

Évaluation des impacts des changements climatiques et de leurs coûts pour le Québec et l'État québécois

Rapport d'étude préparé pour le Bureau de projet des changements climatiques

Version finale

Date :
25 mai 2015



Cette étude a été financée par le Fonds vert dans le cadre du Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques.

Les résultats et opinions présentés dans cette publication sont entièrement la responsabilité des auteurs
et n'engagent pas Ouranos ni ses membres.



Équipe de réalisation du projet :

Caroline Larrivée
Nathalie Sinclair-Desgagné
Laurent Da Silva
Claude Desjarlais
Jean-Pierre Revéret

Principaux collaborateurs

Pierre Gosselin
François Morneau
Jean-François Cyr
Richard Turcotte
Pascal Bernatchez

Révision et mise en page :

Agéco

Dates de remise des versions préliminaires du rapport :

23 décembre 2014
14 janvier 2015
25 janvier 2015
3 février 2015

Citation suggérée :

Larrivée, C., N. Sinclair-Désigné, L. Da Silva, J.P. Revéret, C. Desjarlais (2015) Évaluation des impacts des changements climatiques et de leurs coûts pour le Québec et l'État québécois, Rapport d'étude, Ouranos, 58 pages.

REMERCIEMENTS

Cette étude n'aurait pu être réalisée sans la collaboration de nombreuses personnes qui ont très généreusement partagé leur temps et leurs connaissances. L'équipe de projet tient à les remercier chaleureusement pour leur contribution.

Nous remercions d'abord nos collaborateurs de la firme AGÉCO pour leur contribution à l'étude, notamment Diane Gilbert et son équipe pour le travail efficace et de haute qualité.

Nous remercions les participants aux différents groupes de discussion qui nous ont grandement aidés en partageant leur expertise. Ils sont :

| | | | |
|----------------------|----------------------|-----------------|-------------------|
| Stéphane Perron | Louise Lambert | Sabine Veuille | Robert Leconte |
| Karine Price | Nicholas Ogden | Guy Doré | Patricia Clavet |
| Andréanne Roy | Marie-Andrée Leblanc | Anick Guimond | Benoît Robert |
| Abderrahmane Yagouti | Isabelle Demers | Shun Hui Yang | Richard Turcotte |
| Ray Bustinza | Élisabeth Masson | Isabelle Thomas | Jean-François Cyr |
| Audrey Smargiassi | Daniel Fortier | Pascale Biron | Jean Francoeur |

Nous tenons à remercier tout particulièrement l'Institut national de santé publique du Québec, le Ministère de la Sécurité publique et le Centre d'expertise hydrique du Québec pour leur appui, leur intérêt dans le projet et leur générosité en temps, en information et en idées. Sans leur aide, nous n'aurions jamais pu réaliser l'étude. Nous remercions très spécialement Pierre Gosselin (INSPQ), François Morneau (MSP/Ouranos), Richard Turcotte, Jean-François Cyr (CEHQ) et leurs collègues.

Nous remercions aussi Frédéric Gagné de l'Administration régionale Kativik, Watson Fournier de l'Office municipal d'habitation de Kativik, Diane Frappier du Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire (MAMOT) ainsi que Michel Allard et Andrée-Sylvie Carboneau du Centre d'études nordiques pour l'information qu'ils nous ont fournie.

Nous remercions l'équipe de l'Université du Québec à Rimouski pour les travaux en lien avec l'érosion des côtes, Pascal Bernatchez, Steeve Dugas et Christian Fraser de la Chaire en géoscience côtière ainsi que l'équipe du projet d'analyse coûts – avantages sur ce sujet, Manon Circé, Laurent Da Silva, Xavier Mercier, François Morneau et Claude Desjarlais d'Ouranos.

Finalement, merci à Travis Logan pour les scénarios de changements climatiques, Robert Siron et Nathalie Bleau pour leur contribution à la recherche documentaire et Valérie Bourduas-Crouhen (Ouranos) pour son assistance tout au long du projet.

TABLE DES MATIÈRES

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | INTRODUCTION | 1 |
| 1.1 | Contexte | 1 |
| 1.2 | Objectifs du mandat | 1 |
| 1.3 | Structure du document | 2 |
| 2. | MÉTHODOLOGIE..... | 3 |
| 3. | HYPOTHÈSES GÉNÉRALES ET LIMITES DE L'ÉTUDE..... | 5 |
| 3.1 | Portée de l'étude | 5 |
| 3.2 | Horizon temporel et scénarios socio-économiques | 5 |
| 3.3 | Scénarios de changements climatiques | 6 |
| 3.4 | Attribution des coûts associés aux changements climatiques | 7 |
| 3.5 | État actuel des infrastructures et planification | 7 |
| 3.6 | Présentation des résultats et taux d'actualisation | 8 |
| 3.7 | Autres considérations et limites de l'étude..... | 8 |
| 4. | ANALYSE ET RÉSULTATS SECTORIELS | 10 |
| 4.1 | Chaleur et santé..... | 10 |
| 4.1.1 | Région couverte..... | 10 |
| 4.1.2 | Impacts et projections | 11 |
| 4.1.3 | Hypothèses, choix méthodologiques et analyses de sensibilité | 12 |
| 4.1.4 | Résultats et discussion | 15 |
| 4.1.5 | Recommandations..... | 16 |
| 4.2 | Zoonoses et santé..... | 16 |
| 4.2.1 | Maladie de Lyme - Région couverte | 16 |
| 4.2.2 | Maladie de Lyme – impacts et projections..... | 18 |
| 4.2.3 | Maladie de Lyme – hypothèses, choix méthodologiques et analyses de sensibilité..... | 18 |
| 4.2.4 | Maladie de Lyme – Résultats et discussion | 19 |
| 4.2.5 | Recommandations..... | 20 |
| 4.2.6 | Virus du Nil occidental - Région couverte | 20 |
| 4.2.7 | Virus du Nil occidental – impacts et projections..... | 21 |
| 4.2.8 | Virus du Nil occidental – hypothèses, choix méthodologiques et analyses de sensibilité | 21 |
| 4.2.9 | Virus du Nil occidental – Résultats et discussion | 22 |
| 4.2.10 | Recommandations..... | 23 |
| 4.3 | Pollen et santé | 23 |
| 4.3.1 | Pollens - Région couverte | 23 |
| 4.3.2 | Impacts et projections | 24 |
| 4.3.3 | Hypothèses, choix méthodologiques et analyses de sensibilité | 26 |
| 4.3.4 | Résultats et analyses | 28 |
| 4.3.5 | Recommandations..... | 28 |

TABLE DES MATIÈRES (SUITE)

| | | |
|-------|--|----|
| 4.4 | Infrastructures et cadre bâti – inondations (y compris les glissements de terrain en bord de rivière)..... | 29 |
| 4.4.1 | Région couverte..... | 29 |
| 4.4.2 | Impacts et projections..... | 29 |
| 4.4.3 | Hypothèses économiques et approches méthodologiques..... | 34 |
| 4.4.4 | Résultats et discussion..... | 35 |
| 4.4.5 | Recommandations..... | 38 |
| 4.5 | Infrastructures et cadre bâti - pergélisol..... | 38 |
| 4.5.1 | Région couverte..... | 38 |
| 4.5.2 | Impacts et projections des impacts..... | 38 |
| 4.5.3 | Hypothèses économiques, approches méthodologiques et analyses de sensibilité..... | 39 |
| 4.5.4 | Résultats et discussion..... | 41 |
| 4.5.6 | Recommandations..... | 41 |
| 4.6 | Infrastructures et cadre bâti – érosion des côtes..... | 42 |
| 4.6.1 | Régions couvertes..... | 42 |
| 4.6.2 | Impacts et projections des impacts..... | 43 |
| 4.6.3 | Hypothèses économiques et approches méthodologiques..... | 44 |
| 4.6.4 | Résultats et discussion..... | 47 |
| 4.6.5 | Recommandations..... | 48 |
| 5. | Conclusion et recommandations générales..... | 50 |

LISTE DES TABLEAUX

| | | |
|--------------|---|----|
| Tableau 4.1 | Taux de mortalité par 100 000 habitants au Québec associé à la chaleur | 13 |
| Tableau 4.2 | Coûts cumulatifs des impacts de la chaleur sur la santé avec les changements climatiques (2015-2065 en millions de \$ 2012)..... | 15 |
| Tableau 4.3 | Coûts cumulatifs des impacts de la maladie de Lyme sur la santé avec les changements climatiques (2015-2065 en millions de \$ 2012)..... | 19 |
| Tableau 4.4 | Coûts cumulatifs des impacts du Virus du Nil occidental sur la santé avec les changements climatiques (2015-2065 en millions de \$ 2012)..... | 22 |
| Tableau 4.5 | Postes budgétaires des coûts associés au traitement des problèmes de pollen | 26 |
| Tableau 4.6 | Coûts cumulatifs des impacts du pollen sur la santé avec les changements climatiques (2015-2065 en millions de \$ 2012)..... | 28 |
| Tableau 4.7 | Coûts des impacts des inondations sur les infrastructures (données historiques du MSP pour la période 1991-2013 en \$ 2012)..... | 30 |
| Tableau 4.8 | Coûts cumulatifs des impacts des inondations sur les infrastructures avec les changements climatiques (2015-2065 en millions de \$ 2012)..... | 36 |
| Tableau 4.9 | Coûts cumulatifs du dégel du pergélisol sur les infrastructures avec les changements climatiques (2015-2065 en millions de \$ 2012)..... | 41 |
| Tableau 4.10 | Coûts cumulatifs de l'érosion côtière sur les infrastructures avec les changements climatiques (2015-2065 en millions de \$ 2012)..... | 47 |
| Tableau 4.11 | Infrastructures affectées par l'érosion des côtes d'ici 2065..... | 48 |
| Tableau 4.12 | Résumé des résultats clés..... | 51 |

