurance et d'auto-assurance, nous devons maximiser l'utilité espérée d'un consommateur par rapport à  $D_{an}$  et  $c$ :

$$\text{Max } U = (1-p') \cdot U_1(I_1 - c - \text{prixA} \cdot D_{an}) + p' \cdot U_0(I_1 - L_s(c) - c + D_{an})$$

s.c.

$$p_{\min} \leq p' \leq p$$

C.D.P.O

$$(i) -(1-p') \cdot U'_1(D_{an}; c) \cdot \text{prixA} + p' \cdot U'_0(D_{an}; c) = 0$$

$$\Leftrightarrow \text{prixA} = p' \cdot U'_0(D_{an}; c) / (1-p') \cdot U'_1(D_{an}; c)$$

$$(ii) -(1-p') \cdot U'_1(c; D_{an}) - p' \cdot U'_0(c; D_{an}) \cdot (L'_s(c) + 1) = 0$$

$$\Leftrightarrow \text{prixAU} = -1 / (L'_s(c) + 1) = p' \cdot U'_0(c; D_{an}) / (1-p') \cdot U'_1(c; D_{an}) = \text{PrixA}$$

où

- $p_{\min}$  : seuil minimal de probabilité pour que l'agent considère son exposition au risque;
- $p'$  : probabilité de réalisation subjective du risque;
- $U'$  : dérivée partielle première de l'utilité par rapport à la richesse;
- $c$  : dépense d'auto-assurance;
- $\text{prixA}$  : prix net d'assurance;
- $\text{prixAU}$  : prix net d'auto-assurance;
- $D_{an}$  : demande nette d'assurance;
- $L_s(c)$  : perte subjective correspondant à la perte réelle  $L(c)$  de l'état défavorable lorsqu'une dépense d'auto-assurance  $c$  a été encourue -  $L'_s(c) < -1$  et  $L''_s(c) > 0$ ;
- $I_1$  : richesse de dotation dans l'état favorable.

À l'équilibre, le prix d'auto-assurance  $\text{prixAU}$  est égal au prix d'assurance  $\text{prixA}$ . En supposant que  $\text{prixAU}$  est inférieur à  $\text{prixA}$  lorsque  $c=0$  i.e. au point de dotation des états, alors l'agent s'auto-assure jusqu'à ce que le prix d'auto-assurance soit égal au prix d'assurance. Par la suite, il s'assure jusqu'à ce que le taux marginal de substitution pondéré soit égal à  $\text{prixA}$ . Afin de mettre en évidence les impacts résultant des déficiences d'information et d'irrationalité, on peut résumer la demande optimale d'auto-assurance et d'assurance  $(c^*, D_{an}^*)$  en fonction de  $p'$  comme suit<sup>18</sup>:

$$p' = p$$

$$(0, D_{an1}^* > 0)^{19}; \quad \text{si } \text{prixAU}(c=0) \geq \text{prixA} < \text{TMS}_{p'=p}(I_1, I_0)$$

$$(c_1^* > 0, 0)^{20}; \quad \text{si } \text{prixA} \geq \text{TMS}_{p'=p}(I_1, I_0) > \text{prixAU}(c=0) \text{ ou si } \\ \text{prixAU}(c=0) < \text{prixA} < \text{TMS}_{p'=p}(I_1, I_0) \quad \text{et } \text{prixAU}(c^*) \leq \\ \text{prixA} \geq \text{TMS}_{p'=p}(I_1 - c^*, I_1 - L_s(c^*) - c^*)$$

$$(0, 0)^{21}; \quad \text{si } \text{prixA} \geq \text{TMS}_{p'=p}(I_1, I_0) \leq \text{prixAU}(c=0)$$

$$(c_2^* > 0, D_{an2}^* > 0)^{22}; \text{ si } \text{prixAU}(c=0) < \text{prixA} < \text{TMS}_{p'=p}(I_1, I_0) \text{ et}$$

<sup>18</sup>Les termes et les expressions situés en notes de bas-de-page ont été tronqués afin de ne pas alourdir les explications.

<sup>19</sup> $L' < -1$  et  $L' > 0 \Leftrightarrow c \uparrow \Rightarrow \text{PrixAU} = -1 / (L'(c) + 1) \uparrow$ .  $\text{PrixAU}(c=0) \geq \text{prixA}$  et  $(c \uparrow \Rightarrow \text{PrixAU} \uparrow) \Rightarrow \text{PrixAU}(c) \geq \text{prixA} \forall c \geq 0 \Rightarrow c=0$ .

<sup>20</sup>La demande d'assurance est nulle lorsque le prix d'assurance est supérieur au montant que l'agent est prêt à déboursier pour transférer \$1 dans l'état défavorable au point de dotation et lorsque le prix d'assurance est supérieur au prix d'auto-assurance dans les états pour lesquels le prix d'assurance est inférieur au montant que l'agent est prêt à déboursier pour transférer un \$1 dans l'état défavorable.

<sup>21</sup>Les prix d'assurance et d'auto-assurance sont supérieurs au montant que l'agent est prêt à déboursier pour augmenter sa richesse de \$1 dans l'état défavorable.

<sup>22</sup>L'auto-assurance se substitue à l'assurance jusqu'à ce que le prix d'auto-assurance égale le prix d'assurance. Par la suite, l'agent s'assure jusqu'à ce que le prix d'assurance surpasse le taux marginal de substitution pondéré.

$$\text{si } \text{prixAU}(c^*) = \text{prixA} < \text{TMS}_{p'=p}(I_1 - c^*, I_1 - L_s(c^*) - c^*)$$

où

$I_0$  : richesse de dotation dans l'état défavorable ( $I_1 - L_s(c=0)$ );  
 $\text{TMS}_{p'}(I_F, I_D)$  : taux marginal de substitution pondéré par les probabilités respectives de réalisation des états favorable  $I_F$  et défavorable  $I_D$ :  $p' \cdot U'(I_D) / (1-p') \cdot U'(I_F)$ .

$$p_{\min} \leq p' < p$$

Pour les mêmes sous-ensembles de  $\text{prixA}$  et  $\text{prixAU}$  ci-dessus, on a:

$$(0, D_{an1}^{**} < D_{an1}^*)^{23}$$

$$(c_1^{**} < c_1^*, 0)$$

$$(0, 0)$$

$$(c_2^{**} \leq c_2^*, D_{an2}^{**} < D_{an2}^*)^{24}$$

$$p' < p_{\min}$$

$(0, 0)^{25}$ ; pour tout  $\text{prixAU}$  et  $\text{prixA}$ .

<sup>23</sup>  $p' < p \Rightarrow \text{TMS}_{p' < p} = p' / (1-p') \cdot \text{TMS non-pondéré} < p / (1-p) \cdot \text{TMS non-pondéré} \Rightarrow \text{TMS}_{p' < p \text{ non-pondéré}} > \text{TMS}_{p'=p \text{ non-pondéré}} \Rightarrow D_{an1}^{**} < D_{an1}^*$ .

<sup>24</sup> Pour tout  $\text{prixAU}$  et  $\text{prixA}$  tel que  $\text{prixAU}(c=0) < \text{prixA} < \text{TMS}_{p' < p}(I_1, I_0)$  et  $\text{prixAU}(c^*) = \text{prixA} < \text{TMS}_{p' < p}(I_1 - c^*, I_1 - L_s(c^*) - c^*)$ ,  $c_2^{**} = c_2^*$  car  $\text{prixA}$  et  $\text{prixAU}$  ne varient pas avec  $p'$  ( $\text{prixA}$  varie avec  $p$  seulement).

<sup>25</sup> Les agents ignorent le risque lorsque  $p' < p_{\min}$ .

Or, on observe que lorsque l'agent sous-estime la probabilité de réalisation du sinistre, la demande nette d'assurance et la demande d'auto-assurance sont inférieures ou égales à la demande d'assurance et d'auto-assurance lorsque  $p' = p$ .

### *Demande brute d'assurance*

En supposant que l'élasticité  $D_{an-prixA}$  est supérieure à  $primeA$  (i.e. que la demande brute d'assurance diminue lorsque  $primeA$  augmente; voir annexe 1), on peut modéliser la demande brute d'assurance  $D_{ab}$ , étant donné une dépense optimale d'auto-assurance déterminant la perte assurable  $L_s(c^*)$  (i.e. pour tout  $prixAU$  et  $prixA$  tel que  $c_2^{**} = c_2^*$ ), en fonction de la prime unitaire marginale d'assurance  $primeA$ .

$$p = p'$$

$$D_{ab1}^* = L_s(c^*)^{26}; \quad \text{si } primeA * L_s(c^*) \leq E(L_s(c^*)) = p * L_s(c^*) + (1-p) * 0$$

$$0 < D_{ab2}^* < L_s(c^*)^{27}; \quad \text{si } primeA * L_s(c^*) > E(L_s(c^*)) \text{ et } primeA / (1 - primeA) < TMS_{p'=p}(I_1 - c^*, I_1 - L_s(c^*) - c^*)$$

$$D_{ab3}^* = 0^{28}; \quad \text{si } primeA / (1 - primeA) > TMS_{p'=p}(I_1 - c^*, I_1 - L_s(c^*) - c^*)$$

<sup>26</sup>Voir les résultats sur la demande d'assurance présentés à la section 1.1.

<sup>27</sup> $primeA * L > E(L) = p * L \Leftrightarrow primeA > p \Rightarrow prixA = primeA / (1 - primeA) > p / (1 - p) \Rightarrow TMS(IF^*, ID^*) \text{ non-pondéré} > 1 \Rightarrow IF^* > ID^*$  car  $TMS(IF^* = ID^*) \text{ non-pondéré} = 1 \Rightarrow D_{ab2}^* < L_s(c^*)$  car  $ID^* < IF^*$  et  $ID^* = IF^* - L_s(c^*) + D_{ab}$  où  $IF^*$  et  $ID^*$  représentent respectivement la richesse optimale dans l'état favorable et défavorable.

<sup>28</sup>Le prix d'assurance est supérieur au taux marginal de substitution i.e. que  $PrixA$  est supérieur au montant que l'agent est prêt à déboursier pour augmenter la richesse de l'état défavorable de \$1.

$$p_{min} < p' < p$$

Pour les mêmes sous-ensembles de prime A ci-dessus, on a:

$$D_{ab1}^{**} \leq L_s(c^*); \quad \text{car } E'(L_s(c^*)) = p' * L_s(c^*) + (1-p') * 0 < E(L_s(c^*))$$

$$D_{ab2}^{**} < D_{ab2}^{*29};$$

$$D_{ab3}^{**} = 0; \quad \text{car } TMS_{p'=p}(I_1 - c^*, I_1 - L_s(c^*) - c^*) > TMS_{p'<p}(I_1 - c^*, I_1 - L_s(c^*) - c^*)$$

$$p' < p_{min}$$

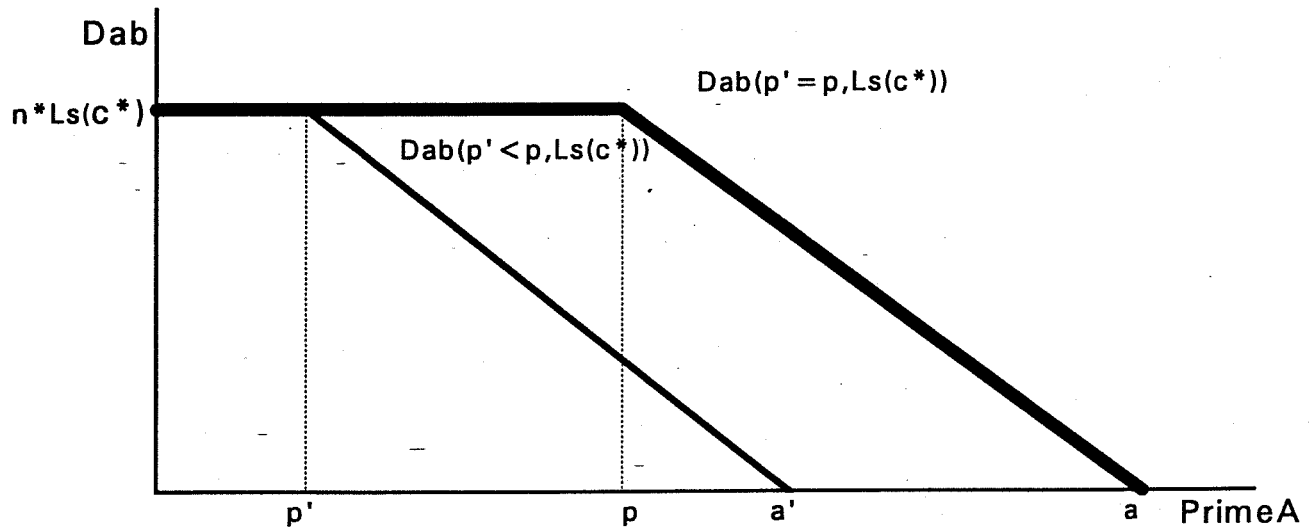
$$D_{ab4}^{**} = 0$$

La demande brute d'assurance en fonction de la prime d'assurance est illustrée ci-dessous:

### GRAPHIQUE 1<sup>30</sup>

<sup>29</sup>  $p' / (1-p') * TMS(IF, ID) < p / (1-p) * TMS(IF, ID) \Rightarrow TMS_{p'<p}(IF^*, ID^*) \text{ non-pondéré} > TMS_{p'=p}(IF^*, ID^*) \text{ non-pondéré}$  car  $p' / (1-p') * TMS(IF^*, ID^*) \text{ non-pondéré} = p / (1-p) * TMS(IF^*, ID^*) \text{ non-pondéré} = \text{prixA} \Rightarrow D_{an}(p'<p) < D_{an}(p'=p) \Rightarrow D_{ab}(p'<p) < D_{ab}(p'=p)$ .

<sup>30</sup> En réalité, la prime unitaire marginale diminue avec la quantité assurée lorsque plus de deux états peuvent être réalisables. En effet, plus la quantité d'assurance augmente, plus l'ensemble des états réalisables devient restreint i.e. que les états dans lesquels la perte possible est inférieure au montant assuré sont exclus dans la prime unitaire marginale. Nous supposons ici que la prime unitaire marginale demeure constante avec le montant d'assurance.



où  $n$  est le nombre de consommateurs identiques.

