

## **Marées de tempête et communautés à risques dans le sud-est du Nouveau-Brunswick : Cas de la communauté de Pointe-du-Chêne<sup>1</sup>**

Kénel Delusca  
Département de Géographie  
Université de Montréal  
C.P. 6128, Succursale centre-ville  
Montréal (Québec) H3C 3J7

Dr. Liette Vasseur  
Associate Vice-President, Research  
Laurentian University  
R.D Parker Building, L-335  
Sudbury, ON

Dr. Omer Chouinard  
Université de Moncton  
Édifice: Pavillon Pierre-Amand-Landry, Local: 126  
Moncton, N.-B.

Le climat, tout au long de son évolution, a montré des patrons de variabilité naturelle typique caractérisés par une alternance de périodes froides et de périodes chaudes. Toutefois, une anomalie, caractérisée par une augmentation de la température moyenne globale pendant la deuxième moitié du 19<sup>ème</sup> siècle et une variabilité atypique au cours du 20<sup>ème</sup> siècle, a été distinctement remarquée (IPCC 2001 ; IPCC 2007). Cette tendance à l'augmentation de la température moyenne globale a été attribuée à une modification de la chimie de l'atmosphère résultant principalement d'une augmentation de la concentration des principaux gaz à effet de serre (GES) dont le début remonte à la fin du 18<sup>ème</sup> siècle (Rudiman 2003 ; Crutzen et Steffen 2003).

Au cours des deux derniers siècles, la concentration du gaz carbonique et celle du méthane, deux importants GES, ont augmenté d'environ 30% et plus de 100%

---

1. Nous tenons à remercier de façon spéciale le Canadian Climate Action Fund (CCAF), le Canadian Environmental Assessment Agency (CEAA), la Chaire K.C.Irving de l'Université de Moncton et le New Brunswick Trust Funds pour leur support financier. Sans ce support, il nous serait impossible de réaliser les travaux ayant conduit à la rédaction de cet article. Nous remercions également les réviseurs anonymes qui nous ont permis d'améliorer considérablement le contenu de cet article.

respectivement (Crutzen et Steffen 2003). L'augmentation de la concentration de ces GES dans l'atmosphère est due principalement à la déforestation, certaines activités agricoles, l'élevage intensif, notamment celui des bovins et l'utilisation croissante de combustibles fossiles résultant d'une croissance démographique et économique sans précédent. Cette modification de la composition chimique de l'atmosphère semble être à l'origine de l'augmentation de la température globale de 0.6°C observée au cours du siècle dernier (IPCC 1996). Face à cette situation et compte tenu des potentiels impacts d'une augmentation de la température moyenne globale, le protocole de Kyoto, entré en vigueur en février 2005, vise principalement une stabilisation de la concentration des principaux GES à un niveau qui ne compromettra pas le fonctionnement normal des régimes climatiques mondiaux. Pour y arriver, ledit protocole oblige certains pays signataires à réduire, au cours de la période 2008-2012, leurs émissions d'au moins 5% en dessous des niveaux de 1990. Néanmoins, en se basant sur les différents scénarios d'émissions, l'augmentation de la concentration de gaz carbonique dans l'atmosphère continue à augmenter et pourrait atteindre entre 540 et 970 ppm d'ici 2100, soit une croissance de 90 à 250% par rapport au niveau de 1728, évalué à 280 ppm (IPCC 2001).

Avec une telle augmentation de la concentration de CO<sub>2</sub> de l'atmosphère, la plupart des Modèles Climatiques Couplés Océan-Atmosphère projettent, d'ici 2100, une hausse de température globale pouvant varier entre 1,8 et 4,0°C (IPCC 2007). Cette augmentation de température provoquera, entre autres, une hausse du niveau de la mer. Celle-ci, pouvant varier entre 18 et 59 cm, sera principalement due à l'expansion thermique et à la fonte des glaciers (IPCC 2007). L'étendue et la nature de ces changements de température et du niveau de la mer ne seront pas uniformes. Il est prévu des variations de température plus prononcées aux hautes latitudes qu'aux moyennes et basses latitudes et une augmentation du niveau relatif de la mer plus prononcée dans les zones où le phénomène de subsidence est très considérable. Par exemple, pour le Canada, « pays de latitude élevée, le réchauffement sera plus grand dans certaines régions. On prévoit aussi que ce réchauffement variera selon les saisons, il sera plus intense en hiver... » (Lemmen et al 2004 : 2). En outre, il est également prévu un climat beaucoup plus variable avec une certaine augmentation de la fréquence des événements extrêmes. Ces changements sont susceptibles d'avoir des impacts sur presque tous les systèmes tant humains que naturels. Parmi ceux-ci, les zones côtières, situées à l'interface terre-mer, exposées aux facteurs atmosphériques et océaniques, sont classées parmi les zones les plus vulnérables aux changements climatiques (IPCC 2001). Les zones côtières de la région de l'est du Canada, notamment celles du Nouveau-Brunswick n'en font pas exception. Dans une étude portant sur la vulnérabilité des zones côtières du Canada aux changements climatiques (Shaw et al 1998), elles ont été classées comme très vulnérables. Leur niveau de vulnérabilité s'explique, entre autres, par leur faible élévation, la nature du substrat, le dynamisme du littoral, l'amplitude des marées et des vagues et un taux de subsidence non négligeable.

Les zones côtières du Nouveau Brunswick, incluant la localité de Pointe-du-Chêne, sont importantes à plusieurs égards. Elles abritent des écosystèmes diversifiés, productifs et sont le siège des industries les plus prospères de la

province. Parmi celles-ci, on peut citer la pêche côtière traditionnelle rapportant environ 125 millions de dollars annuellement en débarquement de poissons et soutenant le secteur non négligeable de la transformation du poisson et le tourisme attiré par les beautés panoramiques, les plages et les voies navigables propres et salubres. En outre, il est important de souligner qu'une bonne partie de la population vit près de ces zones. Au niveau de la province, environ 60% de la population vit à moins de 50 kilomètres des côtes (MEGLNB 1998).