LISTE DES GRAPHIQUES

| | | |
|---------------|--|----|
| Graphique 4.1 | Relation entre température et le taux de mortalité..... | 11 |
| Graphique 4.2 | Coûts des impacts de la chaleur sur la santé avec les changements climatiques pour 2020, 2040 et 2060 (2015-2065 en millions de \$ 2012)..... | 15 |
| Graphique 4.3 | Progression dans le temps des coûts des impacts du Virus du Nil occidental sur la santé avec les changements climatiques (2015-2065 en millions de \$ 2012)..... | 22 |
| Graphique 4.4 | Répartition des événements répertoriés par année (données du MSP)..... | 31 |
| Graphique 4.5 | Répartition du montant total versé aux réclamants par année (données du MSP en dollars courants)..... | 32 |

LISTE DES FIGURES

| | | |
|------------|--|----|
| Figure 4.1 | Cartographie de l'occurrence du vecteur <i>Ixodes scapularis</i> porteuse de la maladie de Lyme | 17 |
| Figure 4.2 | Cartographie de la probabilité de la présence du Virus du Nil occidental pour 2050 et 2080..... | 20 |
| Figure 4.3 | Cartographie de l'abondance de l'herbe à poux (<i>Ambrosia artemisifolia</i> L.) au Québec | 24 |
| Figure 4.4 | Carte des analogues spatiaux en 2050 des régions ayant des conditions climatiques similaires à celles de la Montérégie en climat actuel..... | 25 |
| Figure 4.5 | Carte des régions touchées par les inondations selon la saison. | 37 |
| Figure 4.6 | Carte des régions couvertes par l'analyse de l'érosion des côtes | 42 |
| Figure 4.7 | Exemple d'application des taux d'érosion et des marges de sécurité..... | 45 |

1. INTRODUCTION

1.1 Contexte

Dans son plus récent rapport¹, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat réaffirme les risques liés aux changements climatiques pour les écosystèmes et la biodiversité maritime et terrestre, l'approvisionnement en eau, les secteurs économiques, les environnements tant ruraux qu'urbains ainsi que la sécurité et la santé humaine. Les impacts pour certains de ces secteurs commencent à être de mieux en mieux connus et, pour certains enjeux, suffisamment quantifiés pour en estimer leurs coûts.

Déjà en 2011, la Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie soulignait dans son rapport « *Le prix à payer* »² que le coût potentiel des changements climatiques pour l'ensemble du Canada représentait environ 0,8 % et 1,0 % du PIB vers le milieu du siècle. Une étude récente comparable pour les États-Unis³ évaluait le coût pour six secteurs (communautés côtières, agriculture, travail, crime et mortalité) entre 0,8 % et 3,3 % du PIB. L'étude phare de Lord Stern, un exercice qui tentait d'évaluer les coûts des changements climatiques à l'échelle mondiale, évalue à environ 0,5 % à 1 % du PIB mondial les conséquences des changements climatiques autour de 2050. Appliqué au Québec dont le PIB est aujourd'hui estimé à environ 300 milliards de dollars (G\$), ces chiffres s'élèvent à entre 2,4 G\$ et 9,9 G\$. Sur un PIB qui pourrait atteindre 450 G\$ en 2050, cette proportion représenterait entre 3,6 G\$ et 14,85 G\$.

Il n'existe cependant pas à l'heure actuelle d'étude globale permettant d'estimer les coûts de l'ensemble des impacts des changements climatiques pour le Québec. Toutefois, comme en fait foi le document *Comment s'adapter aux changements climatiques*⁴, plusieurs secteurs clés de l'économie québécoise seront touchés, notamment l'agriculture, les pêcheries, l'industrie forestière, le tourisme ainsi que la production hydroélectrique et la demande en énergie. De même, le Québec subira des impacts importants pour la santé humaine, pour ses écosystèmes et ses infrastructures. Ces impacts se traduiront notamment par des coûts et parfois par des opportunités, tant pour les citoyens et les entreprises, que pour les divers paliers gouvernementaux. À cet égard, il est prévisible que le Gouvernement du Québec soit directement et indirectement sollicité, notamment pour fournir les soins de santé nécessaires aux personnes affectées, mais aussi pour aider les populations et les municipalités lors de dégâts majeurs dus aux risques naturels associés aux changements climatiques, pour leur permettre de réparer, de déplacer ou encore de reconstruire des bâtiments et infrastructures hors des zones à risque.

1.2 Objectifs du mandat

Ouranos a reçu le mandat d'identifier et de quantifier les impacts générés par les changements climatiques sur la santé et les infrastructures et d'en évaluer les coûts à la fois pour l'État ainsi que pour l'ensemble de la société. Il s'agit d'une première étude de courte durée visant à dégager à partir de la littérature scientifique et des connaissances existantes, une première évaluation des ordres de grandeur en jeu.

¹ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2014.

² Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie (TRNEE), 2011.

³ Risky business, 2014.

⁴ Ouranos, 2014.

Les secteurs comptent parmi ceux jugés importants par le gouvernement. Il s'agissait aussi de secteurs où les impacts physiques des changements climatiques sont relativement bien documentés et où il existe suffisamment d'informations pour commencer à en évaluer les coûts. Dans le cas de la santé, les impacts examinés incluent les cas de mortalité, de morbidité, et la perte de productivité (remboursements CSST) ainsi que les coûts afférents à ces cas comme les dépenses en soin de santé pour les personnes affectées. Dans le cas des infrastructures, il s'agit des impacts sur les bâtiments, routes et autres infrastructures de transport (pistes d'atterrissage au Nunavik, chemins de fer dans la région maritime) et les coûts associés à leur perte ou à leur défaillance, y compris les coûts d'intervention en urgence à la suite d'un événement extrême.

Les enjeux spécifiques à l'étude sont :

- pour la santé : les impacts liés à la chaleur, aux zoonoses (maladie de Lyme et Virus du Nil occidental) et au pollen de l'herbe à poux (ambroisie)
- pour les infrastructures : l'érosion des côtes, les inondations et le dégel du pergélisol

L'horizon temporel visé couvre les 50 prochaines années, soit la période qui s'étend du 1^{er} janvier 2015 au 31 décembre 2064.

1.3 Structure du document

Le présent rapport est structuré en trois grandes parties.

La première partie décrit les éléments méthodologiques communs à l'ensemble des analyses économiques. Les hypothèses générales et limites de l'étude y sont énoncées et permettent de bien interpréter le sens des résultats des analyses.

En deuxième partie, pour chaque enjeu, le rapport présente le territoire à l'étude et décrit les impacts anticipés des changements climatiques. Par la suite, vu la nature variée des données et des enjeux à l'étude, les hypothèses spécifiques ainsi que les choix méthodologiques et analyses de sensibilité particulières sont expliqués avant de présenter le tableau des résultats. Enfin, ces résultats sont discutés et accompagnés de recommandations visant à améliorer de futures analyses.

La troisième partie propose une conclusion et des recommandations pour des suites potentielles à cette étude.

PARTIE I

2. MÉTHODOLOGIE

L'analyse proposée est basée sur la littérature scientifique et les données existantes. La démarche consiste à tirer de la littérature les informations pertinentes pour une analyse économique, de valider les hypothèses d'impact retenues avec des experts sectoriels pour ensuite procéder à l'analyse économique comme telle.

La première étape consistait à identifier la littérature récente sur les impacts des changements climatiques pour chacun des enjeux afin de dégager les conséquences pouvant générer des coûts. Nous avons également eu recours aux études d'analyse économique produites dans d'autres contextes similaires sur le plan géographique et/ou socio-économique. Cette recherche dans la littérature a été faite dans une perspective d'analyse économique et non pas dans l'optique de présenter un état des lieux exhaustif sur les impacts des changements climatiques. Le lecteur est invité à consulter directement les ouvrages de référence cités à la fin de ce rapport pour un portrait plus complet des impacts.

Sur la base de la littérature et des banques de données existantes et mises à notre disposition, nous avons établi pour chacun des enjeux un certain nombre d'hypothèses devant servir à bâtir le modèle d'analyse économique. Des experts ont par la suite été réunis pour discuter de ces hypothèses. Entre quatre et dix spécialistes thématiques ont participé à chaque groupe de discussion. Ces réunions, qui duraient environ deux heures et demie, ont permis de présenter le projet et les objectifs visés afin de valider les hypothèses de travail par un consensus d'experts. L'agenda des rencontres, la liste des participants ainsi que les présentations se trouvent à l'annexe I du rapport. D'autres experts ont aussi été consultés en cours de projet pour compléter la collecte des données. Ces groupes et individus sont identifiés dans les remerciements en début de document.

Seul le dossier de l'érosion des côtes n'a pas fait l'objet d'une réunion d'experts. Ce sujet ayant déjà fait l'objet d'une analyse d'impact beaucoup plus détaillé⁵, seuls quelques ajustements et analyses supplémentaires ont suffi pour atteindre les objectifs du présent projet⁶.

Pour chaque secteur à l'étude, un modèle d'analyse économique a été bâti permettant d'appliquer une évaluation monétaire aux impacts associés aux changements climatiques et comprenant à la fois les coûts assumés par le gouvernement et aussi, lorsque disponibles, les autres coûts pour la société (incluant par exemple, des coûts pour des traitements médicaux, des journées perdues pour cause de maladie, la perte ou les dommages aux infrastructures et bâtiments, etc.). Chaque modèle tenant compte de la thématique étudiée et des données disponibles est décrit plus en détail dans les chapitres suivants.

Il convient de préciser ici que tous les phénomènes ne peuvent pas nécessairement être attribués complètement aux changements climatiques ce qui pose un certain degré de difficulté pour l'analyse. Il est aussi important de préciser qu'il est parfois difficile d'établir les coûts actuels ou historiques des

⁵ Pascal Bernatchez, 2015

⁶ À noter que le projet d'analyse coûts-avantages pour la zone côtière avait déjà complété une revue de la littérature et avait validé les hypothèses nécessaires pour calculer les impacts économiques dans des phases subséquentes. Il ne semblait pas utile de refaire l'exercice aux fins du présent projet.

interventions - en soins de santé et pour l'entretien des infrastructures par exemple - rendant l'exercice de projection d'autant plus difficile.