La demande brute d'assurance est égale à la perte potentielle subjective<sup>31</sup> lorsque la prime unitaire marginale est inférieure à l'espérance subjective de la perte unitaire marginale. La demande d'assurance diminue lorsque la prime marginale unitaire est supérieure à la perte marginale unitaire subjective espérée et devient nulle lorsque  $\text{prix}_A$  ( $\text{prime}_A / (1 - \text{prime}_A)$ ), correspondant à "a'" et "a" sur le graphique 1, est supérieur au taux marginal de substitution pondéré par les probabilités subjectives.

### *Demande d'auto-assurance*

<sup>31</sup>Il est raisonnable de faire l'hypothèse que la perte potentielle  $L(c^*)$  est quasiment égale à  $L(0)$  pour le risque sismique au Canada (voir section 2).

Étant donné une prime d'assurance quelconque, la demande optimale d'auto-assurance,  $D_{au} = L_s(0) - L_s(c)$ , est définie comme suit:

$$p' = p$$

$$D^*_{au} = 0; \quad \begin{array}{l} \text{si } -1/L'_s(0) \geq \text{primeA}^{32} \text{ ou} \\ \text{si } TMS_{p'=p}(I_1, I_0) \leq -1/(L'_s(0)+1) \end{array}$$

$$D^{**}_{au} > 0; \quad \begin{array}{l} \text{si } \text{primeA}/(1-\text{primeA}) \geq TMS_{p'=p}(I_1, I_0) > -1/(L'_s(0)+1) \text{ ou} \\ \text{si } -1/(L'_s(0)+1) < \text{primeA}/(1-\text{primeA}) < TMS_{p'=p}(I_1, I_0) \end{array}$$

$$p_{min} \leq p' < p$$

Pour les mêmes sous-ensembles de prix AU ci-dessus, on a:

$$D_{au} = D^*_{au}; \quad \text{car } TMS_{p'=p}(I_1, I_0) > TMS_{p'<p}(I_1, I_0)$$

$$D_{au} \leq D^{**}_{au}$$

$$p' < p_{min}$$

$$D_{au} = 0$$

### 1.5.2 Offre d'assurance<sup>33</sup>

<sup>32</sup> $L' < -1$  et  $L'' > 0 \Rightarrow c \uparrow \Rightarrow -1/L'(c) \uparrow$ .  $c \uparrow \Rightarrow -1/L'(c) \uparrow$  et  $-1/L'(0) \geq \text{primeA} \Rightarrow -1/L'(c) > \text{primeA} \quad \forall c \geq 0$   
 $\Rightarrow c=0 \Leftrightarrow D_{au}=0$ .

La fonction d'offre (i.e. pertes assurées) d'un assureur, pour une ligne d'affaires quelconque, dépend:

- de la capacité<sup>34</sup> affectée à la ligne d'affaires i.e. du surplus ou du capital de la ligne d'affaires;
- du seuil maximal de probabilité de faillite de l'assureur. Afin de simplifier la modélisation<sup>35</sup>, nous supposons que le seuil maximal de probabilité de faillite est identique pour tous les assureurs et égale zéro<sup>36</sup> i.e. que le surplus de la ligne d'affaires doit être supérieur ou égal aux pertes estimées du portefeuille de risques moins les primes pures i.e.  $O_{ab} * PML'(L')$ <sup>37</sup> - PP = surplus où  $O_{ab}$  est l'offre d'assurance,  $L'$ : perte estimée auquel chaque propriétaire est exposée,  $PML'(L')$ : perte unitaire estimée correspondant à la perte estimée  $L'$ , PP représente

---

<sup>33</sup>Le modèle d'offre présenté ici-bas a pour but de faciliter la compréhension des déficiences provenant de l'offre d'assurance et de mettre en évidence les variables problématiques identifiées par les assureurs et dans la littérature économique.

<sup>34</sup>Le capital (C), affecté à une ligne d'affaires, dépend de la relation profit espéré (PE) versus variabilité (V). La modélisation du capital (C(PE,V)) en fonction de PE et V dépasse le mandat de ce travail.

<sup>35</sup>La probabilité de faillite d'un assureur dépend de son portefeuille total de risques d'assurance, d'investissements, etc.. Afin de simplifier le modèle, nous supposons que les assureurs souscrivent les risques d'une seule ligne d'affaires et qu'ils sont exposés uniquement au risque d'assurance de cette ligne d'affaires.

<sup>36</sup>Cette hypothèse est raisonnable pour le risque séismique puisque le Bureau du surintendant des institutions financières développe présentement des mesures visant à s'assurer que les assureurs possèdent une capacité supérieure ou égale à leurs pertes maximales probables estimées.

<sup>37</sup>La perte unitaire estimée,  $PML'(L')$ , est égale à la perte probable réelle unitaire - 1 - si les assureurs estiment correctement la perte auquel chaque propriétaire est exposé.

$PML'(L') = L'/L$  où  $L'$  est la perte estimée par les assureurs, correspondant à l'état défavorable, auquel chaque consommateur est exposé.

les primes pures totales du portefeuille de risques de la ligne d'affaires i.e. les primes totales moins les dépenses d'acquisition des polices et d'administration;

- de la variabilité estimée mesurée ici par la variance<sup>38</sup> des pertes probables i.e.  $p \cdot PML'(L')^2 - E'(L')^2$  où  $E'(L')$ : espérance unitaire estimée des pertes i.e.  $p \cdot PML'(L')$  dans le cadre de ce modèle;
- de l'incertitude de la ligne d'affaires mesurée ici par  $E(1 - PML'(L'))$  et;
- de la répartition des risques d'un assureur i.e. de l'indépendance des unités d'exposition assurées. L'indépendance des risques dépend des méthodes de souscription et de la répartition géographique des risques.

Les assureurs sont aversés vis-à-vis du risque. L'offre d'assurance dépend du degré d'aversion d'un assureur vis-à-vis du risque. Plus un assureur est aversé, plus l'offre est moindre (prime plus élevée ou réduction des pertes assurées). Les assureurs les plus aversés ont une offre d'assurance moins élevée que les assureurs les moins aversés. Étant donné une même prime, les pertes assurées des assureurs les plus aversés seraient nécessairement inférieures à celles des assureurs moins aversés. Étant donné des mêmes pertes assurées, la prime des assureurs aversés est nécessairement supérieure à celle des assureurs moins aversés.

---

<sup>38</sup>La variance d'une variable  $x$  est égale à  $E(x^2) - E^2(x)$ .

En pratique, l'aversion des assureurs se concrétise généralement par l'établissement d'un niveau maximal acceptable de probabilité de faillite i.e. que les assureurs souscrivent des risques jusqu'à ce qu'ils aient atteints un seuil maximal de probabilité de faillite. Aux fins de ce travail, nous supposons que tous les assureurs adoptent un même seuil maximal de probabilité de faillite.

La probabilité de faillite d'un assureur augmente lorsque le surplus diminue, lorsque la variabilité estimée augmente, lorsque la perte estimée est incertaine (i.e.  $E(1-PML'(L')) > 0$ ) et lorsque les risques sont corrélés positivement. Toutes autres choses étant égales par ailleurs, plus le surplus et la diversification augmentent, plus la probabilité de faillite diminue. Étant donné un même seuil de probabilité de faillite, les assureurs bien capitalisés et diversifiés présentent donc une aversion moindre et, conséquemment, une offre plus élevée que les assureurs peu capitalisés et diversifiés.

Sous les hypothèses de seuil maximal de probabilité de faillite identique pour tous les assureurs et égale à zéro, la fonction d'offre d'assurance peut être obtenue en modélisant les principes d'offre discutés ci-dessus. La fonction d'offre<sup>39</sup> (pertes totales assurées) est donc égale au surplus ou capital (C) affecté à une ligne d'affaires divisé par l'excédent (E) de la perte unitaire estimée sur la prime unitaire nette des coûts de gestion<sup>40</sup> i.e.:

$$(3A) O_{ab} = C / E$$

<sup>39</sup>Puisque la probabilité de faillite est fixée à zéro, alors la diversification des risques ne constitue pas un facteur déterminant de l'offre d'assurance. En effet, toutes autres choses étant égales par ailleurs, la perte agrégée du portefeuille correspondant à une probabilité de faillite nulle est identique quelque soit le degré d'indépendance entre les risques. La diversification constitue un facteur important d'offre lorsque le seuil de probabilité de faillite est supérieur à zéro.

<sup>40</sup>Cette fonction d'offre est générale, indépendante et adaptable aux divers modèles d'offre basés sur le profit espéré en fonction de la variabilité du risque. La capacité affectée à une ligne d'affaires dépend du profit espéré et du risque. La capacité peut donc être modélisée en fonction des divers modèles de profit.

En général, les coûts de production des assureurs représentent 20% de la prime chargée. Par conséquent, 80% de la prime est affectée aux profits et aux coûts d'assurance i.e. aux pertes encourues plus les coûts d'ajustement des sinistres. L'excédent (E) de la perte unitaire anticipée sur la prime unitaire nette des coûts de gestion dépend de la perte unitaire estimée (PML'(L')) et de la prime d'assurance (PrimeA) i.e.:

$$(3B) E = PML'(L') - 0.8*PrimeA$$

En remplaçant E de l'équation (3A) par l'équation (3B), on obtient l'expression pour la fonction d'offre d'assurance en fonction des facteurs de production (C,PrimeA) et du facteur de risques (PML'(L')):

$$(3C) O_{ab} = C / (PML'(L') - 0.8*PrimeA)$$

On observe que lorsque la prime nette égale la perte probable unitaire estimée, l'offre est infinie.

Ce résultat est cohérent avec la théorie de l'aversion des assureurs puisqu'une prime nette supérieure à la perte unitaire anticipée résulte nécessairement en une probabilité de faillite nulle.

On peut donc modéliser la fonction d'offre<sup>41</sup> d'assurance d'une ligne d'affaires comme suit:

---

<sup>41</sup>L'incertitude, mesurée par  $E(1-PML'(L'))$ , associée aux paramètres réels de risque a été ignorée dans la formulation de la fonction d'offre.

si  $0.8 * PrimeA \geq PML'(L')^{42}$ , alors

$O_{ab} = \infty$  (infini i.e. courbe d'offre verticale)

si  $.8 * PrimeA < PML'(L')$ , alors

$O_{ab} = C / (PML'(L') - 0.8 * PrimeA)$

On peut conclure à partir des équations ci-dessus que l'offre augmente avec la capacité, la prime et diminue avec la perte unitaire probable estimée.

La dérivée première de  $O_{ab}$  par rapport à  $PrimeA$  (pour  $.8 * PrimeA < PML'(L')$ ) est positive et égale à:

$$(3D) \quad \delta O_{ab} / \delta PrimeA = 0.8 * C / (PML'(L') - 0.8 * PrimeA)^2$$

La dérivée seconde de  $O_{ab}$  par rapport à  $PrimeA$  (pour  $.8 * PrimeA < PML'(L')$ ) est positive et égale à:

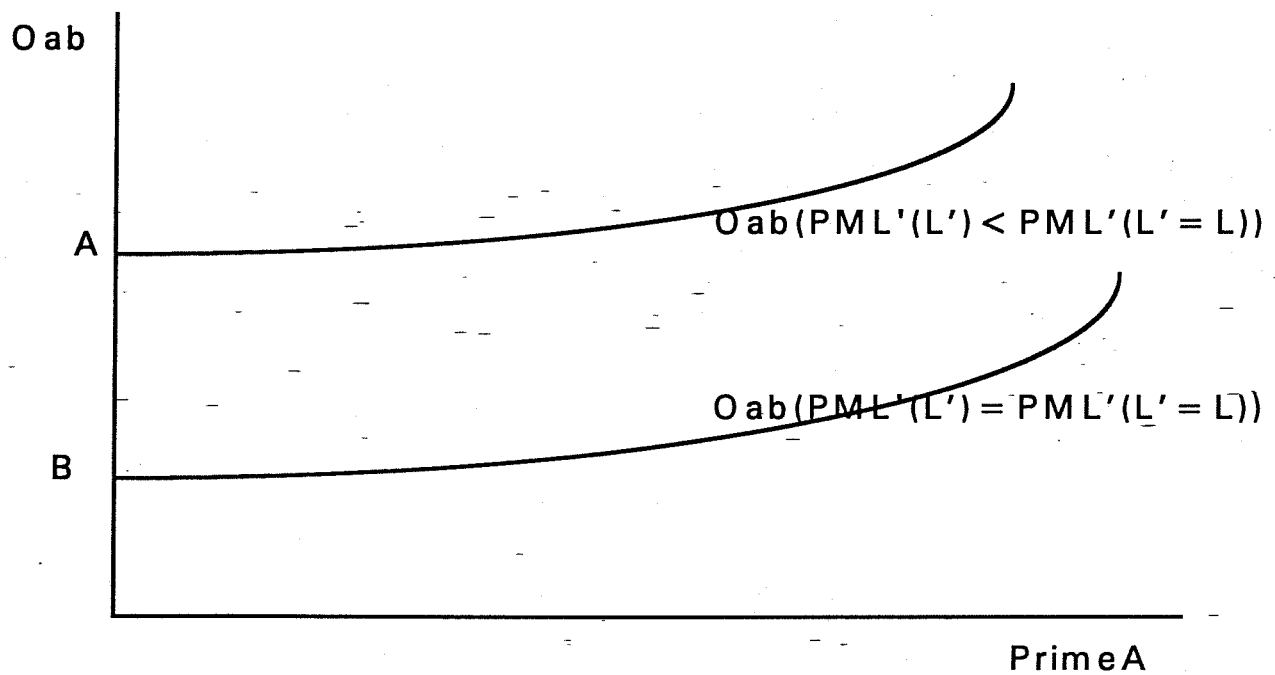
$$(3E) \quad \delta^2 O_{ab} / \delta^2 PrimeA = 1.28 * C / (PML'(L') - 0.8 * PrimeA)^3$$

---

<sup>42</sup>Ce cas constitue un cas théorique extrême puisque la prime chargée serait supérieure ou égale à la perte maximale probable anticipée.