Compte tenu de leur importance socio-économique et écologique, une attention grandissante a été accordée à l'évaluation des impacts des changements climatiques sur ces zones. La majorité des études dans le domaine portent surtout sur les impacts biophysiques et à un degré moindre sur les impacts socio-économiques d'une hausse moyenne du niveau marin sur ces environnements côtiers. Jusqu'à date, rares sont les études qui considèrent les nouvelles techniques d'analyse et qui intègrent les données de différentes sources pour évaluer les impacts des événements extrêmes comme les marées de tempêtes sur les communautés côtières. Le but de cette étude est donc d'identifier les endroits de Pointe-du-Chêne qui ont été inondés par la marée de tempête de janvier 2000 et ainsi développer des indicateurs de risque d'inondations côtières qui en résultent. Quoique périodiques, les marées de tempêtes ont une grande influence sur la morpho dynamique côtière (Forbes et al 2004) et sont susceptibles d'avoir également d'énormes impacts sur les communautés côtières. Une marée de tempête est généralement définie comme une élévation anormale de la mer provoquée par l'action d'un cyclone et de la bathymétrie côtière (Zerger 2002). « Elle se réfère à la différence entre le niveau d'eau observé et la marée astronomique prédite. Elle peut être positive ou négative. Les marées de tempête positives coïncidant avec la plus haute marée sont celles qui provoquent généralement les inondations côtières » (Forbes et al 2004). Généralement enregistrées à la fin de l'automne ou au tout début de l'hiver, les marées de tempête sont fréquentes au Canada, notamment dans les provinces Maritimes incluant la localité de Pointe-du-Chêne (Danard et al 2003, Robichaud 2004). Dans cette région, plusieurs marées de tempête exceptionnelles dont celles du 17 mars 1976, du 7 décembre 1977 et du 4 janvier 1986 ont déjà été enregistrées (Forbes et al 2004). Plus récemment en 2000 et 2001, 3 marées de tempête (20 janvier 2000, 29 octobre 2000 et 7 novembre 2001) dont la période de retour était estimée à une fois sur 30 ans, ont conduit à des niveaux record d'eau. Parmi ces marées de tempêtes, celle du 20 janvier 2000 (200 cm au-dessus du Chart Datum, c'est-à-dire au niveau de la plus basse marée astronomique) reste la plus importante pour avoir causé d'énormes dégâts aux infrastructures côtières et autres biens immobiliers. Les réclamations pour les dommages directs causés par cette marée de tempête ont été évaluées à plus de 1 million de dollars (Robichaud 2004) ; ce qui représente un manque à gagner, à certains égards, pour l'économie de la région et des coûts sociaux incommensurables. Les indemnités versées à la suite de la marée de tempête de janvier 2000 justifient la nécessité de bien identifier les zones touchées en vue d'essayer d'y apporter des éléments de réponse, et plus précisément des solutions de mitigation ou d'adaptation, à de pareilles situations dans le futur.

Face aux menaces potentielles de ces événements extrêmes et dans une

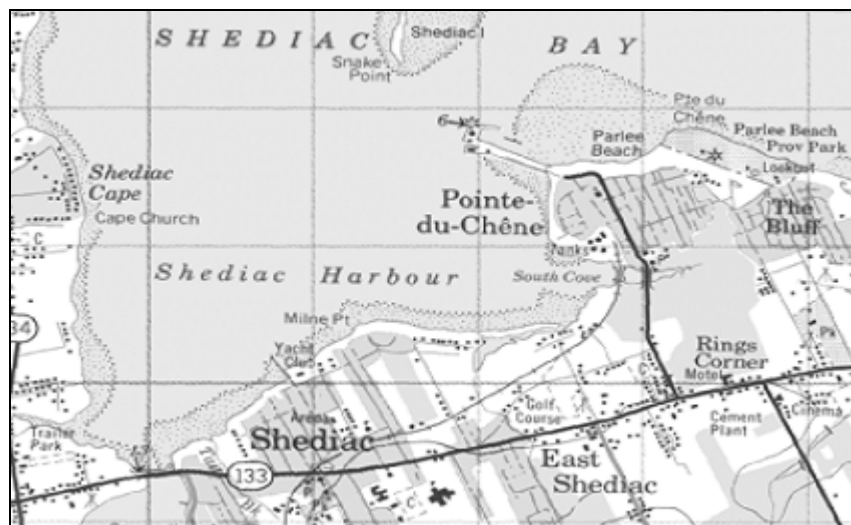


FIGURE 1 Localisation de la zone d'étude

perspective d'une augmentation de leur fréquence (Parkes and Ketch 2002), il est important d'en tenir compte dans les études d'impacts ou de vulnérabilité des zones côtières aux changements climatiques. L'une des conditions nécessaires à l'intégration de ces événements dans les études d'impacts ou de vulnérabilité aux changements climatiques est l'identification, avec une précision acceptable, des zones touchées et le développement d'indicateurs de risques.

### **Zone d'étude et Marée de Tempête**

La localité de Pointe-du-Chêne est située entre les latitudes 46°00 N et 46°30 N et les longitudes 64°30 W et 65°00 W (voir figure 1). Elle est bornée au nord et à l'ouest par la baie de Shediac, au sud par la localité de Scoudouc, à l'est par la localité de Cap-Pelé. Elle est située dans la partie aval du bassin hydrographique de la Baie de Shediac composé de deux sous bassins principaux : sous bassin des rivières Scoudouc et Shediac. La localité est constituée de terres généralement basses situées presque au niveau de la mer. Sa topographie est généralement plane. Au cours de la dernière décennie, la localité de Pointe-du-Chêne s'est rapidement transformée d'une communauté d'occupants saisonniers (chalets) à une communauté où les résidences permanentes deviennent de plus en plus fréquentes. Sa population a augmenté d'environ 2.8% entre 1996 et 2001. Sa densité de population est estimée à 21.5 habitants/km<sup>2</sup> et dépasse celle de la province évaluée à 10.2 h/km<sup>2</sup> (Statistique Canada 2005). On y retrouve l'une des plages les plus achalandées des provinces Maritimes, Parlee Beach. Cette plage, accueillant un nombre considérable de personnes en provenance de différents endroits pendant l'été et plus particulièrement entre la mi-juillet et la mi-août, joue un rôle clé dans

l'économie de la communauté.

Contrairement aux autres impacts potentiels des changements climatiques, la hausse du niveau de la mer s'est déjà manifestée au cours du siècle dernier. Cette hausse de niveau variait entre 1.0 et 2.5 mm/an (Klein et Nicholls 1999). L'une des principales conséquences d'une hausse du niveau marin est l'inondation de certaines zones côtières (Nicholls 2002). Dans l'éventualité d'un changement du régime climatique global, ces inondations risquent d'être enregistrées plus souvent à la suite d'une hausse du niveau marin combinée à une augmentation de la fréquence d'événements extrêmes comme les marées de tempête.