3. HYPOTHÈSES GÉNÉRALES ET LIMITES DE L'ÉTUDE

Il a fallu poser plusieurs hypothèses pour ces analyses économiques. Effectivement, divers éléments concernant les impacts des changements climatiques demeurent non documentés (voire inconnus). Ces hypothèses imposent évidemment des limites à l'étude et à la manière d'interpréter les résultats. Le présent chapitre décrit ces hypothèses et les défis qu'elles posent sur le plan méthodologique.

3.1 Portée de l'étude

La portée de l'étude demeure très partielle et ne couvre pas l'ensemble des coûts associés aux impacts des changements climatiques. En effet, l'analyse ne considère que quelques enjeux spécifiques dans deux secteurs. En réalité, les changements climatiques provoqueront pour le Québec une diversité d'impacts directs et indirects pour l'environnement naturel et bâti, pour la société (sur le plan de la santé et de la sécurité des populations) et pour plusieurs secteurs économiques (industriel, manufacturier, des transports, de l'énergie, agricole, forestier, touristique, des assurances, des finances, etc.)⁷. Plus encore, selon les secteurs, les impacts pourront être positifs ou négatifs, évolueront dans le temps en fonction de l'évolution de la société, des changements technologiques ainsi que de l'environnement extérieur et dans plusieurs cas ne se traduiront pas par des coûts pour le gouvernement. En outre, l'étude ne considère pas les effets positifs des changements climatiques.

Aussi, pour les secteurs étudiés, tant la littérature existante que les données colligées restent partielles et pas dans des formats comparables. De ce fait, les méthodes d'analyses diffèrent les unes des autres. Par conséquent, les résultats des différentes analyses ne peuvent pas être additionnés. Il s'agit donc d'une évaluation des coûts par enjeu et non d'une évaluation d'ensemble du coût des changements climatiques pour le Québec.

Il convient également de préciser que l'étude n'a pas tenu compte d'événements extrêmes importants (par exemple, la tempête de verglas qui a touché le sud du Québec en 1998) car le lien avec les changements climatiques est encore mal compris.

3.2 Horizon temporel et scénarios socio-économiques

L'horizon temporel considéré couvre une période de cinquante ans s'échelonnant du 1^{er} janvier 2015 au 31 décembre 2064. Cet horizon temporel comporte certains défis sur le plan méthodologique. D'abord, il est difficile de produire des scénarios robustes décrivant des changements socio-démographiques et économiques sur une échelle de temps aussi longue. À l'inverse, en ce qui concerne les changements climatiques, bien que l'horizon proposé puisse permettre de voir des changements significatifs, les risques climatiques continueront d'évoluer bien au-delà de cette période. Des problématiques encore relativement peu visibles aujourd'hui pourraient s'aggraver de manière importante, tant sur le plan du rythme de changement que de l'ampleur en fonction des différents scénarios de concentrations de gaz à effet de serre dont les différences commencent réellement à apparaître à partir de l'horizon de 2050⁸.

⁷ Ouranos, 2014.

⁸ Ouranos, 2014.

Le choix a été de réaliser l'analyse en fonction d'un scénario socio-économique de statu quo (toutes choses étant égales par ailleurs)⁹, c'est-à-dire sans croissance de la population et de l'économie. Ce scénario permet de mettre en évidence les coûts associés aux impacts des changements climatiques pour les phénomènes à l'étude. Il va de soi que l'ampleur des coûts sera accrue fortement pas la croissance de la population et de l'économie. Bien que certains scénarios de croissance existent (Ministère des Finances), il n'y a pas de tels scénarios pour chaque secteur et enjeu étudié.

Pour vérifier les conséquences de ce choix méthodologique, nous avons effectué un certain nombre d'analyses de sensibilité sur les paramètres économiques que l'équipe jugeait plus pertinents que simplement la croissance. Par exemple, des hypothèses ont été formulées pour considérer la croissance démographique importante dans la région nordique ou encore pour tenir compte du vieillissement de la population dans le cas de la chaleur élevée qui affecte de manière disproportionnée les personnes âgées. Les analyses de sensibilité effectuées sont détaillées pour chaque enjeu. Nous avons effectué des analyses de sensibilité sur des projections démographiques quinquennales de la population québécoise à partir du scénario de référence de l'Institut de la statistique du Québec¹⁰.

Ceci dit, nous considérons dans nos analyses les mesures d'adaptation déjà en place car nous considérons qu'ils sont déjà mis en application et contribuent à réduire l'ampleur des impacts des changements climatiques.

3.3 Scénarios de changements climatiques

Les différents phénomènes analysés sont associés à des conditions climatiques et environnementales variées (températures estivales et vagues de chaleur, date du premier gel, couvert de glace, précipitations et hydrologie) dont la projection en fonction des scénarios de changements climatiques peuvent différer en termes de robustesse (le niveau de confiance est plus élevé pour les projections de températures que pour les précipitations par exemple).

Pour bien couvrir les incertitudes à ce sujet, les scénarios de changements climatiques sont produits à partir d'ensembles de projections. Ces ensembles couvrent plusieurs simulations à partir de différents modèles et se basent sur différents scénarios d'émissions de GES. La plage des résultats peut parfois être très grande (allant même d'une diminution à une augmentation comme dans les cas des inondations). La moyenne étant affecté par les extrêmes, les analyses sont faites sur la médiane des résultats¹¹.

Aussi, aux fins de l'exercice, il a fallu dans certains cas utiliser une moyenne applicable à l'ensemble du territoire à l'étude alors qu'en réalité, les changements climatiques affecteront inégalement les différentes régions du Québec. En effet, selon le paramètre climatique considéré, les changements varieront tant en termes d'ampleur que de rythme de changement¹². Des analyses de sensibilité pour les scénarios des 10^e et 90^e percentiles sont donc proposées lorsque pertinents et en fonction des données disponibles pour montrer l'effet des scénarios de changements climatiques sur les coûts.

⁹ C'est le scénario retenu pour l'étude de la Wallonie : Institut de Conseil et d'Études en développement durable (ASBL), 2014.

¹⁰ http://www.stat.gouv.qc.ca/docs-hmi/statistiques/population-demographie/perspectives/population/popqcade_14.htm

¹¹ Ouranos, 2014.

¹² Ouranos, 2014.

3.4 Attribution des coûts associés aux changements climatiques

En fonction des différents phénomènes étudiés, il est plus ou moins facile de distinguer les impacts qui sont spécifiquement attribuables aux changements climatiques de ceux qui se produisent en raison de la variabilité naturelle du climat ou d'autres facteurs non climatiques. Cela a un impact sur l'analyse des coûts, car il faut faire plusieurs hypothèses pour déterminer la part qui peut être associée spécifiquement aux changements climatiques.

Il est aussi important de noter que le Québec possède déjà une certaine capacité pour gérer ces impacts avec des institutions et services en place en mesure d'assumer à même les budgets existants les charges additionnelles associées aux changements climatiques (par exemple, une aile d'hôpital déjà ouverte mais pas utilisée à pleine capacité peut gérer des patients additionnels sans coûts supplémentaires). Ces conséquences demeurent difficiles à chiffrer, car il y a bien un coût de renonciation (s'occuper de patients affectés par des zoonoses implique que d'autres patients avec des cas moins urgents doivent attendre) même si ce coût n'est souvent pas payé par le gouvernement. Par conséquent, il est probable que les résultats de l'analyse sous-estiment les coûts réels des changements climatiques.

3.5 État actuel des infrastructures et planification

L'état des infrastructures est fondamental en ce qui concerne l'ampleur des impacts et des coûts conséquents. Le concept de déficit d'adaptation décrit comment l'état actuel des infrastructures n'est pas forcément bien adapté aux conditions climatiques actuelles, en raison de la conception, des techniques de construction, de l'usage de l'infrastructure ou des pratiques d'entretien. Il y a donc un déficit à combler pour mettre à niveau les infrastructures. Leur mauvais état peut rendre les infrastructures plus sensibles aux conditions climatiques et peut provoquer une accélération de leur rythme d'usure, voire même leur défaillance. Même des changements climatiques relativement petits peuvent entraîner des conséquences très significatives et faire augmenter les coûts de manière importante¹³. Il est cependant très difficile sur la base des données disponibles de tenter de considérer ce facteur dans les calculs. Nous devons donc faire l'hypothèse que toutes les infrastructures sont bien adaptées aux conditions climatiques actuelles et ne considérer que les charges additionnelles imposées par les changements climatiques. Cette hypothèse a pour effet de sous-estimer les coûts réels car il y a un effort à consentir pour mettre à niveau les infrastructures et améliorer dans certains cas les pratiques d'entretien pour assurer une durée de vie telle que prévue au moment de la conception, pour les conditions climatiques actuelles.

Par ailleurs, l'hypothèse d'un scénario socio-économique de statu quo suppose aussi que l'ensemble des lois et règlements seront mis en application et respectés et qu'il n'y aura pas de nouvelles constructions dans les zones à risque. L'hypothèse suggère également qu'il n'y aura pas de nouvelles zones à risque mettant en péril un cadre bâti existant qui n'est pas encore touché par des risques climatiques. Il s'agit d'une hypothèse qui demeure très difficile à vérifier à l'heure actuelle et qui est probablement fautive. L'ampleur des inondations pourrait varier en fonction du territoire affecté et se traduire par de nouvelles zones à risque.

Néanmoins, nous incluons dans les analyses les coûts de réaction en urgence. Nous avons vu dans le passé (inondations au Saguenay, glissement de terrain à Salluit, inondations du Richelieu, etc.) l'effort

¹³ Félio, 2012.

et les ressources requises lors des interventions non planifiées lors de crise. Ces coûts sont significatifs et renforcent l'importance de planifier à l'avance en fonction des risques connus.