Si l'assureur sous-estime la perte unitaire ( $PML'(L') < PML'(L'=L)$ ), alors l'offre d'assurance est plus élevée que l'offre déterminée à partir de la perte unitaire probable réelle. Afin de mettre en évidence ces dernières déficiences d'information, l'offre d'assurance peut donc être illustrée comme suit:

### GRAPHIQUE 2



$$A = C / (PML'(L' < L))$$

$$B = C / (PML(L' = L))$$

Au point d'équilibre du marché, le profit espéré (PE) de l'assureur est égal à:

$$(3F) \quad PE = \text{PrimeA} * O_{ab} - .2 * \text{PrimeA} * O_{ab} - O_{ab} * E'(L')$$

$$(3G) \quad PE = O_{ab} * (0.8 * \text{PrimeA} - E'(L'))$$

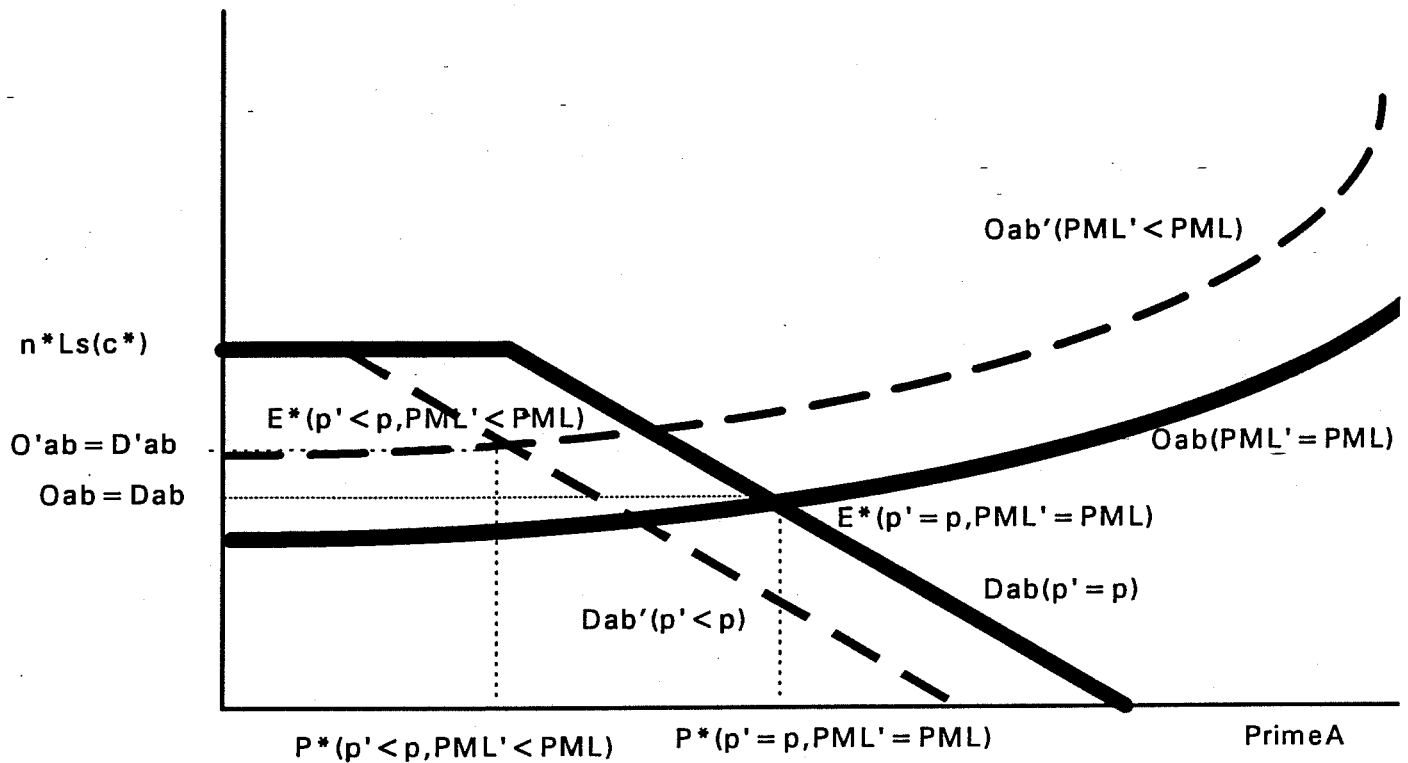
où

$E'(L')$  : espérance de perte unitaire estimée.

### 1.5.3 *Équilibre de marché*

On peut caractériser l'équilibre de marché en illustrant la demande et l'offre d'assurance sur un même graphique.

### **GRAPHIQUE 3**



où

- $O_{ab}'(PML' < PML)$  :  $O_{ab}(PML'(L') < PML'(L'=L))$
- $E^*(p' < p, PML' < PML)$  : équilibre actuel de marché;
- $E^*(p'=p, PML'=PML)$  : équilibre de marché lorsque  $p'=p$  et  $PML'(L')=PML'(L'=L)$ .

Les problèmes actuels d'offre et de demande sont clairement exposés dans le graphique ci-dessus.

La sous-capitalisation et la sous-tarification actuelles des assureurs sont attribuables à une offre d'assurance trop généreuse, elle-même attribuable à une sous-estimation des pertes potentielles assumées par les assureurs<sup>43</sup>. La faible demande d'assurance est attribuable à une sous-estimation de la probabilité de réalisation du risque séismique.

<sup>43</sup>La loi de l'assurance actuelle incite aussi les assureurs à sous-tarifier et à souscrire davantage de risques en les obligeant à couvrir le risque de feu dans la police standard (voir la section 2.4).

Il existe divers scénarios de marché susceptibles de prévaloir durant les prochaines années. Il est raisonnable d'affirmer que les mauvaises anticipations actuelles des assureurs concernant les pertes assumées seront corrigées étant donné la disponibilité de modèles de simulation plus performants qui permettent une meilleure évaluation des pertes sismiques réelles assurées. Conséquemment, en supposant que la capacité des assureurs demeure inchangée, l'offre future d'assurance sera réduite à  $O_{ab}(PML'=PML)$ . Par contre, si les assureurs augmentent suffisamment leur capacité, alors l'offre d'assurance peut être maintenue au niveau actuel ou accrue. L'atteinte de l'équilibre dépendra des mouvements futurs dans l'offre et la demande. Les propositions de l'industrie canadienne de l'assurance consiste justement à augmenter l'offre en augmentant le surplus des assureurs et à augmenter la demande simultanément de façon à ce que la prime d'assurance soit sensiblement égale aux pertes espérées.

## **2. ANALYSE DU MARCHÉ CANADIEN DE L'ASSURANCE TREMBLEMENT DE TERRE**

Cette section discute des zones sismiques canadiennes, des pertes économiques réalisables, des conditions actuelles prévalant sur le marché de l'assurance tremblement de terre, et finalement des programmes gouvernementaux de prévention.

### ***2.1 Zones sismiques canadiennes***

Même si peu de tremblements de terre majeurs ont survenu au Canada, certaines régions canadiennes sont exposées à des risques non négligeables. L'expérience limitée du Canada vis-à-vis du risque sismique ne constitue un facteur déterminant à l'évaluation du risque auquel nous sommes exposés. Northridge (\$12.5 milliards de dommages) et Kobe (\$100 milliards de dommages) n'étaient pas considérés comme étant des zones à risque avant les tremblements de terre de 1994 et 1995 respectivement. Le Canada présente quatre principales zones sismiques - la Côte-Ouest du Canada (Victoria, Vancouver, Archipel de la Reine Charlotte), la Côte-Est du Canada (Ottawa, vallée du St.-Laurent), la vallée Mackenzie des Territoires du Nord-Ouest et l'Antarctique (incluant l'Île de Baffin). La Côte-est et la Côte-ouest constituent des zones critiques étant donné leur important bassin de population et leur importance sur le plan économique.

L'impact d'un tremblement de terre dépend de l'intensité et du type de mouvements à la surface. L'intensité, représentée sur l'échelle modifiée de Mercalli, mesure le quantum d'énergie à un endroit donné. Elle dépend de la distance verticale entre la surface et l'origine, du type de sol (rocheux ou sablonneux), de la magnitude du choc (mesure l'énergie relâchée d'après l'échelle de Richter) et finalement de la distance horizontale à partir de l'épicentre. Le type de mouvements, représenté par la fréquence d'oscillations du tremblement de terre, mesure la force horizontale et verticale du mouvement à la surface. La plupart des bâtiments peuvent résister à des forces verticales considérables mais sont plus vulnérables aux forces horizontales. Un bâtiment ayant une fréquence d'oscillations plus petite que celle du tremblement de terre offre moins de

résistance qu'un bâtiment ayant une fréquence d'oscillations plus élevée. Les édifices comportant plusieurs étages possèdent généralement une fréquence plus faible.

## ***2.2 Impact économique d'un tremblement de terre***

La réalisation d'un tremblement de terre entraîne des réductions nettes de capital matériel et humain de même que des réarrangements au niveau des ressources disponibles. Les coûts économiques représentent la valeur économique des capitaux perdus (coût de remplacement plus la valeur actualisée de la perte de production anticipée du capital détruit) plus la perte (ou gain) indirecte pouvant résulter d'un réarrangement des ressources (différence entre la valeur actualisée de la production anticipée des ressources avant réarrangement et la valeur actualisée de la production anticipée des ressources après réarrangement).

Aux fins de ce travail, nous utiliserons la classification des coûts économiques de Jovel. Jovel distingue trois types de coûts - directs, indirects et secondaires. Les coûts directs représentent les pertes de capital tels les dommages aux écoles, maisons, commerces, les pertes d'inventaires, etc.. Les coûts indirects représentent les pertes de production temporaires de biens et services durant la période de réarrangement des ressources telles les pertes de production résultant de la fermeture temporaire des usines. Les coûts secondaires représentent les pertes de production à moyen et long terme.

Près d'un tiers de la population et de la production canadienne sont localisées dans les deux zones sismiques les plus importantes. Selon le BAC (Canadian Insurance, mars 1995), les pertes directes et indirectes résultant d'un tremblement de terre d'une magnitude 6.5 sur l'échelle de Richter à Vancouver sont estimées à \$30 milliards, dont \$9.7 milliards représentent des pertes assurées.

### **2.3 Demande d'assurance tremblement de terre**

Les propriétaires canadiens, particulièrement les propriétaires résidentiels, sont sous-assurés contre le risque sismique. Selon le tableau 1 ci-dessous, seulement 1% et 33% respectivement des propriétaires résidentiels assurés contre les risques standards au Québec et en Colombie-Britannique achètent l'assurance tremblement de terre. Le taux de participation des propriétaires commerciaux est respectivement de l'ordre de 30% et 80% au Québec et en Colombie-Britannique. Le BAC estime que seulement 4% des propriétaires résidentiels du Canada achètent l'assurance tremblement de terre.

**TABLEAU 1**

	<b>Assurance privée</b>	<b>Assurance commerciale</b>
<b>Québec</b>	1%	30%
<b>Colombie-Britannique</b>	33%	80%

Source: Financial Post, 6 décembre 1995

Selon la théorie économique de l'assurance, étant donné les prix actuels (primes < pertes espérées), la demande d'assurance tremblement de terre devrait être au moins égale à la demande d'assurance des risques couverts sous la police standard d'assurance habitation. Or, on observe que l'équilibre actuel de marché est nettement inférieur à la demande théorique d'assurance contre le risque séismique. Tel que discuté à la section 1, ceci est essentiellement attribuable aux mauvaises perceptions des Canadiens vis-à-vis des caractéristiques intrinsèques du risque séismique et aux comportements irrationnels de ces derniers<sup>44</sup>.

#### ***2.4 Offre d'assurance tremblement de terre***

La capacité actuelle (i.e. le surplus disponible plus les pertes réassurées) des assureurs primaires du Québec et de la Colombie-Britannique est de l'ordre de \$2.3 milliards (Canadian Insurance, mars 1995). Puisque les pertes assurées estimées pour la Colombie-Britannique représentent \$9.7 milliards, alors les pertes assurées non capitalisées s'élèvent donc à \$7.4 milliards. L'offre actuelle d'assurance est trop élevée par rapport à la capacité des assureurs (voir graphique 2). Selon M. Angus Ross, président de Reinsurance Research Council, (Canadian Insurance/Agent&Broker, 1992):

---

<sup>44</sup>La déconsidération de coûts sociaux pouvant résulter de la présence de programmes gouvernementaux d'aide financière aux sinistrés a été ignorée pour les motifs discutés à la section 1.3.

“Munich Reinsurance has completed a first-rate study of the economic impact of an earthquake in the Greater Vancouver area. Even at the lower end of estimates, many primary companies should be concerned at the almost certainty that they do not have sufficient catastrophe protection, and undoubtedly some of the reinsurers don't either! If damage were to reach the upper of estimates, there would inevitably be numerous bankruptcies. It is strange that the OSFI, which has the responsibility of overseeing insurer solvency, has made no attempt to obtain catastrophe-zone accumulations from primary companies, information that is requested and provided as a matter of course in states such as California, which have similar exposures.”

L'offre trop généreuse est essentiellement attribuable à une mauvaise anticipation des pertes séismiques assumées (voir les sections 1.2 et 1.5.2 pour une discussion plus complète) et au contexte législatif actuel. L'augmentation de la fréquence de réalisation de catastrophes naturelles mondiales, au cours des 10 dernières années (1960-1986: \$12.8 milliards; 1987-1991: \$30 milliards; Canadian Insurance, juillet 1993), a incité les réassureurs à entreprendre des études afin d'évaluer le risque séismique canadien. Ces études effectuées par Munich Re of Canada et Swiss Re, deux importants réassureurs canadiens, ont démontré que les pertes assumées ou assurées par les assureurs étaient largement supérieures à leurs anticipations courantes. Ces récentes études remettent donc en question la tarification actuelle et la capacité des assureurs à supporter les pertes assumées.

Le contexte législatif canadien (sauf celui du Québec) actuel oblige les assureurs à couvrir le risque de feu résultant d'un choc séismique dans la police standard. La police standard couvre les risques de feu, vol, etc.. La police d'assurance tremblement de terre couvre les pertes causées par le choc résultant d'un tremblement de terre. Les dommages attribuables au feu résultant d'un tremblement de terre sont donc couverts implicitement par la police de base. Au Québec, même si la législation exclue explicitement la couverture contre le feu résultant d'un tremblement de terre dans la police standard, les assureurs offrent explicitement la couverture de ce risque dans la police standard.

Cette obligation d'offrir l'assurance contre le feu résultant d'un tremblement de terre dans la police standard exerce une pression à la baisse sur les primes séismiques demandées par les assureurs. Cette pression s'exerce à deux niveaux - demande totale d'assurance des risques standards et la part de marché de chaque assureur. La demande d'assurance des risques standards dépend de la prime totale chargée. Or, puisque la prime totale dépend de la prime séismique pour le risque de feu, alors une prime d'assurance séismique implicite élevée influence négativement la demande d'assurance des risques standards. De plus, étant donné que le marché de l'assurance de dommages est très compétitif, la demande d'assurance des risques standards d'un assureur diminue, au profit de ses concurrents, lorsque la prime demandée augmente. Les assureurs les moins-avérés vis-à-vis du risque séismique (i.e. les assureurs bien capitalisés et diversifiés) sont en mesure d'offrir l'assurance à un prix plus avantageux que les assureurs moins bien capitalisés et diversifiés toutes autres choses étant égales par ailleurs. Afin de conserver leur part de marché des risques standards, ces derniers offrent l'assurance séismique à des prix inférieurs au prix

correspondant à leur capacité. Il en résulte une offre d'assurance tremblement de terre trop élevée par rapport à la capacité de l'industrie et aux primes chargées aux assurés.