### Cadre conceptuel

À la suite des faiblesses constatées dans les études d'impacts des changements climatiques, dans cette étude, le concept de vulnérabilité a été considéré afin d'identifier de meilleures activités d'adaptation aux changements climatiques. L'utilisation de ce concept dans le domaine des changements climatiques est grandement influencée par certaines disciplines, notamment la gestion des risques et des désastres (Luers et al 2003). Telle que définie dans le contexte des changements climatiques, la vulnérabilité, est perçue comme un risque pur et dynamique où les probabilités et les éventualités de subir des dommages restent le point central (McLeman 2005). Ce concept est souvent décomposé en plusieurs éléments de la chaîne de risque : risque – réponses au risque – effets ou conséquences du risque (Alwang et al 2001). La méthodologie adoptée pour cette étude est essentiellement basée sur l'élément 'effets ou conséquences du risque'. L'identification de l'envergure du risque est toujours l'un des facteurs très controversés dans les études d'impacts ou de vulnérabilité aux changements climatiques. Cette controverse est suscitée en grande partie par une connaissance incomplète des relations entre les différents éléments du système climatique global. Jusqu'à nos jours, les modèles climatiques n'arrivent pas à prévoir précisément le degré de variation dans la fréquence et la sévérité des événements climatiques externes, notamment les marées de tempête (Church et al 2001). De ce fait, l'approche probabiliste d'identification du risque, est souvent substituée par une approche empirique qui peut être représentée par le modèle suivant:

$$E_{(et)} = ER_{(et)} = f(R_{(et)}, RR_{(et)}),$$

où

E : Effet ; ER : Envergure du risque ; R : Risque ; RR : Réponses au Risque ; e : un endroit donné ; t : un temps donné

Ce modèle cherche à apprécier l'envergure du risque par l'intermédiaire du dernier élément de la chaîne de risque, les effets ou les conséquences. Ces derniers peuvent être considérés comme une manifestation physique de l'envergure du risque et des réponses apportées. Autrement dit, en évaluant les conséquences ou les effets du risque, on apprécie implicitement l'envergure du risque ainsi que les

réponses à différents niveaux et sous diverses formes qui ont été apportées pendant ou après l'occurrence d'un type de menace ou d'une source de stress. Cette approche d'appréciation a posteriori du risque permet de présenter des indicateurs de risque d'inondations côtières pouvant être considérés comme les équivalents des éléments d'Exposition et de Sensibilité au risque.

## Méthodologie

Un ensemble de paramètres et d'indices a déjà été utilisé afin de déterminer l'exposition et les risques d'inondations côtières dus à une hausse du niveau de la mer (Nicholls 2002). Dans cette étude, on essaie d'adapter et d'appliquer certains de ces paramètres et de ces indices pour les propriétés et les populations à risques dans la localité de Pointe-du-Chêne lors de la marée de tempête de janvier 2000. Trois indices ont été retenus : l'Indice de Propriétés à Risque (IPR) et l'Indice de Population à Risque (IPoR), et l'Indice du Niveau de Dommages (IND). La figure 2 présente les différentes étapes suivies dans l'identification des propriétés et populations touchées par la marée de tempête de janvier 2000. Essentiellement, elle est constituée des étapes suivantes :

- Identification des limites de la localité de Pointe-du-Chêne : en l'absence de cartes administratives à l'échelle de la zone d'étude, une carte topographique en format numérique de 1975, d'échelle 1 :50 000, a été utilisée en vue d'identifier les limites approximatives de la zone côtière de Pointe-du-Chêne. Ces limites, basées essentiellement sur la présence d'agglomérations, ont été déterminées par numérisation de la carte topographique. Ainsi, un fichier vectoriel représentant les limites de la localité a été créé. Compte tenu de la relative ancienneté de la carte topographique, une mise à jour des limites de la localité de Pointe-du-Chêne a été effectuée en utilisant les données collectées par un système de détection aéroporté, Light Detection and Ranging (LIDAR). Cette technologie, composée principalement d'un système de positionnement par satellite (GPS) aéroporté, d'une Unité Inerte de Mesure (IMU, en anglais), d'un balayeur à laser automatique et d'un horloge de haute précision permet de déterminer les coordonnées (x,y,z) des entités spatiales (sol nu, végétation, bâtiments, et autres infrastructures) (Lillesand et Kiefer 2000). Ce système permet d'obtenir, entre autres, des données altimétriques de très haute précision pouvant atteindre l'ordre des centimètres. Cette technologie, bien que relativement coûteuse, permettra de remédier au problème de précision des données topographiques généralement attribué aux modèles d'inondation (Sanders et al 2005).
- Extraction des propriétés situées à l'intérieur des limites de la localité de Pointe-du-Chêne : les limites de la localité de Pointe-du-Chêne, préalablement identifiées, ont été superposées à la base de données cadastrales de la région de Beaubassin fournie par la Commission d'Aménagement de ladite région. En effectuant, dans ArcMap (ArcGIS 8.3), une requête basée sur la localisation, les propriétés se trouvant partiellement ou entièrement à

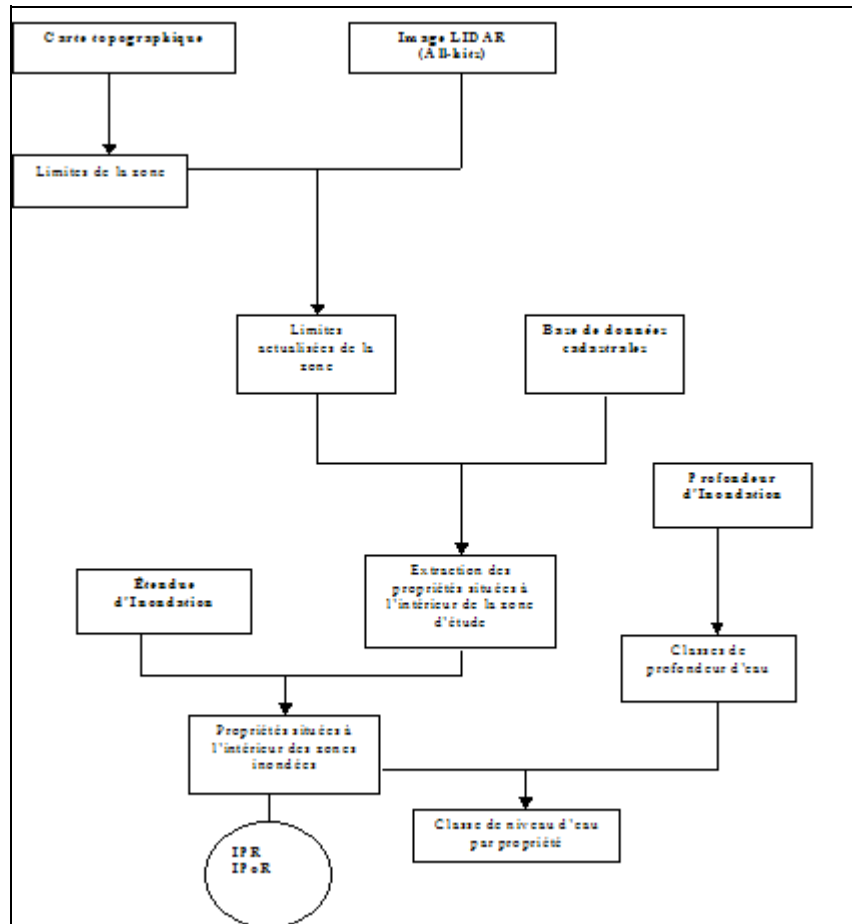


FIGURE 2 Schéma simplifié de la méthodologie

l'intérieur des limites de la zone d'étude ont pu être isolées. Cette base de données cadastrales a été mise à jour en 1998 et contient des informations à caractère confidentiel comme la valeur de la propriété, le nom du propriétaire ou des copropriétaires, le montant d'impôts payés, l'adresse de la propriété, la description de la propriété pour ne citer que celles-là.