3.6 Présentation des résultats et taux d'actualisation

Les résultats dans les tableaux sont toujours présentés en millions de dollars constants de 2012. Pour les données historiques, celles-ci ont été ramenées en dollars constants 2012. Pour les données historiques dans le domaine de la santé, nous avons appliqué un taux d'augmentation annuelle de 4 %¹⁴, plus proche de la réalité de ce secteur que le taux d'inflation général qui sur, la période de 1995 à 2012, est de 1,9 %¹⁵.

Nous avons aussi actualisé les résultats sur toute la période pour tenir compte de la préférence temporelle. Cette opération, d'usage courant en analyse économique est particulièrement utile en analyse coût avantage où elle permet de comparer plusieurs choix d'investissements en fonction de leurs échéanciers¹⁶. Elle est aussi utile pour tenir compte de l'échelonnement dans le temps des impacts, les plus rapprochés présentant une valeur plus grande que les plus éloignés. Le taux d'actualisation à appliquer reflète des choix sociétaux (l'importance et la valeur qui est accordée aux dépenses et générations futures – plus le taux d'actualisation est élevé, moins la dépense future a de poids aujourd'hui). Nous avons choisi d'appliquer un taux d'actualisation de 4 % et proposons des analyses de sensibilité à 2 % et 6 % pour chaque enjeu analysé afin de montrer l'influence du choix du taux d'actualisation sur les résultats. Le choix d'un taux à 4 %, plus faible que celui utilisé en général mais apparaissant déjà dans les études sur la santé auxquelles nous référons, est conforme à la suggestion de Montmarquette et Scott (2007) qui affirment souscrire en dernière analyse « à l'idée qu'en très longue période, le taux d'actualisation public doit diminuer et à la limite converger vers le taux anticipé de croissance de l'économie durant la période correspondante. Cette approche répond aux inquiétudes que suscite le calcul économique chez les défenseurs de projets à bénéfices éloignés dans le temps, notamment les projets reliés à la santé publique, à l'environnement et aux changements climatiques »¹⁷. Le choix d'un taux à ce niveau aura pour effet de moins « effacer » dans la valeur actuelle les coûts qui apparaissent dans le futur. Voir l'annexe II pour plus de détails sur le concept d'actualisation et ses implications pour l'analyse.

3.7 Autres considérations et limites de l'étude

Il convient aussi de faire mention d'autres considérations pouvant avoir un impact important sur les coûts pour le gouvernement et pour la société. En particulier, nous n'avons pas été en mesure de considérer l'effet des impacts cumulés sur les coûts à défaut de disposer d'un modèle d'équilibre général calculé et d'hypothèses de probabilités pour chacun des enjeux. Cependant, l'expérience récente¹⁸ suggère que les conséquences peuvent être nettement plus graves et les coûts beaucoup plus élevés que si chaque événement est pris de manière isolée.

¹⁴ Gouvernement du Québec, 2014.

¹⁵ Sur la base des tableaux de l'Indice des prix à la consommation pris sur le site de l'Institut de la statistique du Québec.

¹⁶ Montmarquette & Scott, 2007; Larousse <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/actualisation/953>

¹⁷ Montmarquette & Scott, 2007, p.7.

¹⁸ Les inondations au Saguenay en 1996 sont le résultat de plusieurs événements de pluie l'un après l'autre. Les inondations du Richelieu en 2011 sont le résultat d'un hiver particulièrement neigeux, d'une fonte rapide au printemps et d'événements de pluie.

De plus, pour toutes les analyses, nous avons cherché à réduire la complexité. Par conséquent, plusieurs hypothèses qui agissent comme proxy ne peuvent être validées. Nous en faisons mention dans le rapport lorsque c'est le cas.

En somme, à la lumière de ce que nous venons de décrire, nous pouvons affirmer avec un niveau assez élevé de confiance que les résultats présentés dans ce rapport demeurent des estimations très conservatrices (basses) des coûts associés aux impacts des changements climatiques. Nous pensons cependant que plusieurs facteurs contribueront à augmenter, parfois significativement, ces coûts. Cette affirmation sera étayée plus loin dans le texte pour chaque enjeu étudié.

PARTIE II

4. ANALYSE ET RÉSULTATS SECTORIELS

Ce chapitre décrit, pour chaque enjeu à l'étude, la région ou les régions couvertes par l'analyse, les choix méthodologiques et les hypothèses posées ainsi que les analyses de sensibilité effectuées pour vérifier la robustesse des résultats. Un tableau synthèse des résultats est suivi d'une courte discussion. Chaque section se termine avec des recommandations pour améliorer l'analyse économique.

Les trois premiers sous-chapitres traitent des enjeux de santé¹⁹ (chaleur, zoonoses et pollens) et les trois suivants traitent des enjeux pour les infrastructures (inondations, pergélisol, érosion des côtes).

4.1 Chaleur et santé

L'impact de la chaleur pour la santé est très bien documenté. L'Organisation mondiale de la santé identifie cet enjeu comme un des principaux risques sanitaires liés aux changements climatiques. D'autres régions du monde ont déjà vécu des périodes de chaleur importante avec des conséquences significatives pour la population. Sur la base de ces expériences, le Québec a déjà mis en place plusieurs actions pour mieux gérer les périodes de canicules ou vagues de chaleur, dont une cartographie et caractérisation des zones à risque et des plans d'intervention lors de chaleur accablante et extrêmes²⁰.

4.1.1 Région couverte

Les problématiques liées à la chaleur se produisent principalement en milieu urbain dans le Sud du Québec. Une cartographie des principaux îlots de chaleur est disponible sur le site du Portail du Québec sous *Gouvernement ouvert*²¹. Au-delà de ces zones plus problématiques, il y a une relation entre la température ambiante moyenne et les taux de mortalité et de morbidité tel qu'explicité sur le graphique ci-dessous. Comme l'indiquent les courbes du graphique, les seuils peuvent varier légèrement d'une région à une autre mais pour les besoins de la présente étude, les experts nous ont confirmé qu'une seule courbe de risque pouvait être utilisée.

¹⁹ Concernant la question sur la santé et les extrêmes, c'est par manque de données que nous avons dû renoncer à couvrir cet aspect.

Seuls des rapports sur les très gros événements (inondations au Saguenay et de la rivière Richelieu, tempête de verglas) existent. Pour le reste, il n'y a que quelques rapports plus sporadiques de certaines directions de santé publique qui ont parfois publié des rapports mais pas de manière systématique ni normée. Les données ne sont pas comparables et il n'est pas possible de faire le lien entre ces événements et les hospitalisations liées (pas d'études disponibles). Même la littérature internationale n'aborde pas beaucoup ce sujet.

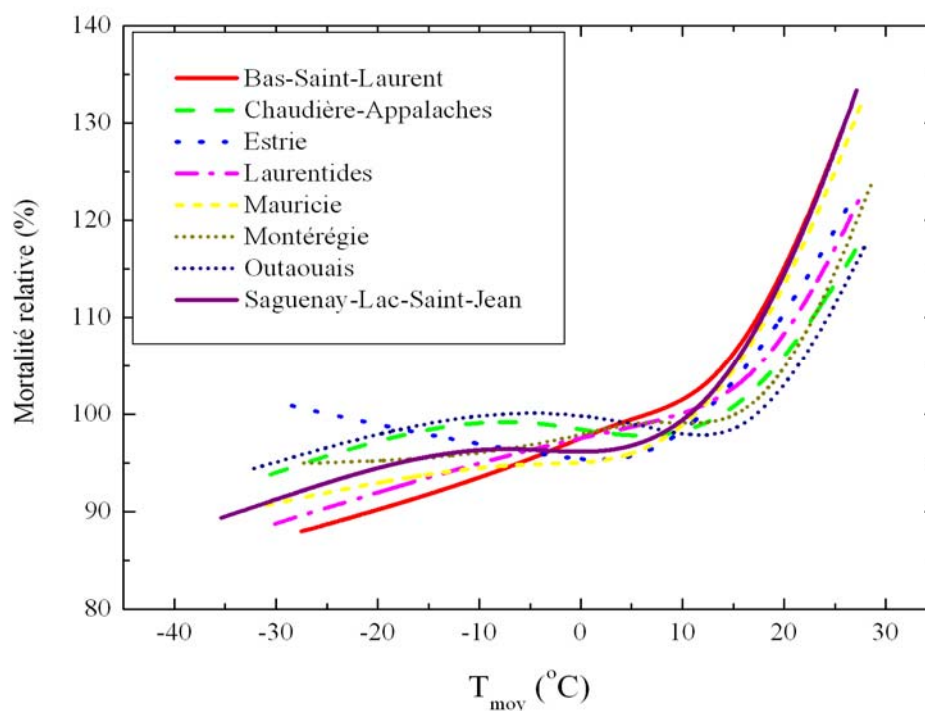
Par ailleurs, nous n'avons pas de projections concernant la fréquence attendue des très gros sinistres dans un contexte de changements climatiques (par exemple, augmentation de X % d'ici 2050).

Pour ces raisons, il n'est pas possible de les considérer dans l'analyse économique.

²⁰ Gouvernement du Québec, 2008.

²¹ Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) & CERFO, 2012.

Graphique 4.1
Relation entre température et le taux de mortalité



Source : Doyon, Bélanger, & Gosselin, 2006.

Cette courbe permet de comparer la mortalité à un niveau de température à la moyenne des mortalités pour l'ensemble des températures, et ce, en tenant compte des saisons, des tendances à long terme et des jours de la semaine. On peut donc dire qu'une mortalité relative de 130 % signifie qu'à cette température-là, il y a 30 % de mortalité de plus qu'en moyenne pour cet endroit-là. On peut dire aussi qu'à une température de moins 10 il y a environ 5 % de mortalité de moins qu'en moyenne. En utilisant la courbe liée à chaque région, comme on le voit sur la carte on pourrait avoir une valeur plus précise pour le taux de mortalité relative, mais ce degré de précision supplémentaire n'est pas nécessaire dans le cadre de cette étude²².