Dans un exposé présenté lors du congrès canadien sur l'assurance en 1993, M. Phelan, président de Munich Réassurance, mettait en évidence la sous-tarification des risques catastrophiques:

(Canadian Insurance, juillet 1993) "In the world of reinsurance and retrocession of natural catastrophe exposures, Canada is not an island. Future pricing must reflect potential losses, as opposed to the inadequate premiums of the past. Costs here will reflect the experience of reinsurers in other parts of the globe and will increasingly reflect Canadian exposure to large catastrophic losses, especially to potential losses from earthquakes in B.C. and Quebec. Rates for catastrophe protection must also take into account inadequate original premiums for these perils, if such premiums exist at all, inadequate deductibles, and the absence of sub-limits to help control the accumulation of exposures."

De plus, la sous-tarification du risque de feu dans la police standard, la faible demande et les lacunes informationnelles vis-à-vis du risque et des technologies de prévention découragent l'adoption d'une tarification sensible à la prévention. On peut donc caractériser l'offre actuelle comme suit:

- trop généreuse;

- où les primes sont établies en fonction d'une sous-estimation systématique des pertes potentielles; et
- où la structure de tarification est indifférente vis-à-vis l'adoption des mesures préventives.

## *2.5 Réassurance*

Environ quarante-deux réassureurs opèrent sur le marché canadien de la réassurance dont la plupart représentent des assureurs multinationaux étrangers. L'offre de réassurance est tributaire des marchés internationaux et, à ce titre, est extrêmement volatile car elle dépend des pertes mondiales encourues et des conditions ou structures de marché prévalant ailleurs. Au cours des dix dernières années, la fréquence de survenance des risques catastrophiques a augmenté considérablement. Cet accroissement des pertes encourues a provoqué une baisse importante du surplus des réassureurs et, conséquemment, un resserrement dans l'offre de réassurance et une augmentation des prix. Les primes inadéquates des assureurs canadiens défavorisent une augmentation de l'offre de réassurance puisque les opportunités de profit sont moindres au Canada que sur les marchés étrangers. Même si une tarification plus représentative des pertes assumées favoriserait une augmentation de l'offre de réassurance, la dépendance vis-à-vis des marchés internationaux ne permettrait pas un renforcement permanent de la capacité des assureurs primaires. L'offre demeurerait tributaire des pertes mondiales encourues et d'autres facteurs de marché. Conséquemment, la réassurance privée ne semble pas constituer une solution viable à long terme permettant d'augmenter la capacité des assureurs primaires à souscrire des risques séismiques.

La plupart des assureurs primaires réassurent environ 3% des sommes totales assurées dans la zone séismique de Vancouver soit \$1.8 milliards des pertes potentielles (Canadian Insurance, mars 1995).

## ***2.6 Code national du bâtiment***

Puisque près de 70% (Conference on Canadian Earthquake Risk, Toronto, mai 1996) des pertes séismiques résulteraient de dommages infligés aux bâtiments, alors la résistance de ces derniers aux chocs séismiques et aux incendies constitue une variable déterminante de l'amplitude des pertes potentielles.

Le gouvernement fédéral participe à l'adoption de mesures préventives à deux niveaux soient par l'intermédiaire des codes nationaux de construction et de résistance aux incendies et par des programmes d'information et de sensibilisation sur les diverses façons de restreindre les pertes séismiques. Le Code national du bâtiment et le Code national de la sécurité contre les incendies constituent des mesures indirectes de réglementation puisque les provinces détiennent le pouvoir de réglementer dans ce domaine. Le Québec et la Colombie-Britannique satisfont les normes minimales contenues dans les codes nationaux de construction et d'incendie.

Les standards séismiques contenus dans le Code national du bâtiment représente principalement le résultat de recherches effectuées sur le risque séismique et sur les techniques de construction par

la Commission géologique du Canada et l'Institut de recherche en construction du Conseil national de la recherche. Le Code national du bâtiment contient un ensemble de lignes directrices de construction répondant à des standards minimaux de sécurité dont des normes minimales de renforcement contre les tremblements de terre. Même si le Canada est pourvu d'un Code national de la sécurité contre les incendies, établissant des normes minimales de construction contre le risque de feu, ce code ne comporte pas de normes spécifiques au risque sismique.

Les normes minimales ont été établies afin de minimiser les pertes de vies:

(Geofacts, 1990) "The provisions of the building code are intended as a minimum standard. They are meant to prevent structural collapse during major earthquakes and thereby to protect human life. The provisions may not, however, prevent serious damage to individual structures."

(Collins, Patricia, 1992) "Although loss of life would probably be minimal because of the superior building techniques used in Canada, property damage could be severe."

De plus, le code s'applique uniquement à la construction des nouveaux bâtiments. Les structures construites avant 1985 sont plus vulnérables étant donné que le code suggérait des normes minimales inférieures aux normes actuelles.

Les mesures de renforcements contre les chocs sismiques nécessaires afin de rencontrer les normes minimales du code dépendent du risque à un endroit donné. Le risque est mesuré à l'aide

de cartes séismiques produites par Ressources Naturelles Canada. Ces cartes délimitent les 32 épicentres canadiens (appelés aussi sources des zones à risque). Ces cartes identifient l'éventail des divers chocs séismiques probables des 32 sources des zones à risque et le type de mouvements à la surface pour chaque zone mesurés à l'aide des paramètres de vitesse et d'accélération. Pour chaque zone à risque, les valeurs de vitesse et d'accélération, utilisées pour déterminer la résistance minimale, sont telles que la probabilité de réalisation d'une accélération/vitesse supérieure au niveau donné est 0.002 soit 10% sur une période de 50 ans ou encore une probabilité 1.0 sur une période de 500 ans.

Le code de construction a été modifié au cours des dernières années. La probabilité a été ramenée de 0.01 (40% sur 50 ans) avant 1985 à 0.002 après 1985. Aussi, les normes minimales de certains bâtiments ont été rédéfinies en 1985 en fonction du paramètre de vitesse. Cette dernière constitue un meilleur indicateur de force minimale pour les édifices à plusieurs étages.

Les normes actuelles ont été établies afin de minimiser les pertes de vie en évitant l'effondrement des structures de construction. Elles n'ont donc pas été établies pour minimiser les pertes aux structures ou maximiser la valeur espérée du bâtiment sur son cycle de vie. Puisque près de 70% des pertes potentielles constituent des pertes aux bâtiments, une étude du rendement des technologies de prévention et une comparaison entre les niveaux maximisant la richesse et les niveaux actuels permettrait d'évaluer la pertinence d'une augmentation du niveau de prévention.

### **3. CADRE PUBLIC DE GESTION DU RISQUE**

Le risque séismique constitue un risque national étant donné son caractère catastrophique et extraordinaire où près du tiers de la population et de l'activité économique canadienne sont exposées à des risques élevés. La magnitude des pertes directes et indirectes estimées de même que les pertes secondaires potentielles justifient l'établissement d'objectifs sociaux de gestion du risque.

### *3.1 Cadre de gestion du risque*

Comme toutes autres politiques publiques, les politiques publiques de gestion du risque doivent être formulées en fonction de critères d'efficacité et d'équité. Selon, Hula (1988), une politique de gestion des risques catastrophiques est efficace lorsque la richesse nationale espérée est maximisée.

Les critères d'équité sont souvent déterminés en fonction du contexte politique prévalant et de la situation financière des divers paliers gouvernementaux. Or, les restrictions budgétaires des dernières années des gouvernements fédéral et provinciaux ont entraîné des réductions considérables dans les budgets des divers programmes fédéraux et provinciaux de redistribution. Ceci tend à démontrer un certain désengagement de l'État vis-à-vis de son rôle de redistribution de la richesse. À ce titre, l'équilibre du marché de l'assurance tremblement de terre i.e. le degré de couverture des propriétaires résidentiels constitue une variable importante. Conséquemment, il est raisonnable de croire que les gouvernements préfèrent une minimisation de l'aide

gouvernementale accordée par l'intermédiaire des programmes fédéraux et provinciaux d'aide aux sinistrés i.e. que le niveau optimal de couverture du risque sismique correspond au niveau de couverture des risques standards d'habitation.

Les objectifs sociaux de gestion du risque consistent donc à:

- **maximiser la richesse nationale** - La maximisation de la richesse nationale implique l'adoption de niveaux optimaux de mesures préventives visant à réduire l'amplitude des pertes potentielles. La richesse totale est maximisée lorsque les niveaux de prévention sont tels que les coûts marginaux de prévention égalent les réductions marginales de pertes sociales espérées;
- **adopter des niveaux optimaux d'assurance** - Le niveau de transfert optimal du risque sismique est égal à la demande d'assurance des risques standards d'habitation.

Les discussions des sections précédentes ont démontré que le marché de l'assurance contre le risque sismique comporte certaines distorsions importantes:

- les propriétaires résidentiels exposés au risque sismique sont sous-assurés étant donné le niveau actuel des primes;
- la structure actuelle de tarification décourage l'adoption de mesures préventives;

- les pertes assumées par les assureurs sont supérieures à leur capacité i.e. que l'offre d'assurance est trop élevée.

Ces imperfections de marché comportent un intérêt pour le gouvernement dans la mesure où elles ne permettent pas l'atteinte des objectifs sociaux définis ci-dessus. La déviation entre les objectifs sociaux et le niveau actuel d'assurance et d'auto-assurance permet de mesurer l'importance du biais existant. Aussi, les propositions fiscales et régulatrices du BAC doivent être examinées, dans la mesure où il existe un biais considérable, dans le cadre de ces objectifs sociaux.

### **3.2 Déviations par rapport aux niveaux optimaux**

Une intervention gouvernementale directe ou indirecte se justifie par l'existence de déviations importantes par rapport aux niveaux sociaux optimaux. Or, on observe que la demande d'assurance tremblement de terre est insuffisante puisqu'une faible proportion des propriétaires assurés contre les risques standards s'assurent contre le risque séismique, que la tarification actuelle décourage la prévention, que le mandat actuel du Code national de construction ne permet pas de minimiser les dommages matériels et que la capacité des assureurs est carrément insuffisante pour supporter la demande optimale<sup>45</sup>. Il existe donc des biais importants qui doivent être corrigés.

---

<sup>45</sup>La demande privée d'assurance séismique, actuellement égale à 1% et 33% respectivement au Québec et en Colombie-Britannique, devrait augmenter à 100% au Québec et en Colombie-Britannique.

Des mesures correctives doivent donc être instaurées afin de rencontrer les niveaux optimaux définis plus tôt. Étant donné que le niveau optimal d'assurance est supérieur au niveau actuel et que l'offre courante est trop élevée, alors des mesures visant à augmenter l'offre d'assurance sont requises afin de rencontrer la demande optimale. Les mécanismes correcteurs doivent donc être dirigés vers trois principales cibles soient:

- une augmentation de la demande;
- une augmentation de l'offre d'assurance;
- une augmentation du niveau de prévention.

#### **4. MÉCANISMES DE CORRECTION DES DÉVIATIONS ACTUELLES**

Le gouvernement fédéral peut intervenir de diverses façons afin d'atteindre ses objectifs sociaux soient:

- en réglementant de façon indirecte - encourager ou obliger d'autres paliers de gouvernement à légiférer;
- en réglementant de façon directe;
- en mobilisant ou en conscientisant la population à l'existence d'un risque;
- ou encore en collaborant avec diverses instances gouvernementales et non gouvernementales afin de développer et gérer des programmes volontaires de gestion du risque.

Ici-bas, nous discutons de mécanismes requérant divers degrés de participation gouvernementale et permettant d'augmenter la demande d'assurance, l'offre d'assurance et les niveaux de prévention.

#### ***4.1 Diffusion d'information***

La conscientisation à l'existence du risque séismique s'effectue d'abord en informant les propriétaires de l'existence du risque séismique. Les canaux de distribution de l'industrie constituent des outils potentiels de diffusion d'information. L'instauration d'une loi californienne en 1985, obligeant les assureurs à offrir l'assurance tremblement de terre, a permis d'augmenter de 7% à 25% le nombre de propriétaires résidentiels assurés contre le risque séismique.

De plus, afin d'atténuer les problèmes informationnels discutés plus tôt, l'information sur le risque séismique et l'efficacité des mesures préventives doit être présentée de façon plus structurée. Les concepts statistiques devraient être ramenés sur la durée de vie de l'unité assurée. Par exemple, au lieu d'indiquer que la probabilité de réalisation d'un tremblement de terre majeur est de l'ordre de 0.002 annuellement, la probabilité de réalisation devrait être ramenée sur 50 ans soit 10%.

Une tarification sensible à la prévention permet une mise en évidence immédiate des bienfaits de la prévention. Par exemple, la création d'un système national de crédits appliqués aux primes d'assurance, basé sur la résistance des bâtiments aux chocs séismiques, pourrait être envisagée.

The Insurance Institute for Property Loss Reduction de Boston (IIPLR) a créé un système de cotation des codes de bâtiment municipaux. Ce système a pour but de développer un système de

crédits prédéterminés applicables contre les primes des assurés résidant dans les diverses municipalités.

#### ***4.2 L'assurance obligatoire***

L'assurance obligatoire permet de corriger les problèmes d'information et d'irrationalité des consommateurs. Elle inciterait aussi, dans la mesure où la tarification est sensible aux niveaux de prévention, les consommateurs à se tourner vers l'adoption de mesures de prévention efficaces afin de diminuer leurs primes d'assurance.

Il existe diverses façons d'implanter un système d'assurance obligatoire. Par exemple, l'assurance tremblement de terre pourrait constituer une condition d'émission d'un prêt hypothécaire ou une condition nécessaire de participation aux programmes gouvernementaux d'accès à une première propriété. L'assurance inondation publique, offerte en Californie, constitue un exemple d'assurance obligatoire où les gens demeurant dans les zones à risque, et désirant obtenir un prêt hypothécaire, doivent être assurés contre ce risque. Une autre façon plus simple et directe d'instaurer une assurance obligatoire consiste à obliger les assureurs à inclure le risque sismique (choc et feu) dans la police standard d'assurance habitation.