- Extraction des propriétés situées dans les parties inondées : la couche des propriétés situées à l'intérieur des limites de la zone d'étude a été combinée à celle indiquant l'étendue de l'inondation résultant de la marée de tempête de janvier 2000. Encore une fois, une requête basée sur la localisation a permis d'extraire les propriétés inondées suite à l'événement ci haut mentionné. Les informations relatives à la création des couches d'inondation et de profondeur d'inondation peuvent être retrouvées dans McCulloch et al (2002). Dans cette étude, seuls les principaux détails ont été fournis. La

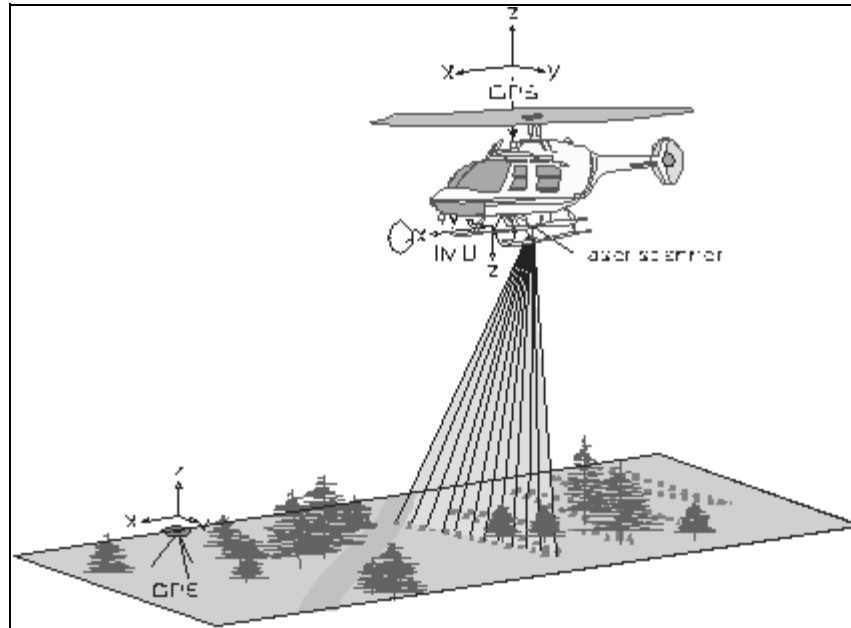


FIGURE 3 Composantes d'un système LIDAR (d'après Lillesand et Kiefer 2000)

création de ces couches comprend deux étapes principales dont la création du Modèle Numérique d'Altitude (MNA) à haute résolution et la simulation d'inondation résultant de la marée de tempête. Pour évaluer les risques d'inondation durant les marées de tempête combinées à une hausse potentielle du niveau de la mer, il est essentiel de développer une représentation de la topographie à haute résolution (Webster et al 2002). Dans cet ordre d'idée, un MNA de 1m x 1m de résolution avec une précision verticale de  $\pm 30$  cm a été créé suite à la collecte des éléments spatiaux à l'aide du LIDAR. La figure 3 présente certaines composantes du système LIDAR. Avec ce système, une série de points très rapprochés ont été collectés et traités en vue de créer un fichier en format ASCII contenant les informations sur les différentes entités spatiales concernées. Suite à ceci, il a été possible en fonction d'algorithmes appropriés de séparer les retours provenant de la surface du sol (correspondant généralement aux derniers retours) de ceux provenant d'autres entités spatiales. Le fichier des retours provenant du sol a été importé dans le Système d'Information Géographique (SIG) ArcGIS 8.3 afin de créer le MNA à haute résolution. Dans le but de valider les données topographiques issues du système LIDAR, une comparaison de certains points du modèle avec certains points collectés par un GPS sur le terrain a été effectuée. De façon générale, une bonne corrélation a été observée entre les deux séries de données. Ce MNA a été ensuite utilisé dans la modélisation d'inondation résultant de marées de tempête et d'une hausse potentielle du niveau de la mer d'ici l'an 2100. Dans le modèle d'inondation élaboré, l'une des simulations



effectuées portait sur le niveau d'eau observé lors de la marée de tempête de janvier 2000. Ce niveau d'eau, évalué à 200 cm au-dessus du « Chart Datum » pour les environs de la localité de Pointe-du-Chêne a été converti dans le même système de référence que le MNA. Pour évaluer la profondeur et l'étendue de l'inondation au niveau de la localité de Pointe-du-chêne, une équation permettant de différencier les zones d'élévation supérieure (valeur 1) ou inférieures (valeur 0) à 200 cm a été utilisée. L'image binaire qui en a résulté, a été vectorisée et utilisée pour choisir uniquement les régions qui étaient en continuité avec l'eau libre du port. D'autres polygones pouvaient être inclus dans les régions inondées dans le cas où les dalots permettaient à l'eau de traverser un obstacle ou une barrière. Ainsi le fichier indiquant l'étendue de l'inondation a été créé.

- Classification des niveaux d'eau : la couche des profondeurs d'eau est obtenue en soustrayant la hauteur d'eau enregistrée lors de la marée de tempête de chaque pixel du MNA. Comme une même propriété pouvait être inondée par plusieurs profondeurs d'eau, un regroupement des différents niveaux en classes a été effectué en vue de simplifier ou faciliter les analyses. La classe de profondeur d'eau choisie était fonction de sa représentativité au sein de la propriété ou de l'entité spatiale en question.
- Indice de Propriétés à Risque (IPR) : pour le calcul de cet indice, on a supposé qu'entre 1998 et 2000, le nombre de nouvelles propriétés dans la zone était relativement faible et qu'on pouvait considérer le nombre de propriétés inventoriées en 1998 comme représentatif de celui de l'année 2000. L'IPR est obtenu en divisant le nombre de propriétés inondées par la tempête de janvier 2000 par le nombre total de propriétés de la localité de Pointe-du-Chêne.
- Indice de Population à Risque (IPoR) : cet indice a été calculé en divisant le nombre de personnes touchées par la population totale de la zone. Face à l'absence de statistiques spécifiques pour l'année 2000 au niveau de la communauté de Pointe-du-Chêne, ces deux paramètres indispensables au calcul de l'IPoR ont été estimés. La population totale a été évaluée en considérant le nombre total de familles et leur structure. Pour ce paramètre, les données de recensement 2001 ont été utilisées pour l'année 2000. La population affectée par la marée de tempête a été estimée en tenant compte du nombre de propriétés touchées et du nombre moyen de personnes par propriété.
- Indice de Niveau de Dommages (IND) : contrairement aux deux indices précédents basés sur des ratios, la valeur de cet indice est exclusivement basée sur les profondeurs de la lame d'eau retrouvée dans chacune des propriétés ayant été inondées suite à la marée de tempête de janvier 2000. Bien que dérivé des profondeurs d'eau, cet indice, contrairement aux deux autres, est de nature qualitative et basé sur une classification arbitraire.