4.1.2 Impacts et projections

Un des signaux les plus robustes des changements climatiques est celui de l'augmentation des températures. Les scénarios de changements climatiques suggèrent que les températures moyennes en été augmenteront de façon marquée au cours des prochaines décennies. Cette augmentation des températures moyennes se traduira aussi par de fortes augmentations dans la durée et la sévérité des vagues de chaleur et dans la fréquence des nuits chaudes. Comme la relation entre l'augmentation des températures et les taux de mortalité et de morbidité est bien établie, il est donc prévu que les problèmes sanitaires associés à la chaleur soient aggravés par les changements climatiques.

La chaleur peut provoquer des problèmes de santé tels les coups de chaleur et des problèmes de déshydratation. C'est particulièrement le cas lors des périodes de canicule où la température le jour est très élevée pour plusieurs journées consécutives et encore plus lorsque la température nocturne

²² Doyon et al 2006, p. 28.

demeure élevée empêchant le corps de récupérer. Les principaux groupes vulnérables sont les personnes âgées et les personnes plus jeunes qui ont déjà des problèmes de santé, notamment de santé mentale, ainsi que des personnes vivant dans des milieux défavorisés.

En fonction des diverses sources de données, différents indicateurs d'augmentation de température ont été utilisés : température moyenne estivale, nombre de vagues de chaleur par année, jours par année de plus de 30°C ainsi que la température annuelle moyenne. Tel qu'expliqué précédemment, des analyses de sensibilité ont été effectuées afin de mieux évaluer l'impact des divers scénarios d'augmentation de température sur la santé avec des scénarios inférieurs, médians et supérieurs.

La définition d'une vague de chaleur pour les fins de cette étude est celle utilisée par Environnement Canada et les directions de santé publique pour le Québec²³. Une vague de chaleur provoquant des conséquences est constituée d'au moins trois jours consécutifs de plus de 30°C avec des nuits où la température ne descend pas en dessous de 22°C. On considère qu'il y a en moyenne présentement environ une vague de chaleur aux deux ans touchant principalement le Sud du Québec (4 - 5 régions administratives) et il est anticipé que la fréquence augmentera ainsi que le nombre de régions touchées (jusqu'à 10 régions d'ici 2065).

Quant aux températures maximales moyennes estivales, la moyenne correspond à la température maximale prise sur une base journalière sur la période du 1^{er} mai au 30 septembre. Les projections montrent que la température maximale moyenne augmentera sensiblement d'environ 3°C d'ici 2065; les températures plus chaudes augmentant davantage.

Voir annexe III pour plus de précisions sur les scénarios de changements climatiques produits pour les fins de l'étude.

4.1.3 Hypothèses, choix méthodologiques et analyses de sensibilité

L'analyse économique vise à établir en premier lieu les coûts pour le système de santé ainsi que d'autres postes de coûts pour la société. Les coûts pour le gouvernement causés par l'augmentation de température qui ont été comptabilisés sont les consultations de médecins, le transport ambulancier et le déploiement des plans d'urgence. Les autres coûts pour la société incluent les remboursements effectués par la CSST à cause de la chaleur et la valeur des pertes de vie additionnelles. D'autres coûts comme les appels à Info-Santé (811) ou les coûts d'hospitalisation peuvent difficilement être comptabilisés, car ces postes budgétaires sont déjà couverts dans le fonctionnement de base du réseau de la santé (une vague de chaleur n'entraîne pas nécessairement l'ouverture d'une aile d'hôpital ou des heures supplémentaires de la part des employés du réseau). Par conséquent, il est difficile d'en déterminer le surcoût attribuable aux changements climatiques.

Aux fins de l'analyse, les données de températures estivales ont été produites par l'équipe Scénarios et services climatiques d'Ouranos pour la période du 1^{er} mai au 30 septembre sur la période à l'étude (2015-2064). Tant dans le cas des vagues de chaleur que pour la température estivale, nous avons pris les scénarios de changement inférieur (10^e percentile), médian (50^e percentile) et supérieur (90^e percentile)²⁴.

²³ Casati, Yagouti, & Chaumont, 2013.

²⁴ À défaut de plus d'informations, ces scénarios sont considérés équiprobables.

L'étude de Doyon, Bélanger et Gosselin²⁵ estime que les taux de mortalité associés à la chaleur peuvent être différenciés selon les groupes d'âge de 64 et moins et 65 et plus (les personnes âgées étant plus vulnérables à la chaleur). Les projections couvrent deux périodes, soit de 2015 à 2039 puis de 2040 à 2064. Puisque les taux de mortalité sont plus élevés chez les 65 ans et plus, nous avons appliqué un taux différent en fonction de la proportion de cette population dans l'ensemble de la population québécoise. En raison de la hausse des températures, les taux de mortalité moyens par 100 000 habitants passeraient de 3,6 à 7,1 par 100 000 habitants pour les moins de 65 ans entre la période 2011-2039 et la période 2040-2064 alors que pour les personnes de 65 ans et plus, les taux seraient de 6,3 et de 12,5 par 100 000 habitants :

Tableau 4.1
Taux de mortalité par 100 000 habitants au Québec associé à la chaleur

| Période \ Groupe d'âge | 64 et moins | 65 et plus |
|------------------------|-------------|------------|
| 2011-2039 | 3,6 | 6,3 |
| 2040-2064 | 7,1 | 12,5 |

À noter que les projections utilisées dans l'analyse économique sont le résultat de la moyenne calculée à partir des valeurs inférieures et supérieures données dans l'article.

Pour calculer la valeur des pertes de vie accrue, l'étude a eu recours à la valeur statistique d'une vie. Il s'agit de la méthode la plus souvent utilisée dans les différentes études économiques liées à des projets d'investissement afin d'établir leur pertinence. La valeur que la société accorde ou associe à une vie humaine, soit la valeur statistique d'une vie humaine (VSV) utilisée est de 3 594 417 \$. Voir l'annexe IV pour plus de précisions sur ce concept et ses implications pour l'analyse. À noter que les projections utilisées dans l'analyse économique sont le résultat de la moyenne calculée à partir des valeurs inférieures et supérieures données dans l'article.

Les cas de morbidité entraînent également des coûts pour le gouvernement en matière de prévention puis de traitement, notamment le déploiement des plans de chaleur accablante et les consultations chez le médecin. Or, il existe peu d'informations documentées sur les coûts liés aux plans d'urgence et à leur déploiement. On estime²⁶ cependant que les coûts de base des plans d'urgence représentent un coût fixe de 300 000 \$ en coûts fixes par saison estivale, peu importe le nombre de vagues de chaleur. Il s'agit des dépenses qui couvrent le salaire et l'équipement nécessaire pour permettre de faire de la veille et le suivi.

Puis, chaque fois que le plan est mis en œuvre, on estime à environ 3 000 000 \$ le coût du déploiement du plan d'action pour une vague de chaleur touchant quatre à cinq régions administratives. Le nombre de vagues de chaleur par été peut varier (de 0 à plusieurs). Les changements climatiques pourraient augmenter la fréquence, le nombre et la durée des vagues de chaleur entraînant un doublement des coûts à partir de 2050 alors que les vagues de chaleur toucheront une dizaine de régions.

²⁵ Doyon, Bélanger, & Gosselin, 2008.

²⁶ Groupe de discussion et échanges avec experts.

Les autres coûts que nous considérons dans l'analyse sont dus à la perte de productivité pour cause de chaleur. La CSST rembourse la perte de journées travaillées pour cause de chaleur non mortelle pour chaque degré de température supplémentaire par rapport à la température journalière maximale en moyenne sur la période estivale²⁷. L'étude de Duguay et al. fournit également le coût annuel moyen des remboursements de la CSST. Pour l'analyse économique, nous calculons le coût additionnel pour chaque degré supplémentaire. À noter, quand la projection est inférieure à la moyenne, le coût est nul (et non pas une valeur négative).

Le nombre annuel moyen de problèmes liés à la chaleur non mortel pour une augmentation de température maximale journalière de 1°C selon Duguay, Busque et Labrèche²⁸ est de 10,20 et la moyenne des remboursements par cas est de 1 390 \$.

Analyses de sensibilité

- Vieillesse de la population

Dans le cas de la chaleur et des problèmes de santé, la population âgée est beaucoup plus vulnérable puisque vieillir implique le plus souvent une augmentation des problèmes de santé en nombre et sévérité. Sachant que la tendance démographique est au vieillissement, nous en avons vérifié l'impact pour les coûts sur le système de la santé. Pour ce faire, il a fallu partir des projections démographiques et appliquer un pourcentage croissant de la population de 65 ans et plus passant de 16 % à 28 % de la population globale en 2061²⁹.

- Scénarios de changements climatiques

Nous avons vérifié l'effet des scénarios faible et fort augmentation pour les jours où la température excède 30°C, pour le nombre de vagues de chaleur par année ainsi que pour la température maximale estivale moyenne en utilisant les 10^e et 90^e percentiles des projections d'ensembles.

- Taux d'actualisation

L'effet du choix du taux d'actualisation a été vérifié en appliquant des taux de 2 % et 6 %.

²⁷ Adam-Poupart et al., 2014.

²⁸ Lebeau, Duguay, & Boucher, 2014.

²⁹ Institut de la statistique du Québec (ISQ), 2014.

4.1.4 Résultats et discussion

Les coûts associés à la chaleur dans un contexte de changements climatiques sont indiqués dans le tableau ci-après.