Selon Pauly (1984), une politique publique d'assurance obligatoire peut ne pas être viable politiquement si les agents sous-estimant le risque sont majoritaires, puisque ces derniers s'objecteront à toute forme d'assurance obligatoire.

### ***4.3 L'assurance publique "expost" obligatoire***

L'assurance publique "expost" constitue une assurance publique où les primes sont payables seulement après la réalisation d'un sinistre. Les primes peuvent être uniformes, i.e. que les pertes sont réparties sur l'ensemble de la population, ou encore en fonction du risque de l'assuré.

Selon Pauly (1984), cette politique publique est efficace pour contrer les problèmes de sous-estimation des risques tout en étant politiquement viable. Les agents refusent d'acheter l'assurance car les primes demandées, reflétant les vraies valeurs du risque, sont trop élevées par rapport à leurs croyances. Puisque l'assurance "expost" requiert un paiement de primes après la réalisation du sinistre, alors les agents approuveront le programme puisque ces derniers espéreront payer une prime expost correspondant à leur croyance respective. Cependant, ils n'auraient aucune incitation à adopter des mesures de prévention permettant de minimiser les pertes espérées étant donné qu'ils sous-estiment considérablement la probabilité de réalisation du risque. Conséquemment, d'autres mesures publiques tel un renforcement du Code national de construction devraient être adoptées simultanément.

Un programme à prime uniforme est préférable lorsque les agents croient être exposés à des risques comparables. Une prime en fonction du risque est préférable lorsque les agents les moins exposés au risque sont majoritaires. Les programmes actuels d'aide aux sinistrés constituent une forme d'assurance "expost" où les pertes sont financées à même les fonds publics généraux.

#### *4.4 Code du bâtiment*

Le code du bâtiment représente un mécanisme public de prévention par le renforcement des structures. Selon le rapport de constat EQE Engineering Inc. du tremblement de terre de Loma Prieta en Californie en 1989, l'adoption d'un code du bâtiment améliorant la résistance aux tremblements de terre a permis de réduire considérablement les dommages. En effet, seuls les bâtiments situés près de l'épicentre, les vieux bâtiments et les bâtiments érigés sur des sols très transmissibles ont subi des dommages importants.

Les codes structurés de façon à minimiser les pertes de vie et les pertes matérielles permettent l'atteinte de niveaux optimaux de prévention. Afin d'atteindre ces niveaux, les coûts marginaux de renforcement au seuil minimal exigé doivent égaler la valeur présente de la diminution marginale espérée des pertes. À cet égard, le code doit être sensible au risque et aux spécificités des bâtiments puisque le niveau optimal dépend de ces dernières variables. Étant donné que l'objectif consiste à maximiser la richesse sociale, alors les technologies (efficacité vs coûts) maximisant la richesse devraient être favorisées.

Le code canadien du bâtiment actuellement en vigueur contient des lignes directrices minimales à l'égard des niveaux de résistance tel que la structure des bâtiments ne doit pas s'écrouler sous l'impact d'un tremblement de terre majeur afin de minimiser les pertes de vie. Un code plus strict dans les zones à risque, de même qu'une vérification systématique de l'adoption des mesures

contenues dans le code, permettraient non seulement de minimiser les pertes matérielles mais aussi d'atténuer le problème de capacité des assureurs en les exposant à des pertes moindres.

#### ***4.5 Réassurance publique et/ou réassurance privée***

L'offre totale d'assurance dépend de la capacité totale, de la variabilité et de l'incertitude reliée au risque assuré et de la répartition totale des risques assumés par les assureurs (voir les sections 1.2 et 1.5.2). Une augmentation de la capacité et/ou une meilleure répartition des risques permettraient un accroissement de l'offre. Étant donné un capital, un fonds de réassurance de l'industrie permettrait une meilleure diversification des risques. Un fonds public de réassurance permettrait d'accroître le capital existant, donc l'offre d'assurance, en permettant aux assureurs primaires de transférer une plus grande partie des risques au réassureur public.

##### ***4.5.1 Fonds privé de réassurance***

Une meilleure répartition ou diversification (i.e. où les unités d'exposition sont indépendantes) des risques augmente l'offre d'assurance puisqu'elle permet de réduire la probabilité de faillite, i.e. la probabilité de réalisation de pertes supérieures ou égales au capital d'un assureur<sup>46</sup>. Étant donné

---

<sup>46</sup>Il est généralement reconnu que, pour un même niveau de pertes assurées et de capital, la probabilité de réalisation de pertes séismiques supérieures au capital est moindre lorsque les risques assurés sont indépendants. Soient le capital de l'assureur  $C=2*A$  et  $X, Y$  les pertes potentielles de deux propriétaires ayant une même probabilité de distribution:

$$\text{Prob}(X=A) = \text{Prob}(Y=A) = a \text{ et } \text{Prob}(X=0) = \text{Prob}(Y=0) = 1-a.$$

Si  $X$  et  $Y$  sont parfaitement corrélées, alors la probabilité que  $X+Y=2*A$  est égale à  $a$ . Si  $X$  et  $Y$  sont indépendants, alors la probabilité que  $X+Y=2*A$  est égale à  $a^2$ . La probabilité de réalisation de pertes égales au capital de l'assureur  $C=2*A$ , i.e. la probabilité de faillite, est donc supérieure lorsque les pertes sont corrélées que lorsqu'elles sont indépendantes.

une offre d'assurance (i.e. un niveau de pertes assurées), la probabilité de réalisation de pertes séismiques supérieures au capital est plus élevée lorsque les risques assumés sont corrélés positivement que lorsque les risques sont indépendants.

L'offre totale d'assurance dépend donc du potentiel de diversification géographique du risque et des marchés sur lesquels opèrent les assureurs. Au Canada, la diversification géographique du risque séismique est relativement limitée. Les risques peuvent être répartis entre les assurés résidant aux environs de Vancouver et dans la Vallée du St.-Laurent<sup>47</sup>. Pour une capacité et une probabilité de faillite données, l'offre d'assurance d'un assureur souscrivant des polices à Vancouver et dans la Vallée du St.-Laurent est plus grande que l'offre d'un assureur souscrivant uniquement des risques à Vancouver ou au Québec.

Un fonds privé de réassurance permettrait une mise en commun de risques indépendants. Or, puisqu'il existe seulement deux zones séismiques canadiennes indépendantes, alors le portefeuille optimum d'un assureur consiste à associer une perte marginale assurée au Québec avec une perte marginale de la Colombie-Britannique. Or, puisque les pertes totales anticipées en Colombie-Britannique sont supérieures à celles du Québec, la diversification optimale de l'industrie consiste donc à associer toutes les pertes du Québec à celles de la Colombie-Britannique, i.e. que tous les assureurs doivent avoir un ratio, pertes du Québec/pertes totales, inférieur à 0.5.

---

<sup>47</sup>Une étude plus approfondie du potentiel de diversification entre les diverses zones séismiques de chacune des provinces exposées permettrait une meilleure évaluation des possibilités de répartition des risques à l'intérieur du Québec et de la Colombie-Britannique.

Les assureurs dont les pertes du Québec sont parfaitement appareillées aux pertes de la C.-B. n'ont clairement aucune incitation à joindre un fonds de réassurance. Les assureurs les plus aptes à joindre le fonds sont ceux opérant sur l'un ou l'autre des deux marchés. L'incitation d'un assureur, opérant sur ces deux marchés, et dont la proportion des pertes assurées sur un marché excède celles de l'autre marché, varie en fonction des parts de marché du fonds et de l'assureur sur ces différents marchés. Une participation volontaire peut ne pas résulter en l'adoption de niveaux optimaux de diversification. Cependant, la création d'un fonds augmente nécessairement la diversification comparativement au statu quo, s'il existe des assureurs non hybrides. En effet, les assureurs dont la totalité des risques séismiques provient d'un seul marché seront fortement incités à joindre le fonds.

En pratique, l'instauration d'un fonds privé de réassurance ne permet pas aux assureurs de conserver toutes les autres variables constantes tout en réduisant leur probabilité de faillite respective. Par exemple, la mise en commun de risques indépendants différents entraîne une variation du risque systématique des assureurs participants en modifiant la part de marché des assureurs dans chaque marché. Étant donné que les risques séismiques du Québec et de la Colombie-Britannique sont relativement comparables, cette différence de risque ne devrait pas constituer un obstacle à la participation d'assureurs réticents à assumer des risques systématiques plus élevés. Cependant, la tarification du fonds doit être bien définie et structurée de façon à éviter que certains assureurs subventionnent d'autres assureurs. Pour un même risque, une tarification hétérogène désavantage les assureurs dont la tarification est plus conservatrice.

Afin de rencontrer les objectifs de minimisation de la probabilité de faillite et afin de minimiser les variations d'autres variables résultant de la mise en commun, le fonds devrait posséder les caractéristiques suivantes:

- la mise en commun des risques du Québec et de la Colombie-Britannique. L'instauration d'un fonds de réassurance du Québec et d'un autre fonds de la Colombie-Britannique serait essentiellement équivalente au statu quo;
- chaque assureur assume les risques des autres dans une proportion égale au ratio pertes cédées/pertes totales réassurées. Cette structure permet aux assureurs participants de conserver leur niveau actuel de risque systématique tout en diminuant leur risque non systématique;
- une tarification standard afin d'assurer que tous les assureurs obtiennent un rendement équivalent sur les risques cédés et assumés. De plus, une tarification standard inciterait les assureurs à adopter les critères de tarification du fonds à titre de critères minimaux lors de la tarification primaire tout en leur permettant de tarifer selon leur aversion au risque. En effet, afin de maintenir leur marge de profit constante, les primes demandées par les assureurs primaires ne doivent pas être inférieures aux primes de réassurance.

Les bénéfices de diversification de certains assureurs peuvent être minimes comparativement aux coûts indirects de participation provenant d'une capacité accrue des compétiteurs à souscrire des

risques. Par conséquent, les avantages de diversification doivent surpasser les coûts indirects de compétition afin d'inciter les assureurs à rejoindre le fonds. Les assureurs bien capitalisés et/ou bien diversifiés seraient certainement plus réticents à rejoindre le fonds étant donné une aversion moindre au risque. Généralement, les assureurs bien capitalisés sont aussi mieux diversifiés que les assureurs moins bien capitalisés.

#### *4.5.2 Réassurance publique*

Un fonds public de réassurance permettrait une augmentation de l'offre en augmentant la capacité totale disponible pour souscrire des risques et en réduisant considérablement l'incertitude rattachée au risque assumé par les assureurs primaires. Ces derniers, tout en augmentant leur offre d'assurance, maintiendraient leur probabilité de faillite respective en dessous du seuil maximal en transférant l'excédent des pertes assurées sur les pertes maximales, pouvant être assumées par l'assureur, au réassureur public. De plus, puisque la partie transférée correspondrait à la partie du risque la plus incertaine, alors les assureurs primaires deviendraient moins averses au risque.

Un fonds public de réassurance peut prendre plusieurs formes. Le fonds pourrait être structuré de la même façon qu'un réassureur privé, i.e. où l'assureur primaire paie une prime au réassureur qui lui, paie les sinistres selon l'entente de réassurance. De même, le programme pourrait être structuré de manière à ce que les assureurs remboursent le réassureur public pour les pertes encourues après la réalisation du sinistre selon une entente préétablie. La réassurance *expost* peut

comporter des ententes de remboursement prenant la forme de prêts ou de primes de réassurance étalées sur une période déterminée. Toutefois, ce type d'entente ajouterait un risque supplémentaire aux assureurs primaires tout en réduisant leur probabilité de faillite. En effet, les primes de réassurance ou les taux d'intérêt imposés peuvent être incohérents avec le rendement de la ligne d'affaires.

#### *4.6 Réserves catastrophiques*

L'instauration de fonds individuels de réserve affectés exclusivement au risque sismique permettrait d'augmenter le capital nécessaire à la souscription exclusive de ce risque. En principe, les assureurs doivent posséder le capital nécessaire pour couvrir les pertes potentielles réalisables. Or, actuellement, les pertes réalisables assumées par les assureurs sont supérieures au capital disponible. L'accumulation des primes futures dans des fonds de réserve permettrait une capitalisation progressive. Le rythme de capitalisation dépend des montants annuels déposés dans le fonds et des revenus d'investissements. Les dépôts annuels et les revenus d'investissements varient en fonction des primes et des règles fiscales en vigueur.

Sous les règles fiscales actuelles, les assureurs déduisent les pertes lorsqu'elles sont encourues et doivent inclure les primes gagnées et les revenus d'investissements provenant de ces dernières dans le calcul du revenu imposable. Les primes d'assurance tremblement de terre et les revenus d'investissements sont donc imposés annuellement et les pertes sismiques sont déduites lors de la réalisation d'un tremblement de terre. De plus, l'excédent des pertes sismiques sur le revenu

imposable avant sinistre d'un assureur lors d'un tremblement de terre peut être reporté sur les revenus imposables des trois années antérieures.

La valeur du fonds de réserve disponible lors d'un choc séismique varie en fonction des règles fiscales en vigueur. À titre indicatif, nous comparerons, ci-dessous, le temps nécessaire pour capitaliser les pertes séismiques sous diverses hypothèses fiscales<sup>48</sup>.

On peut définir les pertes non capitalisées du portefeuille comme étant égales à  $PML'_a - C$ <sup>49</sup> où  $PML'_a = O_{ab} * (PML'(L'))$ : pertes probables estimées du portefeuille (où  $PML'(L')$  est défini à la section 1.5.2) et  $C$ =capital actuel de l'assureur. Nous supposons que les pertes séismiques encourues correspondent aux pertes maximales probables estimées, que la croissance réelle des primes est nulle et que les primes annuelles souscrites nettes des frais de gestion et d'acquisition sont déposées dans un fonds de réserve séismique et que le sinistre survient lorsque les pertes sont pleinement capitalisées.

#### Hypothèse fiscale 0 (H<sub>0</sub>): règles fiscales actuelles

Sous cette hypothèse, les primes nettes d'impôts sont déposées dans le fonds de réserve séismique. De plus, les revenus d'investissements provenant des primes sont aussi nets d'impôts.

Le temps de capitalisation - no - requis est tel que:

<sup>48</sup>Les gouvernements étudient présentement diverses options fiscales pouvant accélérer le processus de capitalisation telle la déduction des primes séismiques dans le calcul du revenu imposable.