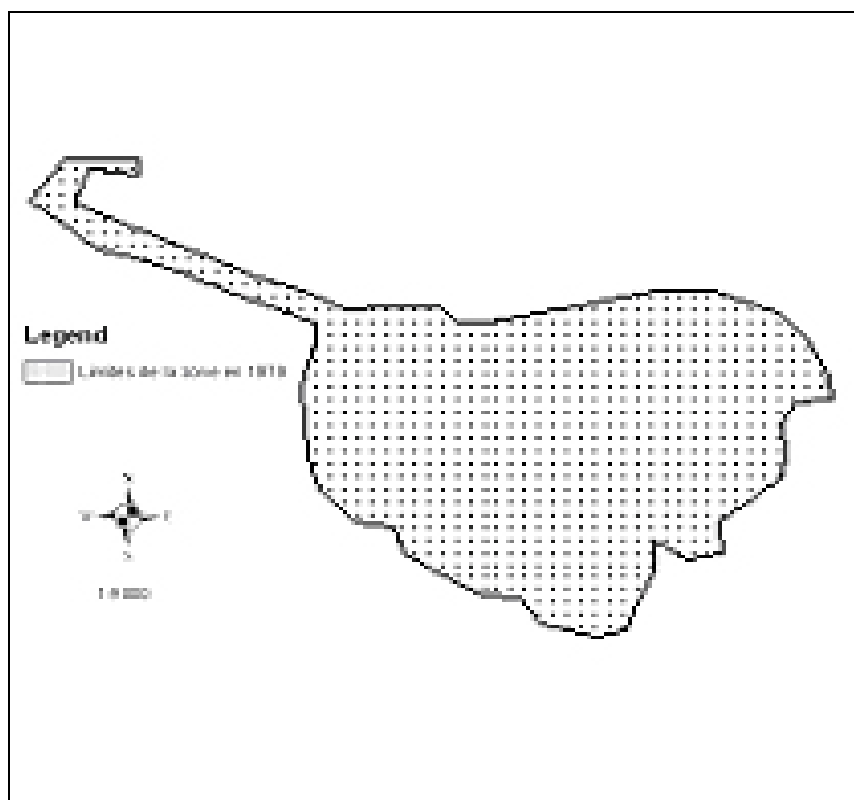


FIGURE 4 Limites de Pointe-du-Chêne à partir de la carte topographique de 1975

## Résultats

### Limites actualisées de la zone d'étude

La localité de Pointe-du-Chêne occupe une superficie relativement petite estimée à  $609\,413\text{ m}^2$ , soit 61 ha approximativement. La figure 4 présente les limites (incluant le quai) de la localité de Pointe-du-Chêne résultant du processus de numérisation de la carte topographique de 1975.

En utilisant un support cartographique récent (l'image LIDAR de 2004 avec les signaux réfléchis par les différents niveaux d'entités spéciales), une légère augmentation de l'espace occupé par cette communauté peut être observée (voir figure 5). Les limites, d'après ce support, ont relativement évolué pour atteindre environ  $715\,678\text{ m}^2$  soit, une augmentation de 14%. Ceci peut s'expliquer, entre autres, par l'établissement de nouveaux résidents dans la localité. Toutefois, une étude plus approfondie sur l'évolution de la superficie de la localité de Pointe-du-Chêne faciliterait une meilleure compréhension et une meilleure explication de l'évolution de l'occupation de l'espace.

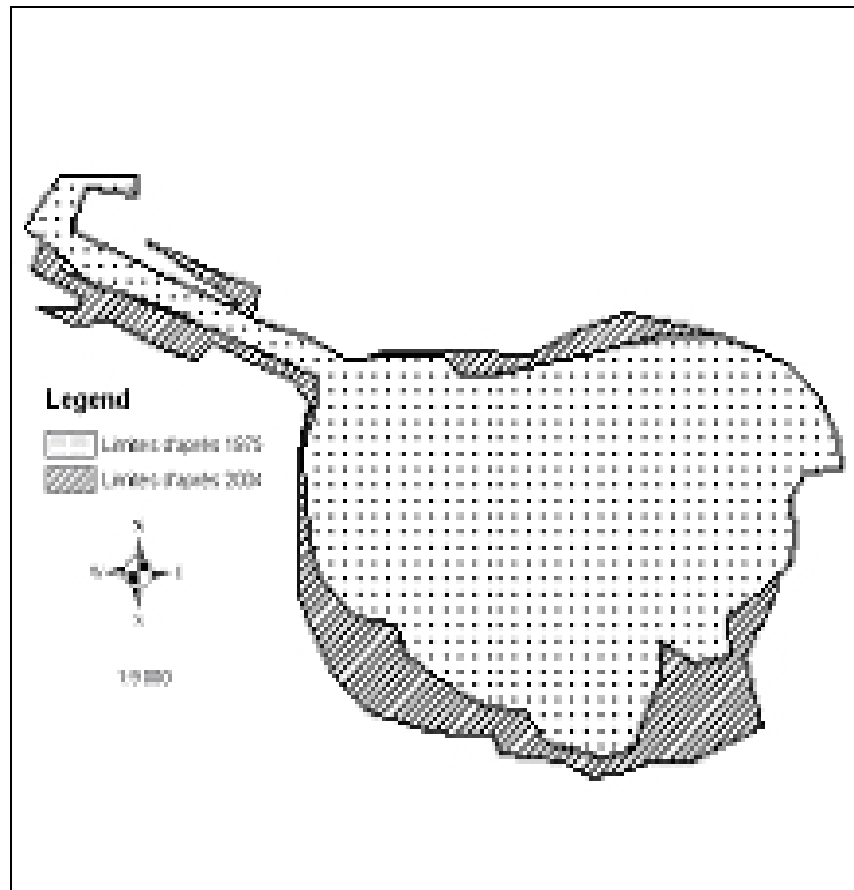


FIGURE 5 Comparaison des limites de Pointe-du-Chêne pendant les années 1975 et 2004

#### Extraction des propriétés situées dans la zone d'étude

Des fichiers sur les informations cadastrales ont été élaborés et classés d'après un index pour les différentes régions de la province. Afin d'extraire les informations pour la zone d'étude, on a dû tout d'abord fusionner des fichiers pour les zones les plus proches de Pointe-du-Chêne et ensuite faire une requête considérant uniquement les fichiers avec les informations cadastrales pour la zone d'étude. L'extraction des informations cadastrales à l'intérieur des limites de la zone indique que la localité de Pointe-du-Chêne, incluant le quai comprenait environ 659 propriétés tous types confondus (voir figure 6).