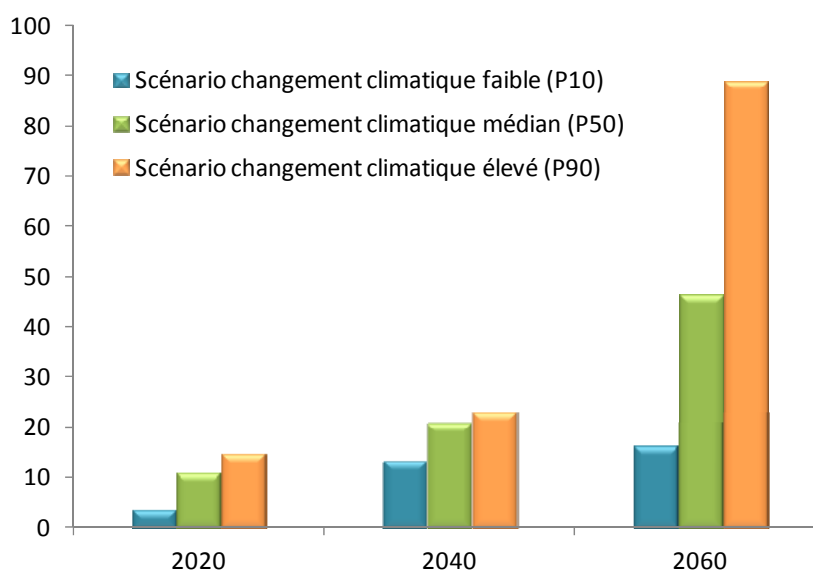
Tableau 4.2
Coûts cumulatifs des impacts de la chaleur sur la santé
avec les changements climatiques
(2015-2065 en millions de \$ 2012)

| | Coûts cumulatifs selon le taux d'actualisation | | | Coûts selon différents scénarios | | |
|--|--|--------|--------|--|---|---|
| | 4 % | 2 % | 6 % | Scénario Croissance démographique et vieillissement population | Scénario inférieur de changement climatique (P10) | Scénario supérieur de changement climatique (P90) |
| Coûts pour le gouvernement | 372 | 583 | 258 | 412 | 246 | 515 |
| Autres coûts pour la société (incluant la mortalité) | 32 749 | 50 893 | 22 878 | 37 387 | n. a. | n. a. |

Selon l'analyse, les coûts pour le gouvernement s'élèveraient à plus de 370 M\$. Pour la société, les coûts s'élèveraient à près de 33 G\$, essentiellement attribuables aux pertes de vie prématurées.

Le graphique suivant montre comment les coûts augmentent pour trois périodes spécifiques (2020, 2040 et 2060).

Graphique 4.2
Coûts des impacts de la chaleur sur la santé avec les changements climatiques pour 2020, 2040 et 2060
(2015-2065 en millions de \$ 2012)



4.1.5 Recommandations

Pour améliorer l'analyse

- Considérer l'effet d'un appauvrissement de la population

Certaines études récentes³⁰ ont montré que les personnes dans le quintile de revenu inférieur (en situation de défavorisation matérielle) sont 20 % plus susceptibles que toutes les autres classes de consulter un médecin en période de chaleur accablante. Dans ce contexte, il pourrait être intéressant, lors de futures analyses économiques, de vérifier comment l'augmentation de la proportion des personnes vivant dans les milieux défavorisés et donc plus vulnérables à la chaleur pourrait influencer les coûts payés par l'État.

- Comptabiliser les coûts actuels

Il n'y avait pas, au moment de réaliser cette étude, d'information documentée sur les coûts liés au déploiement des plans d'urgence en cas de chaleur accablante. Nous nous sommes appuyés sur les avis d'experts qui nous ont donné des ordres de grandeur. Toutefois, il serait utile d'avoir une idée plus précise des coûts réels pour pouvoir les projeter dans le futur.

Finalement, à la lumière de l'analyse, on constate l'intérêt de continuer à préconiser des mesures d'adaptation ciblant particulièrement les personnes les plus vulnérables, soit les personnes âgées, les personnes en situation de défavorisation matérielle et les personnes avec des problèmes de santé mentale.

4.2 Zoonoses et santé

Les zoonoses sont des infections ou maladies qui se transmettent de l'animal à l'humain. Ils peuvent générer des conséquences très graves, allant jusqu'à provoquer la mort. Leur diagnostic et les traitements requis imposent des coûts pour le système de la santé.

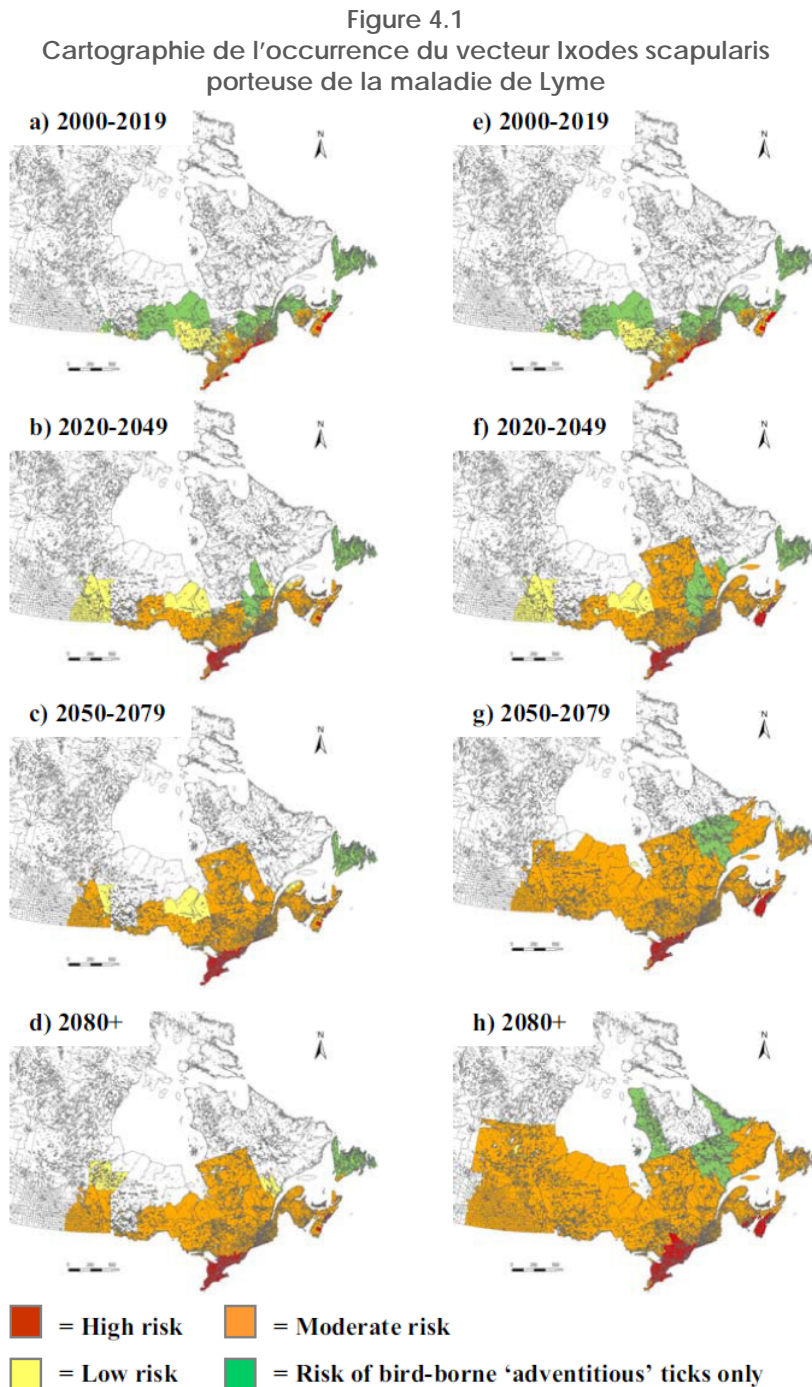
Les maladies retenues aux fins de cette étude sont la maladie de Lyme et l'infection au virus du Nil occidental (VNO), dont on observe la manifestation depuis quelques temps dans le Sud du Québec et dont la présence pourrait s'intensifier puis s'étendre vers les régions plus au nord du Québec avec les changements climatiques. Leur présence est déjà bien établie dans le Nord-Est des États-Unis, au Québec et en Ontario.

4.2.1 Maladie de Lyme - Région couverte

Le Sud du Québec, la région de la Montérégie plus particulièrement, est déjà aux prises avec les enjeux de la maladie de Lyme transmise par la tique à pattes noires qui sont infectées. Pour se répandre, la tique se sert de différents hôtes comme la souris à pattes blanches ou le cerf de Virginie, qui sont présents dans la région.

³⁰ Diane Bélanger, Gosselin, Valois, & Abdous, 2014; D Bélanger, Abdous, Hamel, & Valois, 2013; Pampalon & Guy, 2000.

Comme on peut le constater sur les cartes ci-dessous³¹, avec les changements climatiques il est prévu que la région couverte s'étende plus au nord et en conséquence, qu'un plus grand nombre de personnes soit exposée aux vecteurs de la maladie.



Expansion projetée au Canada, de la période 1971-2000. Les figures a) à d) représentent un scénario de changement lent et les figures e) à h) indiquent un scénario de changement rapide.
Source : Ogden et al. 2014.

³¹ Ogden et al., 2008

4.2.2 Maladie de Lyme – impacts et projections

La maladie de Lyme est transmise par la morsure de tiques à pattes noires qui sont infectées par la bactérie responsable de la maladie. Les symptômes varient de la fatigue à la fièvre et de troubles du système nerveux. Dans certains cas plus rares lorsque la maladie n'est pas traitée, elle peut provoquer la mort³², mais étant donné le peu d'information à ce sujet, **nous n'avons pas considéré de décès pour la maladie de Lyme.**

La température moyenne, l'épaisseur de la couche de neige et la durée de l'hiver sont les principaux facteurs climatiques qui expliquent la présence des hôtes et de l'abondance des tiques. L'adoucissement de la saison hivernale avec les changements climatiques pourrait permettre de plus grands taux de survie et ainsi augmenter les risques d'exposition de la population. Les personnes les plus à risque sont celles qui passent du temps à l'extérieur dans les zones forestières (travailleurs, randonneurs, chasseurs, etc.).