<sup>49</sup>Nous supposons que les primes nettes des coûts de gestion sont négligeables comparativement aux pertes maximales probables du portefeuille de risques séismiques.

$$((1-\Pi)*P)*S_{n0,(1-\Pi)*i} = PML'_a - C$$

où

$S_{n,i}$  : valeur future au temps  $n$  d'une annuité en fin d'année de  $n$  paiements de \$1.

$$S_{n0,(1-\Pi)*i} = ((1+(1-\Pi)*i)^{n0} - 1) / ((1-\Pi)*i) = (PML'_a - C) / ((1-\Pi)*P)$$

$P$  : primes nettes annuelles;

$\Pi$  : taux d'imposition;

$i$  : taux d'intérêt réel.

Hypothèse fiscale 1 (H1): primes et revenus d'investissements non imposables

Sous cette hypothèse, les primes séismiques annuelles de même que les revenus d'investissements correspondants sont exemptés d'impôts lorsque la réserve est inférieure à la réserve fiscale maximale allouée. Lors du sinistre, la réserve est incluse dans le revenu imposable. L'ajout de la réserve au revenu imposable permet à l'assureur de déduire la partie des pertes correspondant à la réserve. Par conséquent, aucun impôt ne sera déduit de la réserve lors du sinistre. Le temps de capitalisation -  $n_1$  - requis est tel que:

$$P * S_{n1,i} = PML'_a - C$$

où

$$S_{n1,i} = ((1+i)^{n1} - 1) / i = (PML'_a - C) / P$$

Le temps de capitalisation sous  $H_0$  est supérieur au temps sous  $H_1$  car les primes et les revenus d'investissements sont taxés.

Hypothèse fiscale 2 ( $H_2$ ): primes non imposables

Sous cette hypothèse, les primes déposées dans le fonds sont exemptées d'impôts alors que les revenus d'investissements sont taxés annuellement. Lors du sinistre, la réserve est incluse dans le revenu imposable. L'ajout de la réserve au revenu imposable permet à l'assureur de déduire la partie des pertes correspondant à la réserve. Par conséquent, aucun impôt ne sera déduit de la réserve lors du sinistre. Le temps de capitalisation -  $n_2$  - requis est tel que:

$$P \cdot S_{n_2, (1-I) \cdot i} = PML'_a - C$$

où

$$S_{n_2, (1-I) \cdot i} = \left( \frac{(1 + (1-I) \cdot i)^{n_2} - 1}{(1-I) \cdot i} \right) = (PML'_a - C) / P$$

Le temps de capitalisation sous  $H_2$  est supérieur au temps sous  $H_1$  car les revenus d'investissements sont taxés sous  $H_2$ .

Outre la nécessité de capitaliser les pertes assumées, la déduction des primes pures est actuariellement justifiable dans la mesure où l'accumulation des primes pures représente essentiellement une réserve actuarielle pour les pertes futures. L'assurance tremblement de terre

est comparable à l'assurance vie où le risque de mortalité est réparti sur la durée de vie d'un individu. Les primes annuelles d'assurance-vie sont déterminées en nivelant et escomptant les pertes espérées sur l'espérance de vie d'un assuré. Ainsi, le surplus des primes annuelles sur les pertes encourues au début du cycle de vie est accumulé dans un fonds de réserve actuarielle et sera utilisé lorsque les pertes encourues deviendront supérieures aux primes vers la fin du cycle de vie. La réserve actuarielle représente donc la valeur actualisée des pertes futures anticipées non couvertes par les primes futures.

À ce titre, les primes pures séismiques souscrites avant la réalisation d'un tremblement de terre représentent essentiellement le manque à gagner entre les pertes futures et les primes futures. Sous les pratiques actuarielles courantes, les primes pures sont déterminées en répartissant les pertes futures non escomptées sur le cycle séismique. En appliquant le principe de réserve actuarielle au risque séismique, le revenu imposable, RI, avant la réalisation d'un tremblement de terre serait égal à:

$$(4) \text{ RI} = (1-20\%)*\text{PB} - \text{PP}$$

où

- PB : prime brute;
- c : cycle séismique mesuré en nombre d'années;
- PP : primes pures annuelles déterminées en nivelant les pertes espérées agrégées et non escomptées du portefeuille -  $\text{PML}'_a(L')$  - sur le cycle séismique i.e.  $\text{PML}'_a(L')/c$ ;
- 20% : coûts de gestion et d'acquisition en proportion de la prime brute.

Le revenu imposable sous les règles fiscales actuelles est égal à:

$$(5) \text{RIA} = (1-20\%)*\text{PB}$$

On constate donc que le revenu imposable actuel ne correspond pas au revenu imposable déterminé selon le principe de réserve actuarielle. L'instauration de réserves séismiques fiscales où les primes pures souscrites annuellement sont exemptées d'impôts, permettrait aux assureurs d'accumuler les fonds nécessaires au paiement des pertes futures à la fin du cycle séismique i.e.:

$$(6) c*PP = c*PML'_a(L')/c = PML'_a(L')$$

Si les primes étaient établies en nivelant les pertes futures escomptées sous les pratiques actuarielles, alors le revenu imposable annuel, sous le principe de réserve actuarielle, serait égal à:

$$(7) \text{RIN} = (1-20\%)*\text{PB} - \text{PP}_n$$

où

$i$  : taux d'intérêt réel annuel.

$\text{PP}_n$  est obtenu de façon à ce que les pertes soient capitalisées à la fin du cycle. La valeur présente, au début du cycle, des primes pures annuelles<sup>50</sup> (primes brutes nettes des coûts d'acquisition et de gestion) doit égaler la valeur présente des pertes à la fin du cycle:

---

<sup>50</sup>On suppose ici que les primes sont payables en fin d'année.

$$(8) PP_n * VP_n = PML'_a(L') / (1+i)^c$$

où

$$PP_n : PML'_a(L') / (1+i)^c / VP_n ;$$

$VP_n$  : valeur présente d'une annuité en fin d'année de  $c$  paiements de \$1 et égale à  $(1 - (1+i)^{-c}) / i$ .

L'accumulation des primes pures -  $PP_n$  - et des revenus d'investissements correspondants dans un fonds de réserve actuarielle résulterait en une capitalisation complète des pertes à la fin du cycle séismique.

Or, puisque les pratiques actuarielles courantes n'escomptent pas les sinistres aux fins de tarification, alors l'accumulation des primes pures, établies en répartissant les pertes non escomptées sur le cycle séismique, permettrait de capitaliser les pertes espérées. Conséquemment, sous le principe de réserve actuarielle, seules les primes devraient être exemptées d'impôts i.e. que les revenus d'investissements provenant de ces dernières devraient être imposés.

## 5. PROPOSITIONS DE L'INDUSTRIE AMÉRICAINE

Trente-neuf états américains sont exposés à des risques considérables de tremblement de terre. Selon le U.S. Geological Survey, la probabilité de réalisation d'un tremblement de terre d'ici l'an 2010, dans le sud de la Californie, est de l'ordre de 60%. Le National Center for Earthquake Engineering Research de Buffalo estime que la probabilité de réalisation d'un tremblement de

terre majeur dans l'est des États-Unis, d'ici l'an 2010, est de l'ordre de 100%. Les pertes potentielles s'élèveraient à \$50 milliards.

Les États-Unis possèdent un programme public de gestion du risque sismique connu sous le nom de "National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP)". Ce dernier a été instauré à la suite de l'adoption, par le Congrès américain, de la loi portant sur la réduction du risque de tremblement de terre en 1977. Ce programme est constitué d'un partenariat entre le Federal Emergency Management Agency, le United States Geological Survey, le National Institute of Standards and Technology et le National Science Foundation. Son mandat consiste à effectuer de la recherche sur le risque et sur les diverses technologies de prévention, à diffuser l'information afin de favoriser l'adoption de mesures préventives et finalement à implanter des mesures de réduction du risque.

Le programme actuel inclue des mesures indirectes de réglementation (résultant de subventions accordées à certains organismes privés établissant des standards minimaux de construction), des mesures de diffusion d'information et des mesures de collaboration avec d'autres paliers gouvernementaux et organismes privés concernant les programmes d'intervention d'urgence. Selon Peter May (1991), les mesures de réglementation n'ont pas provoqué une augmentation du nombre de villes exigeant des normes minimales sismiques. Elles ont plutôt permis une amélioration des codes des villes qui ont toujours exigé des normes minimales sismiques (majoritairement des villes californiennes). En 1991, seulement 18 des 35 états, exposés à des

risques considérables, possédaient des codes de construction prévoyant des exigences minimales contre les risques séismiques.

Selon Peter May, les mesures de diffusion d'information et de collaboration se sont avérées efficaces pour les villes ayant historiquement démontrées un intérêt pour la prévention contre le risque séismique. Cependant, le programme n'a pas influencé les juridictions affichant une indifférence vis-à-vis du risque. Afin de remédier à ces lacunes, il recommande l'instauration d'un programme semblable au programme national américain d'assurance inondation instauré en 1968.

Sous ce dernier programme, les juridictions doivent rencontrer certaines normes de construction et d'aménagement afin d'avoir accès à l'assurance inondation, au programme d'aide financière aux sinistrés et à l'obtention d'un prêt hypothécaire. Le refus de compensation pour les résidents des zones à risque a été ajouté en 1973 à titre de clause punitive. L'offre d'assurance ne constituait pas une incitation suffisante à la participation au programme et, donc, à l'adoption de mesures préventives. Selon May, l'adoption de niveaux d'assurance minimaux ne constitue pas un objectif social de gestion publique du risque.

Or, le programme proposé par l'industrie vise essentiellement à augmenter le niveau d'assurance en atténuant l'aversion des assureurs et en obligeant les propriétaires à s'assurer. Malgré sa forte probabilité de réalisation, environ 25% des Californiens sont couverts contre le risque séismique. Le taux de participation dans les autres états américains est encore plus faible que celui de la Californie. Une participation obligatoire, résultant de l'obligation d'assurance pour l'obtention

d'un prêt hypothécaire, permettrait l'atteinte de niveaux acceptables d'assurance. Aussi, elle permettrait aux assureurs de mieux répartir leurs risques sur l'ensemble du territoire américain. L'aversion serait réduite en augmentant considérablement la capacité disponible et en augmentant la diversification des risques.

Les assureurs américains considèrent que, sans l'intervention gouvernementale, le risque séismique ne représente pas un risque assurable par l'industrie étant donné sa quasi-certitude de réalisation durant les quinze prochaines années, l'ampleur des pertes potentielles de même que la quasi-impossibilité de répartir les risques. L'industrie a donc proposé l'instauration d'un programme fédéral d'assurance tremblement de terre géré par une corporation fédérale et comprenant un programme de coassurance résidentielle et de réassurance gouvernementale excédentaire. Le rôle de la corporation consisterait à déterminer les primes d'assurance, les limites de couverture et les déductibles, à gérer les fonds d'assurance et de réassurance, à rembourser les pertes subies par les assureurs primaires et à déterminer les conditions de prêts en cas d'insolvabilité des fonds d'assurance et de réassurance<sup>51</sup>.

## **5.1 Coassurance des risques résidentiels**

### *Description*

---

<sup>51</sup>Les termes du prêt seraient établis par la Corporation. Le taux d'intérêt exigible serait fonction du taux de rendement d'instruments financiers comparables.

Contrairement au programme fédéral d'assurance inondation<sup>52</sup>, le programme fédéral de coassurance résidentielle répartirait le risque entre les assureurs primaires et le gouvernement. Les assureurs primaires et le gouvernement fédéral assumeraient respectivement 10% et 90% du risque assuré i.e. que seulement 10% des pertes résidentielles non capitalisées par le fonds seraient assumées par l'industrie<sup>53</sup>. Une entente préliminaire de prêts entre la Corporation et le gouvernement fédéral permettrait la couverture des pertes non capitalisées recouvrées ultérieurement par une augmentation des primes d'assurance tremblement de terre.

Les primes d'assurance résidentielle seraient déposées et gérées dans le fonds d'assurance. Les assureurs primaires participants seraient obligés d'offrir l'assurance tremblement de terre résidentiel au nom de la Corporation, de collecter les primes, d'évaluer les pertes et de rembourser les sinistrés. Les dépenses d'administration et de souscription encourues par les assureurs (commissions, etc.) seraient déduites des primes collectées avant d'être remises à la Corporation. Les primes, de même que l'intérêt couru sur ces dernières, ne seraient pas imposables.

### *Analyse*

---

<sup>52</sup>Les assureurs n'assument aucun risque. Ils souscrivent les polices et transfèrent le risque au gouvernement.

<sup>53</sup>Les pertes non capitalisées seraient réparties entre les assureurs selon leur ratio respectif primes souscrites/primes totales souscrites dans la zone sinistrée.

Aux États-Unis, les assureurs sont extrêmement vulnérables au risque séismique étant donné la réalisation quasi certaine, durant les 15 prochaines années, d'un tremblement de terre majeur et la quasi impossibilité de diversifier les risques. Trente-neuf sur cinquante états comportent des risques séismiques moyens ou élevés. Outre la Californie, où la probabilité de réalisation d'un choc séismique est estimée à plus de 60% au cours des 15 prochaines années, la demande d'assurance est trop faible pour permettre un niveau de diversification acceptable pour les assureurs. Conséquemment, dans l'état actuel des choses, les assureurs sont réticents à vendre de l'assurance contre un risque séismique les exposant à une probabilité de faillite considérable.

Le programme quasi public de coassurance, où 90% du risque d'assurance est assumé par le gouvernement fédéral, inciterait les assureurs à vendre de l'assurance en:

- éliminant le risque de faillite des assureurs (prêt gouvernemental);
- incitant les assureurs à participer en leur permettant de réaliser un profit acceptable par rapport au risque assumé (intérêt sur prêts vs profit d'assurance et risque de non renouvellement i.e. d'une diminution du volume d'affaire exposé), et;
- en pénalisant implicitement les assureurs non participants car le produit d'assurance offert par les assureurs participants comporterait un risque nul de non-paiement des pertes encourues, un prix plus bas<sup>54</sup> et un déductible comparable ou moindre aux assureurs non participants.

---

<sup>54</sup> Les primes, sous le programme fédéral, seraient trois fois plus petites que les primes actuelles. Cette réduction serait attribuable à une plus grande diversification (la plupart des

## **5.2 Réassurance publique excédentaire**

Le programme public de réassurance excédentaire permettrait aux assureurs primaires de réassurer les risques d'autres lignes d'affaires (risques commerciaux et invalidité, etc.) où des pertes sont susceptibles d'être encourues lors de la réalisation d'un tremblement de terre. L'objectif du programme de réassurance consisterait à augmenter l'offre de réassurance. Les polices offertes seraient sensiblement comparables aux polices privées.