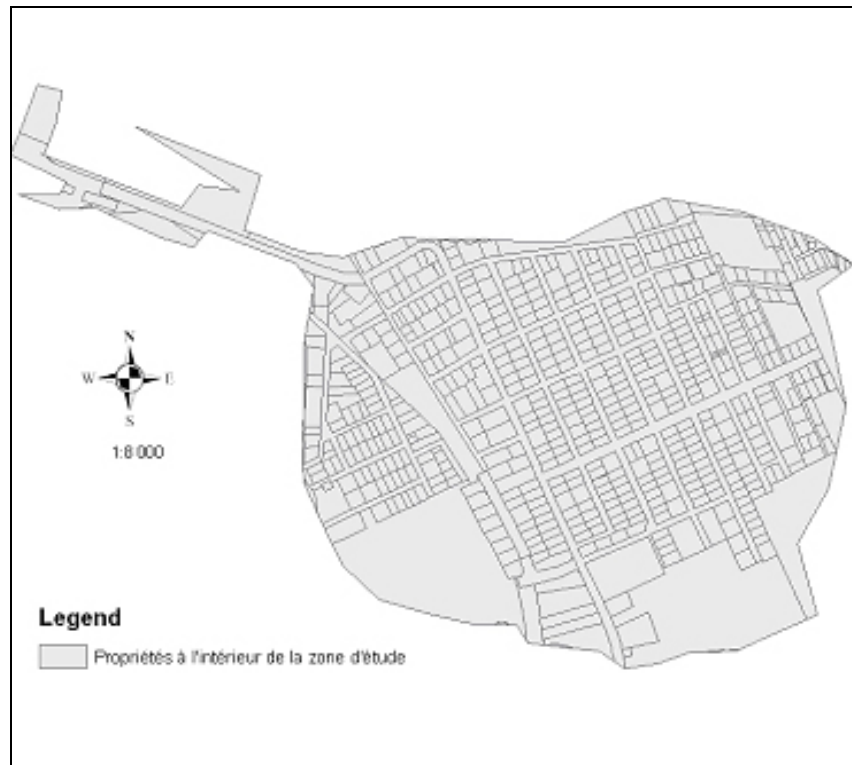


FIGURE 6 Extraction des informations cadastrales pour la zone de Pointe-du-Chêne

### Propriétés situées dans les zones inondées de Pointe-du-Chêne

En utilisant le résultat de l'étape précédente et la couche relative à l'étendue d'inondation, une requête basée sur la localisation a permis d'extraire les propriétés situées entièrement ou partiellement dans les zones inondées de la localité de Pointe-du-Chêne. Ces propriétés sont au nombre de 348 (voir figure 7).

### Classification de la couche des profondeurs d'eau

La superposition de la couche des parties inondées de la localité sur celle des profondeurs d'eau démontre que plusieurs entités spatiales (généralement représentées par les polygones) étaient submergées en janvier 2000 par différents niveaux d'eau qui variaient de 0.01 à 2 mètres. Compte tenu du fait qu'un même polygone pouvait avoir différents niveaux d'eau, il était difficile d'attribuer une profondeur d'eau précise à une propriété donnée. Dans une perspective d'évaluation des impacts socio-économiques, ce type d'information est de plus en plus requis. De ce fait et pour faciliter les analyses, cette couche de profondeurs

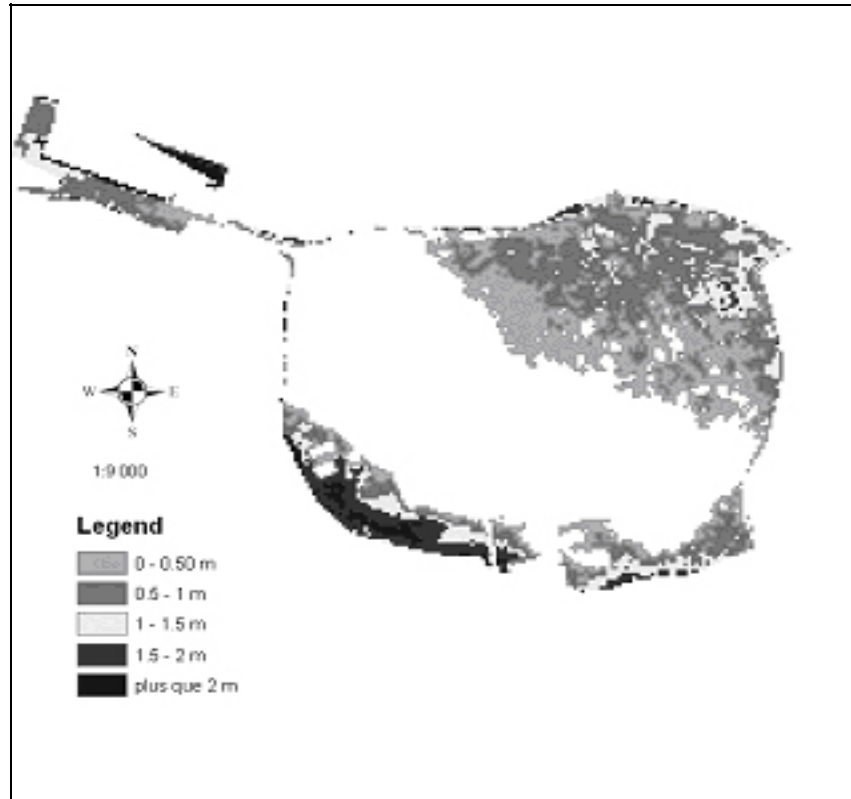


FIGURE 7 Régions de Pointe-du-Chêne inondées par la marée de tempête de janvier 2000

d'eau a été regroupée en quatre grandes classes (tableau 1 et figure 8) réduisant ainsi les différents niveaux d'eau pouvant être retrouvés dans une même propriété. Les deux premières classes de profondeur d'eau occupent à elles seules 78% des superficies inondées. Par contre, la classe 4 est relativement faible occupant seulement 8% des superficies inondées.

#### **Classes de profondeur d'eau par propriété inondée**

Les couches d'informations relatives aux propriétés inondées situées à l'intérieur de la zone d'étude et les classes de profondeur d'eau ont été combinées afin d'identifier les niveaux d'eau pour chacune des propriétés inondées. Cette identification du niveau d'eau par propriété inondée a été essentiellement basée sur une appréciation visuelle de la classe d'eau la plus représentée. Comme l'indique le Tableau 2, les propriétés inondées par plus de 1 mètre d'eau représentaient moins de 10% de toutes celles qui ont été touchées par la marée de tempête de janvier 2000, soit un total de 21 propriétés.



**FIGURE 8 Répartition spatiale des différentes classes de profondeur d'eau dans les zones inondées**

**TABEAU 1 Répartition des classes de profondeur d'eau**

Classe	Profondeur d'eau (m)	Superficie (m <sup>2</sup> )	% de l'aire
1	≤ 0.50	122,313	38
2	0.51 – 1.00	127,125	40
3	1.01 – 1.50	45,082	14
4	1.51 – 2.00	26,486	8
<b>Total</b>	--	<b>321,006</b>	<b>100</b>

#### Calcul des indices de risque d'inondation côtière

Sur un total de 659 propriétés inventoriées dans la zone en 1998, 348 ont été inondées par la marée de tempête de janvier 2000. L'IPR est donc égal à 0.53, ce qui signifie que plus de la moitié des propriétés de la localité ont été affectées par cette marée de tempête. La valeur de l'IPR est en fait une représentation simplifiée

**TABLEAU 2 Distribution des classes d'eau par propriété inondée**

Catégorie	Profondeur d'eau (m)	Nombre de propriétés	Niveau de Dommages
2	≤ 0.50	218	Faible
3	0.51 – 1.00	109	Moyen
4	1.01 – 1.50	20	Élevé
5	1.51 – 2.00	1	Très élevé
<b>Total</b>	--	<b>348</b>	--

de l'étendue des superficies inondées. Elle permet d'apprécier rapidement l'étendue de l'inondation dans une zone donnée. Cet indice peut être utilisé en complémentarité au support cartographique des zones inondées qui fournit une bonne appréciation spatiale mais dans une moindre mesure une appréciation quantitative du phénomène.