Dans les régions du monde déjà touchées par cette maladie, la sensibilisation de la population et des professionnels permet de détecter et diagnostiquer de manière précoce les signes de la maladie et ainsi réduire les conséquences pour les personnes affectées. Au Québec, la maladie et ses symptômes commencent seulement à être connus.

4.2.3 Maladie de Lyme – hypothèses, choix méthodologiques et analyses de sensibilité

L'Agence canadienne de santé publique a beaucoup documenté le phénomène. Dans une étude récente d'Ogden³³, le taux d'incidence annuel par 100 000 habitants est calculé pour l'ensemble du Canada. Ainsi, nous avons appliqué un taux d'incidence de 18,1/100 000 habitants pour 2020 et de 22,2/100 000 habitants en 2050 en appliquant une variation linéaire sur toute la période 2015 à 2064. Ces taux sont appliqués à la population du Québec. Ces taux sont des taux moyens pour l'ensemble du Canada et le Québec sera vraisemblablement le territoire le plus affecté après l'Ontario; ces taux sous-estiment probablement un peu la situation pour le Québec.

L'étude d'Ogden propose aussi une analyse des coûts, encore une fois sur la base de moyennes nationales. Les coûts moyens du système de la santé au Québec sont légèrement inférieurs au reste du Canada³⁴ et les valeurs ont donc été ajustés à 97,5 % des coûts proposés dans l'étude.

Les coûts pour l'État varient significativement selon que la maladie est détectée de manière précoce ou plus tardivement, car les conséquences s'aggravent de manière importante. **Aucott et al.³⁵ suggèrent, sur la base de recensements des cas en Ontario et dans le Nord-Est des États-Unis où la maladie est bien implantée, qu'environ 60 % des cas sont détectés de manière précoce et 40 % le sont de manière plus tardive, avec les complications que cela entraîne. C'est ce ratio que nous utilisons pour calculer les coûts pour l'État et pour la société.**

³² Agence de la santé publique du Canada (ASPC), 2014.

³³ Fleury & Ogden, 2014.

³⁴ Institut Canadien d'information sur la santé, 2014.

³⁵ Aucott et al., 2009.

Analyses de sensibilité

- Détection précoce et détection tardive

Compte tenu que le niveau de sensibilisation est un facteur majeur dans le fait de détecter les symptômes de la maladie et conséquemment des coûts qui y sont rattachés, nous avons voulu vérifier l'effet de l'utilisation d'un ratio différent de détection, soit 100 % des cas détectés de manière précoce, puis 100 % détectés de manière tardive. Cela permet d'estimer l'intérêt de procéder à des campagnes de sensibilisation auprès des professionnels de la santé et de la population en général dans les endroits où les gens sont susceptibles d'être infectés (par exemple, dans les parcs et zones forestières).

- Croissance démographique

L'augmentation de la population aura aussi pour effet d'augmenter le nombre de personnes exposées. Sur la base du scénario de référence de l'Institut de la statistique du Québec³⁶, une analyse de sensibilité a donc été faite pour vérifier l'impact sur les coûts. Cette analyse de sensibilité a été effectuée sur le ratio de 60 % détections précoces et 40 % détections tardives.

- Taux d'actualisation

L'effet du choix du taux d'actualisation a été vérifié en appliquant des taux de 2 % et 6 %. Cette analyse de sensibilité a également été effectuée sur le ratio 60 / 40.

4.2.4 Maladie de Lyme – Résultats et discussion

Les coûts associés à la maladie de Lyme dans un contexte de changements climatiques se retrouvent dans le tableau suivant.

Tableau 4.3
Coûts cumulatifs des impacts de la maladie de Lyme sur
la santé avec les changements climatiques
(2015-2065 en millions de \$ 2012)

| | Coûts* cumulatifs selon le taux d'actualisation | | | Coûts selon différents scénarios | | |
|------------------------------|---|-------|-----|----------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| | 4 % | 2 % | 6 % | Cas détection précoce | Cas détection tardive | Croissance démographique |
| Coûts pour le gouvernement | 61 | 91 | 45 | 39 | 94 | 70 |
| Autres coûts pour la société | 744 | 1 094 | 544 | 6 | 1 850 | 843 |

* 60 % cas détection précoce, 40 % cas détection tardive.

On constate que les coûts pour le gouvernement sont de l'ordre de 60 M\$ mais peuvent s'élever à près de 95 M\$ si les professionnels et la population sont moins sensibilisés à l'existence de cette maladie.

Les autres coûts pour la société sont beaucoup plus élevés lors de détection tardive car les cas de détections tardives peuvent entraîner une perte de productivité coûtant très cher à la société. Les autres coûts pour la société n'incluent pas les pertes de vie car cette maladie ne provoque pas directement de mortalité.

³⁶ Institut de la statistique du Québec (ISQ), 2014

4.2.5 Recommandations

Pour améliorer l'analyse

- Considérer l'absence de mesures de prévention

Les coûts associés à la détection tardive de la maladie de Lyme sont très élevés. Il serait intéressant de comparer les coûts des mesures de prévention (par exemple, la sensibilisation auprès des professionnels et de la population en général) par rapport aux coûts des conséquences de ne pas faire de prévention.

- Utiliser des données plus spécifiques pour le Québec

L'étude s'est appuyée sur des taux établis à l'échelle du Canada. Il s'agit d'une moyenne qui sous-estime probablement la situation au Québec qui sera vraisemblablement parmi les régions les plus touchées au pays à l'avenir. Des travaux en cours à l'Agence de Santé publique du Canada permettront de faire ces analyses.

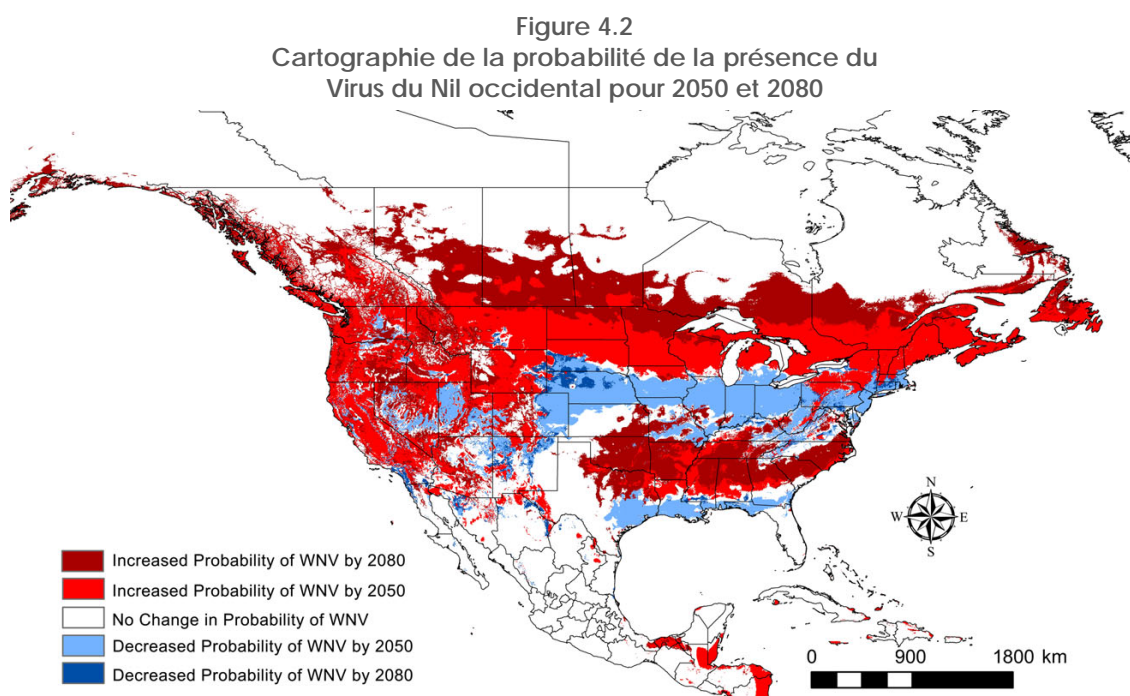
- Comprendre l'évolution du vecteur de la maladie avec les changements climatiques

Il demeure important de poursuivre les recherches concernant l'effet des changements climatiques sur l'évolution du vecteur de la maladie pour mieux comprendre quelles régions seront touchées et prévoir des interventions de prévention.

4.2.6 Virus du Nil occidental - Région couverte

Le Sud du Québec est déjà touché par le Virus du Nil occidental (VNO). Le risque est plus élevé en zone urbaine et en banlieue mais il est présent partout.

Il est prévu, avec les changements climatiques, que la région couverte s'étende plus au nord et en conséquence, qu'un plus grand nombre de personnes y soient exposées.



Source : Harrigan, Thomassen et Smith, 2014

4.2.7 Virus du Nil occidental – impacts et projections

Le VNO chez l'humain se contracte par des piqûres de moustiques qui sont eux-mêmes infectés lorsqu'ils piquent des oiseaux porteurs du virus. Présentement au Québec, il y a quelques cas répertoriés chaque année, mais on observe des petites épidémies cycliques environ aux cinq ans.

Le VNO peut causer des cas de fièvres, maux de tête et éruptions cutanées. Dans les cas plus rares (moins de 10 % des personnes infectées), l'infection peut affecter le système nerveux central. Ces maladies plus graves peuvent entraîner jusqu'à la mort³⁷. Les personnes les plus à risque sont les personnes âgées de plus de 50 ans et les personnes ayant des problèmes de santé chronique (y compris des problèmes affectant le système immunitaire).

L'adoucissement de l'hiver et l'allongement de la saison estivale se conjuguent pour permettre la survie des larves des insectes mais aussi étendre la saison d'exposition potentielle. Les changements climatiques pourraient aussi étendre le territoire où le virus est présent. Selon Harrigan³⁸, il est prévu qu'en 2050, le nombre de cas double en lien avec le doublement de la population exposée.