Les assureurs participants au programme de réassurance devraient participer au programme d'assurance résidentielle tout en se conformant à la tarification établie par la Corporation.

## **6. RECOMMANDATIONS**

Bien que les distorsions du marché américain de l'assurance contre le risque séismique soient similaires à celles du marché canadien - faible demande, sous-capitalisation des assureurs, sous-investissement dans les technologies de prévention - les propositions de l'industrie américaine s'inscrivent dans un contexte où le risque diffère du risque canadien et où les objectifs sociaux sont mal définis. Par exemple, les propositions américaines ont été critiquées pour leur manque d'intérêt vis-à-vis l'adoption de mesures de prévention.

---

gens actuellement assurés vivent dans les zones les plus à risque), à une réduction de la prime de risque (gouvernement neutre au risque) et à une marge de profit nulle pour le gouvernement.

Au Canada, le risque de tremblement de terre est moins important que le risque américain, et moins bien défini. La probabilité de réalisation non conditionnelle<sup>55</sup> d'un tremblement de terre est estimée à 10% sur une période de 50 ans alors que la probabilité conditionnelle est estimée à 60% d'ici 15 ans aux États-Unis. L'estimation canadienne est non conditionnelle au cycle séismique i.e. qu'elle n'intègre pas l'information statistique conditionnelle au cycle séismique étant donné que les cycles canadiens sont moins bien connus que les cycles américains. Le cycle constitue une variable importante car il détermine l'urgence de la situation en indiquant la probabilité réelle de réalisation. Or, puisque l'urgence de construire un capital constitue un facteur décisif du processus de gestion, alors des solutions visant à construire du capital à long terme sont plus pertinentes au Canada qu'aux États-Unis. Par contre, des mécanismes tel un programme public de coassurance permettant d'augmenter en permanence le capital à court terme, peut constituer une solution adaptée aux problèmes d'offre d'assurance des deux pays.

Le Canada contient deux zones séismiques importantes alors que plus de 60% des états américains sont exposés à des risques séismiques moyens ou élevés. Le potentiel géographique de diversification sur les zones à risque est moins important au Canada qu'aux États-Unis. Par conséquent, la proposition d'assurance obligatoire pour tous les Américains, dont l'objectif principal est d'améliorer la répartition géographique des risques indépendants en mettant en commun les risques des diverses zones, constitue une solution peu pertinente pour le Canada et politiquement plus risquée (voir discussion à la section 4.3).

---

<sup>55</sup>Une probabilité conditionnelle mesure la probabilité de réalisation en tenant compte de la situation temporelle par rapport au cycle séismique et, ainsi, reflète mieux la probabilité réelle d'un sinistre et, conséquemment, l'urgence d'agir.

Les mesures proposées ici-bas permettent d'atteindre les objectifs sociaux par l'intermédiaire de programmes volontaires de gestion du risque. À ce titre, elles permettent d'augmenter l'offre et la demande d'assurance et de maximiser la richesse sociale. L'instauration de mesures d'incitation doit être favorisée étant donné les caractéristiques du risque canadien, la structure compétitive du marché favorisant l'atteinte des niveaux optimaux et le contexte politique actuel caractérisé par une décentralisation des pouvoirs et une tendance à la privatisation. La structure compétitive de marché représente une variable de fonds sur laquelle les mécanismes d'intervention doivent être dessinés. L'offre d'assurance constitue donc un élément essentiel à l'atteinte des objectifs sociaux puisqu'elle agit à titre de mécanisme déclencheur ou catalyseur. Étant donné la structure actuelle de compétitivité, un accroissement de l'offre d'assurance:

- incitera les assureurs à maximiser leur profit en accroissant la demande d'assurance et, donc, à corriger les problèmes d'irrationalité et d'information;
- permettra l'atteinte d'une demande optimale d'assurance étant donné des marges de profit minimales attribuables à une structure de marché compétitive; et
- permettra l'adoption de niveaux optimaux de prévention par l'intermédiaire d'une structure de tarification fonction du risque et de la prévention (voir discussion sur l'homogénéité des risques à la section 1.2.2). Cette dernière incitera les propriétaires à adopter des comportements optimaux de prévention (voir section 1.2.1).

Afin d'encourager une augmentation de l'offre et une tarification basée sur la prévention, il importe d'instaurer un contexte législatif adéquat et des mécanismes favorisant une augmentation de l'offre. Afin d'atténuer les distorsions au niveau des prix résultant d'une couverture implicite du risque de feu dans la police standard, le contexte législatif doit être révisé afin de permettre l'exclusion du risque de feu résultant d'un tremblement de terre dans la police standard. À ce titre, le Québec représente un exemple à suivre. L'offre peut être augmentée en augmentant la capacité des assureurs et en augmentant la diversification des risques assumés par ces derniers. Un programme privé de réassurance permet d'augmenter la répartition des risques. La capacité peut être accrue en capitalisant les pertes futures ou en instaurant un programme gouvernemental de réassurance. Étant donné le niveau actuel de sous capitalisation des assureurs, une augmentation de la diversification des risques est souhaitable mais insuffisante au maintien de l'offre actuel et, conséquemment, à l'atteinte des objectifs sociaux. Il est donc nécessaire d'augmenter la capacité des assureurs. Un programme de capitalisation des pertes instauré conjointement à un programme ex post de réassurance constitue une solution adaptée car:

- Le besoin de capitalisation des pertes à court terme n'est pas aussi important qu'aux États-Unis;
- un programme gouvernemental de réassurance ex ante requerrait une implication considérable du gouvernement et résulterait en un dédoublement de structures administratives non essentielles à l'ajout de capital.

L'environnement dans lequel s'effectuerait la capitalisation des pertes doit reconnaître deux caractéristiques importantes qui distinguent clairement le risque séismique des risques standards d'assurance de dommages:

1. le risque est catastrophique (i.e. qu'il affecte simultanément tous les assurés résidant dans une même zone à risque) et la fréquence de réalisation n'est pas annuelle, i.e. que le risque se réalise une fois sur son cycle. En principe, la probabilité de réalisation d'un tremblement de terre sur son cycle est égale à 1. Les cycles séismiques sont de l'ordre de centaines d'années;
2. le risque est incertain (fréquence et pertes probables).

Son caractère extraordinaire rend particulièrement vulnérable les assureurs à des chocs de surplus importants. Les assureurs maintiennent un surplus suffisant afin de parer aux chocs de capital pouvant résulter d'une expérience défavorable et non anticipée. Le rôle du capital consiste à absorber les chocs de surplus. Or, étant donné la déplétion potentielle de capital pouvant résulter du caractère extraordinaire du risque séismique et sa fréquence de réalisation non annuelle, des mécanismes de capitalisation doivent être instaurés. Il est important de reconnaître ces caractéristiques fondamentales du risque séismique dans la formulation de politiques publiques puisqu'elles limitent considérablement l'offre d'assurance.

L'instauration d'un fonds de réserve, où l'excédent des primes pures sur les pertes séismiques annuelles serait non imposable et où la réserve maximale serait égale à  $PML'_a(L')-C$ , constitue

une solution adaptée aux spécificités du risque en question. Étant donné que les primes sont déterminées sans escompter les sinistres, alors il ne serait pas approprié d'autoriser une déduction fiscale des revenus d'investissements. Tout comme l'assurance-vie, les primes d'assurance tremblement de terre sont déterminées en nivelant les pertes espérées sur le cycle séismique. Cependant, les primes actuelles ne sont pas escomptées car la police est renouvelable annuellement et le cycle séismique est trop peu défini et incertain (difficile de prévoir exactement le temps de réalisation d'un choc séismique). Les primes représentent donc le nivellement des pertes espérées non escomptées sur le cycle séismique. La somme des primes pures à un moment donné représente la différence entre les pertes anticipées moins les primes futures, i.e. la réserve actuarielle nécessaire pour financer les pertes séismiques futures. À ce titre, les primes pures souscrites devraient être accumulées dans un fonds de réserve actuarielle comparable aux polices d'assurance-vie afin de capitaliser les pertes séismiques espérées.

Afin de tenir compte de l'incertitude quant au temps de réalisation du risque et quant aux pertes probables, le gouvernement devrait aussi supporter les assureurs en leur procurant un système de crédit automatique afin de couvrir les pertes non capitalisées qui pourraient survenir durant la période de capitalisation.

## Annexe 1 : Élasticité de la demande brute $D_{ab}$ par rapport à $PrimeA$

Ehrlich et Becker n'ont pas donné de résultats précis concernant la demande brute d'assurance  $D_{ab}$  mais seulement un résultat concernant la demande nette d'assurance  $D_{an}$ . En fait, les auteurs ont noté que l'effet d'une variation du prix  $A$  sur la demande brute d'assurance est obscur. Or, puisque nous sommes intéressés par la demande brute, cette annexe fournit des résultats tangibles concernant la demande brute d'assurance.

Les auteurs ont défini la prime totale payée comme suit:

$$(1) CT = \text{Prix}A * D_{an}$$

$$(2) CT = \text{Prix}A * (D_{ab} - CT)$$

où

$D_{an}$  = demande nette d'assurance;

$D_{ab}$  = demande brute d'assurance;

$CT$  = Prime d'assurance chargée par l'assureur.

En isolant  $CT$  dans l'expression (2), on obtient:

$$(3) CT = D_{ab} * (\text{Prix}A / (1 + \text{Prix}A))$$

où

$\text{Prix}A / (1 + \text{Prix}A)$  = prime marginale  $PrimeA$  et est inférieure à 1.

On peut observer qu'une augmentation de la variable PrixA résulte nécessairement en une augmentation de la prime marginale puisque la dérivée de la prime marginale par rapport à PrixA -  $1/(1+PrixA)^2$  - est positive.

En substituant (3) dans (1), on obtient:

$$(4) D_{an} = D_{ab}/(1+PrixA)$$

La dérivée totale de  $D_{an}$  par rapport à PrixA est égale à:

$$(5) \delta D_{an}/\delta PrixA + (\delta D_{an}/\delta D_{ab}) * dD_{ab}/dPrixA$$

En substituant les expressions respectives dans l'équation (5), on obtient:

$$(6) dD_{an}/dPrixA = -D_{ab}/(1+PrixA)^2 + (1/(1+PrixA)) * dD_{ab}/dPrixA$$

En multipliant l'équation (6) par  $PrixA/D_{an}$  et en substituant  $D_{an}$  par l'équation (4), on obtient l'élasticité-PrixA pour la demande nette d'assurance,  $\epsilon_{prixA}$ , soit:

$$(7) -PrixA/(1+PrixA) + (dD_{ab}/dPrixA) * PrixA/D_{ab}$$

Or, puisque  $PrixA/(1+PrixA) = PrimeA$ , on obtient l'expression suivante pour l'élasticité-PrixA:

$$(8) \epsilon_{\text{prixA}} = -\text{PrimeA} + (dD_{\text{ab}}/d\text{PrixA}) * \text{PrixA} / D_{\text{ab}}$$

Sachant que  $\text{PrixA} = \text{PrimeA} / (1 - \text{PrimeA})$  et que  $d\text{PrixA} / d\text{PrimeA} = 1 / (1 - \text{PrimeA})^2$ , i.e.  $d\text{PrixA} = d\text{PrimeA} / (1 - \text{PrimeA})^2$ , alors

$$(9) \epsilon_{\text{prixA}} = -\text{PrimeA} + (dD_{\text{ab}}/d\text{PrimeA}) * (1 - \text{PrimeA}) * \text{PrimeA} / D_{\text{ab}} \\ = -\text{PrimeA} + \epsilon_{\text{primeA}} * (1 - \text{PrimeA})$$

On obtient donc l'expression suivante pour l'élasticité-PrimeA de la demande brute d'assurance:

$$(10) \epsilon_{\text{primeA}} = (\text{PrimeA} + \epsilon_{\text{prixA}}) / (1 - \text{PrimeA})$$

Ehrlich et Becker ont démontré que  $\epsilon_{\text{prixA}}$  est négative. Si la valeur absolue de l'élasticité-PrixA est supérieure/inférieure à PrimeA, alors la demande brute d'assurance diminue/augmente lorsque la prime marginale augmente.

## Annexe 2: Relation entre la surcharge actuarielle et la variance

### Tarification actuarielle

La tarification des assureurs est telle qu'une charge est appliquée sur la prime pure afin de considérer les dépenses (coûts d'acquisition et autres), mais aussi de la variabilité et de l'incertitude du risque assuré ("risk load"). La prime de risque appliquée sur la prime pure dépend de la variance du risque assuré.

$$(1) PB = (PP+PR)/(1-LR)$$

$$(2) PR = FC*\sigma$$

où

PB: Prime brute;

PP: Prime pure (espérance des pertes assurées);

PR: Prime de risque;

LR: Ratio des pertes assurées (incluant les coûts de règlement de sinistres) sur les primes d'assurance;

FC: Facteur de charge établi en fonction de l'aversion de l'assureur, de la variabilité et de l'incertitude, quant aux paramètres de la distribution statistique, liées au risque. Le niveau est généralement déterminé de façon à respecter un seuil maximal de probabilité de faillite;

$\sigma$ : Écart-type des pertes assurées.

Donc, en substituant (2) dans (1), on obtient:

$$(3) PB = PP/(1-LR) + FC*\sigma/(1-LR)$$

On peut exprimer l'écart-type en fonction de la prime pure soit:

$$(4) \sigma = PP*(1+z) \text{ où } z = (\sigma/PP)-1$$

où

$\sigma/PP$  = coefficient de variation.

En substituant (4) dans (3), on obtient:

$$(5) PB = (PP/(1-LR)) * (1+(FC*(1+z))) = PP*(1+w)$$

où

$w = ((1+FC*(1+z))/(1-LR))-1$  est la surcharge totale exprimée en % de la prime pure.

Z: une fonction des caractéristiques du risque assuré

La variance d'une variable X est égale à:

$$(6) \text{Var}(X) = E(N) * \text{Var}(Y) + \text{Var}(N) * E(Y)^2, \text{ si } N \text{ et } Y \text{ sont indépendantes}$$

$$(7) PP = E(X) = E(N) * E(Y), \text{ si } N \text{ et } Y \text{ sont indépendantes}$$

où

Y: pertes assurées sachant qu'un sinistre s'est réalisé;  
N: nombre de sinistres dans une période donnée.

En substituant (6) et (7) dans l'expression définissant z, on obtient:

$$(8) z = \left( \sqrt{E(N) \cdot \text{Var}(Y) + \text{Var}(N) \cdot E(Y)^2} / E(N) \cdot E(Y) \right) - 1$$

Les risques rares et catastrophiques ont généralement un facteur z plus élevé que les risques fréquents et comportent donc une surcharge plus élevée.