Le nombre total de familles dans la zone de Pointe-du-Chêne est estimé à 2025 (Statistique Canada 2005) avec en moyenne 3 personnes par famille, ce qui fait environ un total de 6075 personnes habitant la zone au cours de l'année 2000. En tenant compte de ce nombre de personnes par famille, du nombre de propriétés inondées et en estimant qu'il y avait au moins une famille vivant sur chaque propriété, on estime à environ 1044 le nombre de personnes ayant été touchées par la marée de tempête de janvier 2000. La valeur de l'IPoR est donc évaluée à 0.17. Selon l'IND résultant des informations présentées dans le Tableau 2, les propriétés inondées par moins de 0.50 m et dites faiblement endommagées sont au nombre de 218, celles inondées par une profondeur d'eau comprise entre 0.50 m et 1 m sont dites moyennement endommagées et sont évaluées à 109 et celles qui sont inondées par une profondeur d'eau supérieure à 1 m sont dites fortement endommagées et sont au nombre de 20. Les maisons très fortement endommagées, c'est-à-dire les maisons ayant reçu entre 1.50 et 2 m, sont peu représentées dans la zone car on en trouve qu'une seule. Bien que répandus sur plus de la moitié de la localité, les dommages causés par la marée de tempête de janvier 2000 varient d'une zone à l'autre au sein de la localité de Pointe-du-Chêne.

## Discussion

Cette étude cherchait à présenter les zones de Pointe-du-Chêne inondées par la marée de tempête de janvier 2000 et à calculer des indicateurs de risques d'inondations côtières résultant de cet événement extrême. D'après la valeur de l'IPR et de l'IPoR, une bonne partie de Pointe-du-Chêne et de sa population ont été affectées par ladite marée de tempête. Toutefois, considérant la valeur de l'IND, les dommages matériels « énormes » étaient très limités. Cette étude, en essayant d'intégrer des données provenant de différentes sources, a permis d'ajouter de la valeur à celles-ci et constitue un point de départ intéressant pour des études beaucoup plus intégrées à l'échelle de la communauté. La disponibilité

d'autres types d'informations comme la fréquence ou la période de retour d'un tel événement, des informations détaillées d'assurance comme les primes versées et des informations précises sur les dommages déclarés contribueraient à l'élaboration d'un indicateur de niveau de dommages moins réducteur.

Les indicateurs de risques évalués dans cette étude démontrent bien leur importance dans toute planification et gestion des zones côtières. Pour les propriétaires ou les décideurs, l'IPR et l'IPoR, en indiquant le nombre de propriétés et de personnes à risques d'inondations peuvent favoriser une prise de conscience et être un point de départ pour un processus visant à atténuer les dommages ou tout simplement diminuer les risques (Torii and Kato 2003). Ils permettent de définir les zones prioritaires d'intervention devant faire l'objet d'études plus approfondies ou de meilleure protection.

Quelque soit l'acteur considéré, l'IND s'avère très important. Pour le propriétaire ou le décideur, si les assureurs se basent uniquement sur le niveau d'eau au sein de la propriété comme indice de dommage, l'IND affectera les indemnités reçues. Les assureurs, face aux risques d'inondations côtières, s'intéressent généralement à l'étendue des zones inondées ou potentiellement inondables, la fréquence ou la période de retour des inondations et la sévérité (Sanders et al 2005). La sévérité des dommages dus aux inondations est certainement liée à l'action combinée de plusieurs paramètres. Toutefois, la profondeur semble être le facteur généralement considéré ou le facteur pour lequel les données sont plus facilement accessibles ou capables d'être intégrées à d'autres sources d'informations. Ce qui pourrait justifier l'existence d'une courbe de pertes aux propriétés selon la profondeur d'eau communément appelée « Dundee flood table » (Sanders et al 2005). Pour les décideurs, l'IND pourrait donner des indications quant au volume d'aides à apporter à la communauté affectée.

L'échelle spatiale considérée pour cette étude ne facilite pas une comparaison des valeurs des indicateurs de risques d'inondations calculées dans notre étude à celles obtenues dans d'autres études du même genre. Tout d'abord, comme l'ont révélé Dolan et Walker (2004), très peu d'études de vulnérabilité des zones côtières aux marées de tempête ont été effectuées au Canada ou ailleurs dans le monde (Nicholls 2002 ; Wu et al 2002 ; Kelman 2002 ; Torii and Kato 2003). Néanmoins, en terme de paramètres considérés et de simplicité, nos indicateurs de risques d'inondations côtières résultant de la marée de tempête de janvier 2000 ressemblent à ceux élaborés par Nicholls (2002) qui considéraient un seul paramètre (la population côtière) pour calculer trois indicateurs de risques d'inondations, notamment « People in the Hazard Zone (PHZ), Average Annual People Flooded (AAPF) et People to Respond (PTR) ».

Par rapport à la fiabilité et la précision des indicateurs développés dans cette étude, ces caractéristiques sont fortement conditionnées par le niveau de précision du modèle numérique d'altitude et des données météorologiques utilisées dans l'élaboration des scénarios, les données de population et les informations cadastrales. Dans un contexte d'anticipation des risques d'inondations côtières pour le futur à une échelle spatiale aussi réduite, il faudra trouver des alternatives pour remédier à l'une des principales limitations des scénarios climatiques futurs qu'est la résolution spatiale. Parmi les alternatives possibles, l'utilisation de



modèles régionaux et de techniques de mise à échelle (downscaling) semble offrir d'excellentes opportunités permettant d'avoir des résultats relativement plus fiables au niveau local. En outre, en vue d'avoir un meilleur IND, il faudrait envisager à intégrer d'autres paramètres comme la durée de la lame d'eau, le type de matériau de la propriété inondée.

## Conclusions et recommandations

Les résultats de l'étude ont clairement démontré l'exposition et la sensibilité de la communauté de Pointe-du-Chêne aux marées de tempête. Toutefois, l'élaboration de stratégies d'adaptations appropriées requiert une approche plus intégrée. Celle-ci consisterait d'une évaluation plus poussée de la vulnérabilité de cette localité aux changements et à la variabilité climatiques. Cette évaluation devrait intégrer les changements du niveau marin à long terme avec les changements de la fréquence et de l'envergure des événements extrêmes à court terme en vue d'une meilleure évaluation de l'exposition de la localité. A ce niveau, il est important de rappeler la nécessité d'avoir des données à l'échelle de la communauté plutôt que des valeurs moyennes qui sont d'une moindre importance pour les décideurs à l'échelle locale ou à l'échelle de la communauté. En outre, cette évaluation chercherait à comprendre les relations existant entre le système socio-économique et l'environnement physique de la zone. L'un des aspects particuliers de cette évaluation pourrait consister à évaluer la capacité adaptative de la communauté ainsi que les facteurs, tant internes qu'externes à la zone, susceptibles de l'influencer, à analyser les réponses passées apportées à certains changements déjà vécus dans la localité et finalement à prendre en considération le potentiel ou tout simplement de mettre en valeur les connaissances locales afin de pouvoir mieux définir les actions visant à réduire le degré de vulnérabilité de la localité aux changements climatiques.

## Bibliographie

- Alwang, J., P. Siegel, et S. Jorgensen. 2001. *Vulnerability: A View from Different Disciplines*. Discussion Paper Series, # 0115. New York: World Bank, Social Protection Unit, Human Development Network Social Protection.
- Church, J., J. Gregory, P. Huybrechts, M. Kuhn, K. Lambeck, M. Nhuan, D. Qin et P. Woodworth. 2001. "Changes in Sea Level", in J. Houghton, Y. Ding, D. Griggs, M. Noguer, P. van der Linden, X. Dai, K. Maskell et C. Johnson (eds.). *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Crutzen, P. et W. Steffen. 2003. "How Long Have We Been in the Anthropocene Era?" *Climatic Change*, 61: 251-257.
- Danard, M., A. Munro et T. Murty. 2003. "Storm Surge Hazard in Canada". *Natural Hazards*, 28: 407-434.

- Dolan, A. et I. Walker. 2004. "Understanding Vulnerability of Coastal Communities to Climate Change Related Risks". *Journal of Coastal Research*, 39, <http://coastalcommunities.ns.ca/documents/dolan.pdf>.
- Forbes, D., G. Parkes, G. Manson et L. Ketch. 2004. "Storms and Shoreline Retreat in the Southern gulf of St. Lawrence". *Marine Geology*, 210: 169-204.
- IPCC. 1996. *Climate Change 1995: Impacts, Adaptations, and mitigation of climate change: Scientific-Technical Analyses. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge and New York: Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_. 2007. "Climate Change 2007: The Physical Science Basis: Summary for Policy Makers". Paris: IPCC.
- \_\_\_\_\_. 2001. *Climate Change 2001: Synthesis Report. Contribution of the Working Groups I, II, III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Paris: IPCC.
- Kelman, I. 2002. *Physical Flood Vulnerability of Residential Properties in Coastal, Eastern England*. PhD dissertation. Cambridge: University of Cambridge.
- Klein, R. and R. Nicholls. 1999. "Assessment of Coastal Vulnerability to Climate Change". *Ambio*, 28: 182-187.
- Lemmen, S. et F. Warren. 2004. *Impacts et adaptation liés aux changements climatiques : perspective canadienne*. Ottawa : Ressources Naturelles Canada, Canada.
- Lillesand, T. et R. Kiefer. 2000. *Remote Sensing and Image Interpretation, Fourth Edition*. New Work: John Wiley and Sons.
- Luers, A., D. Lobell, S. Sklar, C. Adam et P. Matson. 2003. "A Method for Quantifying Vulnerability, Applied to the Agricultural System of the Yaqui Valley, Mexico". *Global Environmental Change*, 13: 225-267.
- McCulloch, M., D. Forbes et R. Shaw. 2002. *Coastal Impacts of Climate Change and Sea-Level Rise on Prince Edward Island*. Ottawa: Ressources Naturelles Canada.
- McLeman, R. 2005. *Migration as a Human Adaptation to Climate Change*. Ph.D. Thesis. Guelph: University of Guelph.
- Ministère de l'Environnement et des Gouvernements locaux du Nouveau-Brunswick (MEGLNB). 1998. *Politique de Protection des zones côtières pour le Nouveau-Brunswick*. Fredericton : Gouvernement de Nouveau-Brunswick.
- Nicholls, J. 2002. "Analysis of Global Impacts of Sea-Level Rise: A Case Study of Flooding". *Physics and Chemistry of the Earth*, 27: 1455-1466.
- Parkes, G. et L. Ketch. 2002. "Storm-Surge Climatology", in D. Forbes et R. Shaw (dir.). *Coastal Impacts of Climate Change and Sea-Level Rise on Prince Edward Island*. Ottawa: Geological Survey of Canada, Open File 4261, Supporting Document 2, pdf on CD-ROM.
- Robichaud, A. 2004. *Changements climatiques et communautés côtières: Orientations futures et innovations. Ateliers sur le Changement climatique et les communautés côtières : Inquiétudes et défis*. Coalition pour la viabilité du sud du golfe du Saint-Laurent, 11-13 novembre 2004.
- Ruddiman, W.F. 2003. "The Anthropogenic Greenhouse Era Begun Thousand of

- Years Ago. *Climatic Change*, 61: 261-293.
- Sanders, R., F. Shaw, H. MacKay, H. Galy et M. Foote. 2005. "National Flood Modelling for Insurance Purpose: Using IFSAR for Flood Risk Estimation in Europe". *Hydrology and Earth System Sciences*, 9: 449-456.
- Shaw, J., R. Taylor, D. Forbes, M.-H. Ruz et S. Solomon. 1998. "Sensitivity of the Coasts of Canada to Sea-Level Rise". *Geological Survey of Canada*, Bulletin 505.
- Statistique Canada. 2005. Profil des communautés. Disponible au <http://www12.statcan.ca/english/Profil01/Details/details1.cfm?SEARCH=BEGINS&ID=2908&PSGC=13&SGC=1307005&DataType=1&LANG=F&Province=13&PlaceName=Beaubassin&CMA=&CSDNAME=Beaubassin%20East&A=&TypeNameF=Rural%20Community&Prov=>, consulté le 15 avril 2007.
- Torii, K. et F. Kato. 2003. "Risk Assessment of Storm Surge. Special Features: Prevention against natural disasters". *Annual Report of National Institute for Land and Infrastructure Management*, 12-15.
- Webster, T., D. Forbes, S. Dickie, R. Covill et G. Parkes. 2002. "Airborne Imaging, Digital Elevation Models and Flood Maps". *Coastal Impacts of Climate Change and Sea-Level Rise on Prince Edward Island*, chapitre 8. Ottawa: Ressources Naturelles Canada.
- Wu, S.-Y., B. Yarnal et A. Fisher. 2002. "Vulnerability of Coastal Communities to Sea-Level Rise: A Case Study of Cape May County, New Jersey, USA". *Climate Research*, 22: 255-270.
- Zerger, A. 2002. "Examining GIS Decision Utility for Natural Hazard Risk Modelling". *Environmental Modelling and Software*, 17: 287-294.