### Annexe 3: Réduction de prime attribuable au déductible

La réduction de prime correspondant à l'adoption de mesures préventives pour une police comportant un déductible absolu ( fonction du montant assuré), est égale à la réduction de l'espérance des pertes potentielles non couvertes par le déductible. L'espérance de pertes d'une police comportant un déductible D lorsque la dépense d'auto-assurance est nulle  $E_D(L(c=0))$  est égale à:

$$E_D(L(c=0)) = 0 (\forall L \leq D) + \sum_{L > D} p_L * (L-D)$$

L'espérance de pertes d'une police comportant un déductible D lorsque la dépense d'auto-assurance non nulle permet de réduire les pertes potentielles d'un montant y est égale à:

$$E_D(L(c>0)) = 0 (\forall L \text{ tel que } L \leq D+y) + \sum_{L > D+y} p_L * (L-y-D)$$

où

L : pertes potentielles réalisables avant l'adoption de mesures préventives;  
p<sub>L</sub> : probabilité de réalisation des diverses pertes potentielles.

L'espérance de la perte, lorsque la dépense d'auto-assurance est non nulle, est inférieure à l'espérance de la perte lorsque c=0, puisque l'ensemble des pertes potentielles réalisables (définies par rapport à c=0), couvertes par la police, est plus restreint et que toutes les pertes de l'ensemble

réalisable sont réduites du montant  $y$ . La réduction de primes correspondant à l'adoption de mesures préventives est donc égale à la réduction de pertes espérées couvertes par la police i.e.:

$$E_D(L(c=0)) - E_D(L(c>0)).$$

#### Annexe 4: Fonction de demande nette et brute d'assurance

Ehrlich et Becker ont démontré que la demande nette d'assurance augmente lorsque  $p$  diminue sans formuler les fonctions de demande nette et brute d'assurance. Au point de demande optimale, le taux marginal de substitution pondéré par les probabilités de réalisation respectives de états réalisables doit égalier le prix d'assurance - PrixA:

$$(1) \text{TMS}(I_D^*, I_F^*) * p / (1-p) = \text{PrixA}$$

où

$I_F^*$  : richesse optimale dans l'état favorable;

$I_D^*$  : richesse optimale dans l'état défavorable.

Le prix d'assurance actuariellement correct correspond à  $\text{PrixA} = p / (1-p)$  où une prime marginale unitaire d'assurance  $p$  (l'espérance de la perte marginale unitaire) doit être déboursée dans l'état favorable afin de réduire la perte dans l'état défavorable de \$1. Si la surcharge est indépendante de  $p$  et est appliqué sur  $p / (1-p)$ , alors au point de demande optimale:

$$(2) \text{TMS}(I_D^*, I_F^*) * p / (1-p) = (1+w) * p / (1-p)$$

$$(3) \text{TMS}(I_D^*, I_F^*) = 1+w$$

Les richesses optimales dans les états réalisables doivent être telles que le taux marginal de substitution non pondéré égale  $(1+w)$ . Or, en supposant que les courbes d'indifférence sont

parallèles i.e. une fonction d'utilité homothétique, alors tous les points optimaux doivent être situés sur une droite dont la pente égale  $1/(1+w)$ .

Soient  $(I_0^*, I_1^*)$  le point de richesse optimale tel que  $U(I_0^*, I_1^*) = U(I_0, I_1)$  et  $TMS(I_0^*, I_1^*) = (1+w)$  où  $I_1$  et  $I_0$  sont respectivement la richesse de dotation de l'état favorable et de l'état défavorable. L'ordonnée à l'origine,  $a$ , de la droite optimale est telle que (voir graphique 5 ici-bas):

$$(4) (I_1^* - a) / I_0^* = 1 / (1+w)$$

$$(5) a = I_1^* - I_0^* / (1+w)$$

La droite des points optimaux est telle que:

$$(6) I_F^* = a + I_D^* / (1+w)$$

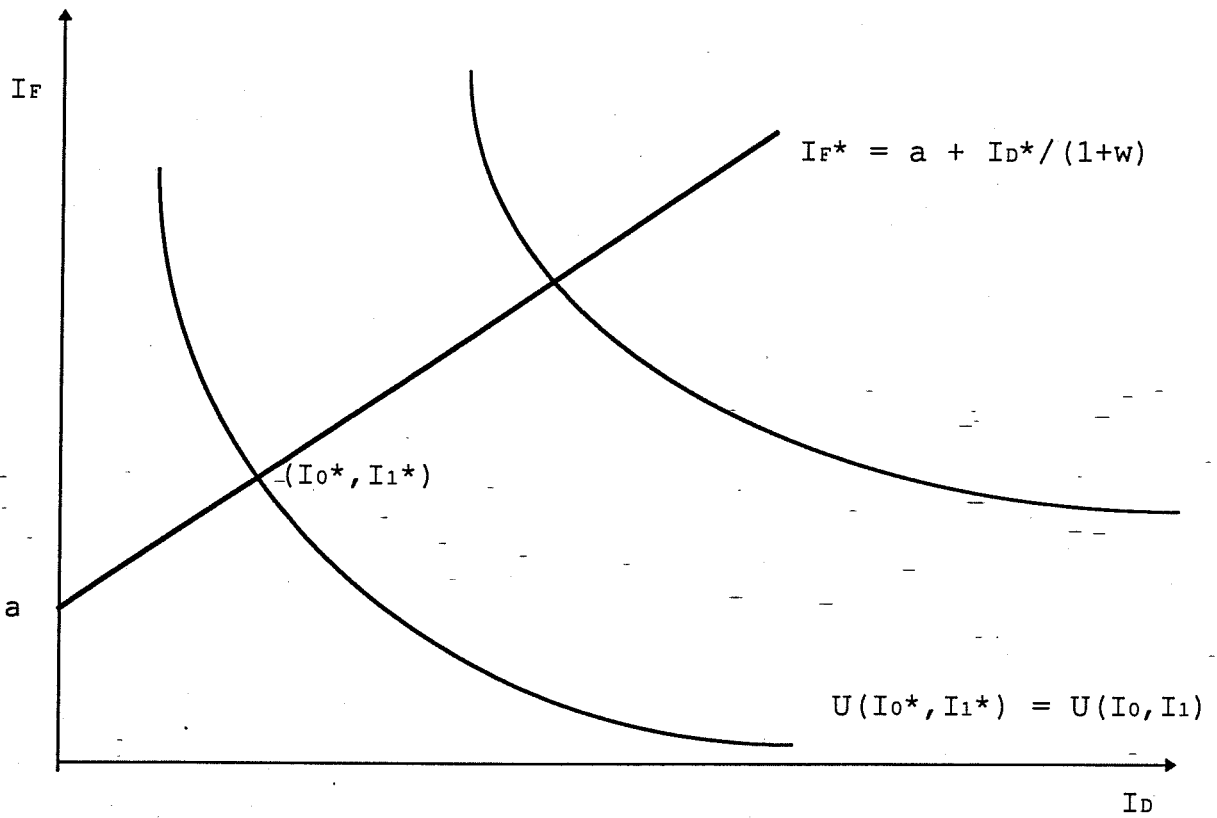
Or, puisque  $I_F^* = I_1 - \text{PrixA} * D_{an}$  et  $I_D^* = I_0 + D_{an}$ , on obtient  $D_{an}$  en remplaçant  $I_F^*$  et  $I_D^*$  par ces dernières expressions:

$$(7) D_{an} = (I_1 - a - I_0 / (1+w)) / (1 / (1+w) + \text{PrixA})$$

La demande brute d'assurance,  $D_{ab}$ , est égale à  $D_{an} / (1 - \text{PrimeA})$ . La demande brute d'assurance est donc égale à:

$$(8) D_{ab} = \frac{1}{(1 - \text{Prime}A)} * \frac{(I_1 - a - I_0 / (1 + w))}{(1 / (1 + w) + \text{Prime}A / (1 - \text{Prime}A))}$$

**GRAPHIQUE 4**



## **BIBLIOGRAPHIE**

Arrow, K.; **Insurance, Risk and Resource Allocation**; Essays in the Theory of Risk Aversion; Markham Publishers, U.S. 1971, pp:45-56.

Arrow, K.; **The Theory of Risk Aversion**; Essays in the Theory of Risk Aversion; Markham Publishers, U.S. 1971, pp:28-44.

Camerer, Colin - Kunreuther, Howard; **Decision Processes for Low Probability Events: Policy Implications**; Journal of Policy Analysis and Management, vol.8(4), 1989, pp:565-592.

Clary, Bruce B.; **The Evolution and Structure of Natural Hazard Policies**; Public Administration Review, vol.45, January 1985, pp:20-28.

Cohen, Linda - Noll, Roger; **The Economics of Building Codes to Resist Seismic Shock**; Public Policy, vol.29(1), Winter 1981, pp:1-29.

Collins, Patricia; **IAO distributes system to estimate earthquake exposure**; Canadian Insurance/Agent&Broker, vol.97, no.4, April 1992.-

Conférence organisée par le Bureau d'assurance du Canada: **Canadian Earthquake Exposure and the Insurance Industry**; 29 Mai 1996, Toronto.

Congressional Research Service for the Committee on Commerce, Science, and Transportation of the United States Senate; **Earthquake Insurance: Problems and Options**; December 1986, pp:1-61.

Ehrlich, Isaac - Becker, Gary; **Market Insurance, Self-Insurance, and Self-Protection**; Journal of Political Economy, vol.80, no.4, Aug. 1972.

Emergency Preparedness Canada; **Disaster Financial Assistance Arrangements**; September 1994; pp:1-2.

Emergency Preparedness Canada; **Summary of Federal Emergency Preparedness**; pp:14-17.

Énergie, Mines et Ressources Canada; **Earthquake in Canada**; July 1989, pp:2-5.

Énergie, Mines et Ressources Canada; **Earthquakes**; March 1990, pp:2-4.

Énergie, Mines et Ressources Canada; **Earthquakes in Southwest British Columbia**; March 1990, pp:2-3.

Énergie, Mines et Ressources Canada; **Seismic Hazard Calculation**; March 1990, pp:2-4.

Financial Post; **Major Disasters give reinsurers nightmares**; Financial Post, 24 février 1996, pp:20.

Fredette, André; **Kobe: A Lesson for Canada**; Canadian Insurance, March 1995, pp:8-10.

Gay, Catherine; **Reinsurers take on hailstorms, earthquakes**; Financial Post, 24 février 1996, pp:21.

Heidebrecht, A.C., Basham, P.W., Rainer, J.H., Berry, M.J.; **Engineering Applications of New Probabilistic Seismic Ground-motion Maps of Canada**; Canadian Journal of Civil Engineering, vol.10, 1983, pp:670-680.

Hula, Richard; **Market-Based Public Policy**; St. Martin's Press, New York, in association with the Policy Studies Organization, 1988, pp:21-42.

Jovel, Roberto J.; **Natural Disasters and Their Economic and Social Impact**; Cepal Review, no. 38, 1989, pp:133-145.

Kunreuther, H. - Hogarth, R. - Meszaros, J.; **Insurer Ambiguity and Market Failure**; Journal of Risk and Uncertainty, vol.7, 1993, pp:71-87.

Kunreuther, Howard - Doherty, Neil - Kleffner, Anne; **On Shaky Ground?**; Risk Management, 1993, pp: 36-48.

Kunreuther, Howard; **The Changing Consequences of Risks from Natural Hazards**; The Annals of the American Academy of Political and Social Science, vol. 443, May 1979, pp: 104-116.

Kunreuther, Howard - Miller, Louis; **Insurance versus Disaster Relief: An Analysis of Interactive Modelling for Disaster Policy Planning**; Public Administration Review, vol.45, January 1985, pp: 147-154.

Kunreuther, Howard; **The Role of Insurance in Reducing Losses from Natural Hazards**; Wharton Center for Risk Management and Decision Processes, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA 19104, 1994, pp:1-23.

Kunreuther, Howard, Kleffner, Anne; **Should Earthquake Mitigation Measures be Voluntary or Required**; Journal of Regulatory Economics, vol.4, 1992, pp:321-333.

Lewis, Tracy - Nickerson, David; **Self-Insurance against Natural Disasters**; Journal of Environmental Economics and Management, vol.16, 1989, pp.209-223.

Lynn, Paul; **Canadian Companies Keep a Low Profile in Reinsurance Ventures**; Financial Post, 24 février 1996, pp:21.

May, Peter J.; **Addressing Public Risks: Federal Earthquake Policy Design**; Journal of Policy Analysis and Management, vol.10, no.2, 1991, pp:263-285.

Noakes, Susan; **Canada Less Promising as Market**; Financial Post, 24 février 1996, pp:20.

Palm, Risa, Hodgson, Michael, Blanchard, Denise, Lyons, Donald; **Earthquake Insurance in California - Environmental Policy and Individual Decision-Making**; Westview Press, 1990, pp:1-27, 119-125.

Pauly, Mark - Kunreuther, Howard - Vaupel, James; **Public Protection Against Misperceived Risks: Insights from Positive Political Economy**; Public Choice, vol.43, 1984, pp:45-64.

Praskey, Sally; **Bucking the trends**; Canadian Insurance, vol.98, no.8, July 1993.

Praskey, Sally; **Earthquake: Ready or not?**; Canadian Insurance, vol.100, no.6, 1995, pp.32-34.

Praskey, Sally; **Loss Mitigation: A Question of Attitude**; Canadian Insurance, March 1995, pp:9.

Ross, Angus; **Profits's Round the Corner?**; Canadian Insurance, vol.97, no.8, July 1992.

Settle, Allen K.; **Financing Disaster Mitigation, Preparedness, Response, and Recovery**; Public Administration Review, vol.45, January 1985, pp: 101-106.

Uzumeri, S.M., Otani, S. and Collins M.P.; **An Overview of Canadian Code Requirements for Earthquake Resistant Concrete Buildings**; Canadian Journal of Civil Engineering, 1978, vol.5, pp:427-441.

Warfel, William, J.; **The Proposed Federal Earthquake Insurance Program: Is it Viable?**; Journal of Chartered Property and Casualty Underwriters, March 1992, pp:49-56.

Williams, C.A. - Head and al.; **Principles of Risk Management and Insurance**; 2 ième édition, 1981, chap.1, pp:1-13.

Yellin, Susan; **Planning for the Big One: Move on Earthquake Pro**; Financial Post, December 6, 1995.