4.2.8 Virus du Nil occidental – hypothèses, choix méthodologiques et analyses de sensibilité

Une analyse coûts avantages sur le VNO et les actions de prévention a été produite en 2006 par Bonneau³⁹. La présente analyse est donc basée sur les coûts établis dans cette analyse, ramenés en dollars 2012 par un facteur d'augmentation des coûts de 4 %⁴⁰. Le VNO occasionne des coûts directs sur le système de la santé et d'autres coûts plus indirects qui sont assumés par la société. Les coûts unitaires seraient de l'ordre de 5000 \$ pour les cas de fièvre, mais s'élèveraient à plus de 13 000 \$ (\$ 2012) pour les cas de syndromes neurologiques.

Il y a aussi plusieurs coûts indirects de l'ordre de 3000 \$ à 4000 \$. Quant aux cas de mortalité, nous avons appliqué la valeur de la vie statistique au ratio d'un cas de décès pour dix cas de syndrome neurologique en situation courante et en situation épidémique⁴¹.

Sur la base de la discussion du groupe d'experts et du rapport Bonneau⁴², nous considérons pour la période 2015-2064 que dans une année typique, il y aurait relativement peu de cas de personnes infectées, mais que dans une année de situation épidémique qui revient de manière cyclique tous les cinq ans le nombre augmenterait considérablement.

Finalement, en suivant l'hypothèse que la population exposée doublera d'ici 2050⁴³, nous avons également doublé le nombre de cas graduellement pour 2050 en gardant un taux de croissance linéaire sur toute la période.

³⁷ Agence de la santé publique du Canada (<http://www.phac-aspc.gc.ca/id-mi/westnile-virusnil-fra.php>).

³⁸ Harrigan, Thomassen, Buermann, & Smith, 2014.

³⁹ Bonneau, 2007.

⁴⁰ Ibid.

⁴¹ Bonneau, 2007.

⁴² Bonneau, 2007.

⁴³ Harrigan et al., 2014.

Analyses de sensibilité

- Croissance démographique

L'augmentation de la population aura aussi pour effet d'augmenter la proportion de personnes exposées. Une analyse de sensibilité a été faite pour vérifier l'impact sur les coûts sur la base du scénario de référence de l'Institut de la statistique du Québec⁴⁴.

- Taux d'actualisation

L'effet du choix du taux d'actualisation a été vérifié en appliquant des taux de 2 % et 6 %.

4.2.9 Virus du Nil occidental – Résultats et discussion

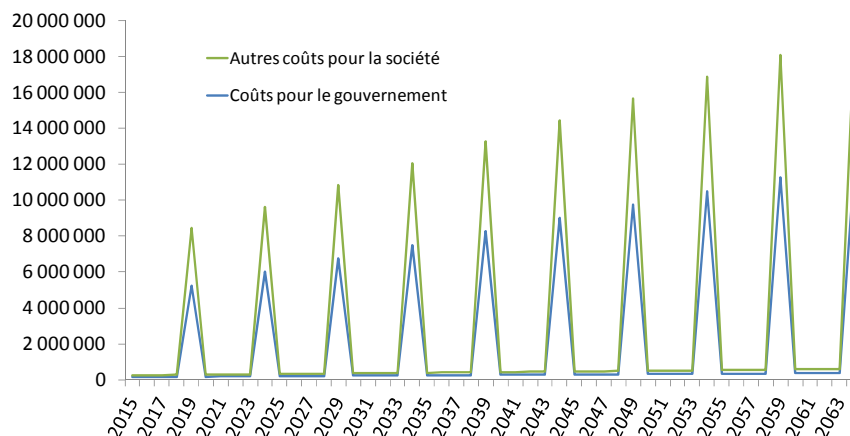
Les coûts associés au VNO dans un contexte de changements climatiques se situent autour de 35 M\$ pour le gouvernement sur la période 2015-2065 et 21M\$ pour les autres coûts pour la société (cf. Tableau ci-après).

Tableau 4.4
Coûts cumulatifs des impacts du Virus du Nil occidental sur
la santé avec les changements climatiques
(2015-2065 en millions de \$ 2012)

| | Coûts cumulatifs selon le taux d'actualisation | | | Scénario croissance démographique |
|------------------------------|--|-------|-----|-----------------------------------|
| | 4 % | 2 % | 6 % | |
| Coûts pour le gouvernement | 35 | 56 | 24 | 38 |
| Autres coûts pour la société | 21 | 34 | 14 | 23 |
| Mortalité | 816 | 1 301 | 553 | 885 |

Nous pouvons aussi constater sur le graphique suivant l'impact des cas épidémiques cycliques sur les coûts du VNO.

Graphique 4.3
Progression dans le temps des coûts des impacts du Virus du Nil
occidental sur la santé avec les changements climatiques
(2015-2065 en millions de \$ 2012)



⁴⁴ ISQ (2014).

4.2.10 Recommandations

Pour améliorer l'analyse

- Comprendre l'évolution du vecteur de la maladie avec les changements climatiques

Il demeure important de poursuivre les recherches concernant l'effet des changements climatiques sur l'évolution du vecteur de la maladie pour mieux comprendre quelles régions seront touchées et prévoir des interventions de prévention.

À noter que nous n'avons pas de scénario de changements climatiques inférieur et supérieur, car le lien entre les changements climatiques et les zoonoses n'est pas direct, mais procède davantage des changements des écosystèmes favorables aux vecteurs et à leur survie. Nous nous sommes basés sur les études existantes. Pour vérifier l'effet de l'ampleur des changements climatiques à ce sujet, il serait nécessaire de faire des études supplémentaires.

4.3 Pollen et santé

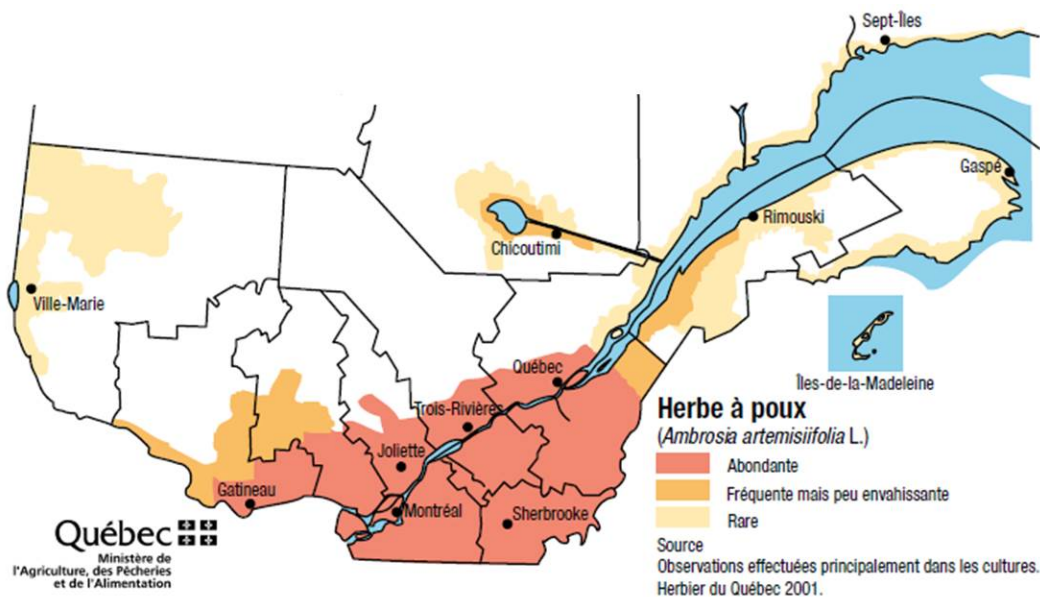
L'allergie au pollen est un enjeu de santé publique majeur. La présente analyse porte spécifiquement sur l'herbe à poux « *Ambrosia artemisiifolia* » (les deux autres espèces - la grande herbe à poux « *Ambrosia trifida* » et l'herbe à poux vivace « *Ambrosia psilostachya* » sont moins répandues au Québec). Cette plante est responsable de la plus importante proportion d'allergies aux pollens au Québec. On estime à près de 20 % de la population des régions touchées souffrent de problèmes d'allergies à l'herbe à poux⁴⁵.

4.3.1 Pollens - Région couverte

C'est surtout le sud de la province qui est touché par les problèmes d'herbe à poux quoique la plante soit observée dans des endroits plus au nord. La carte montre le territoire actuellement affecté par les changements climatiques en termes d'abondance.

⁴⁵ Ministère de la Santé et des Services sociaux (MSSS), 2011.

Figure 4.3
Cartographie de l'abondance de l'herbe à poux
(*Ambrosia artemisiifolia* L.) au Québec



Source : MAPAQ 2001

4.3.2 Impacts et projections

L'herbe à poux provoque des problèmes d'allergies (rhinites, problèmes d'asthmes, etc.). Les personnes avec des troubles respiratoires sont plus vulnérables.

La germination de la plante, sa croissance, floraison, reproduction, etc. sont régies par diverses conditions dont la température, la longueur de la saison de croissance, les concentrations de CO₂ de même que les pluies et événements extrêmes. Les changements climatiques vont donc avoir un impact sur la plante et notamment la présence de pollen provoquant des problèmes de santé.

Les températures plus élevées permettent une plus grande production de pollen et permettent aussi sa plus grande distribution⁴⁶. Le CO₂ quant à lui contribue non seulement à l'augmentation des températures de manière générale et de la longueur de la saison de croissance, mais il est également absorbé par les plantes. En combinaison avec les augmentations de température, la production de pollen pourrait par conséquent augmenter de manière significative. La plante est reconnue pour libérer une quantité importante de pollen durant la période estivale, depuis juillet jusqu'au premier gel⁴⁷. Les changements climatiques auront pour effet de repousser la date du premier gel.

Les changements climatiques ont différents impacts sur les végétaux allergènes qui peuvent entraîner trois types de conséquences sur la sévérité et la prévalence des troubles allergiques⁴⁸ :

⁴⁶ L. Ziska et al., 2011; L. H. Ziska & Beggs, 2012.

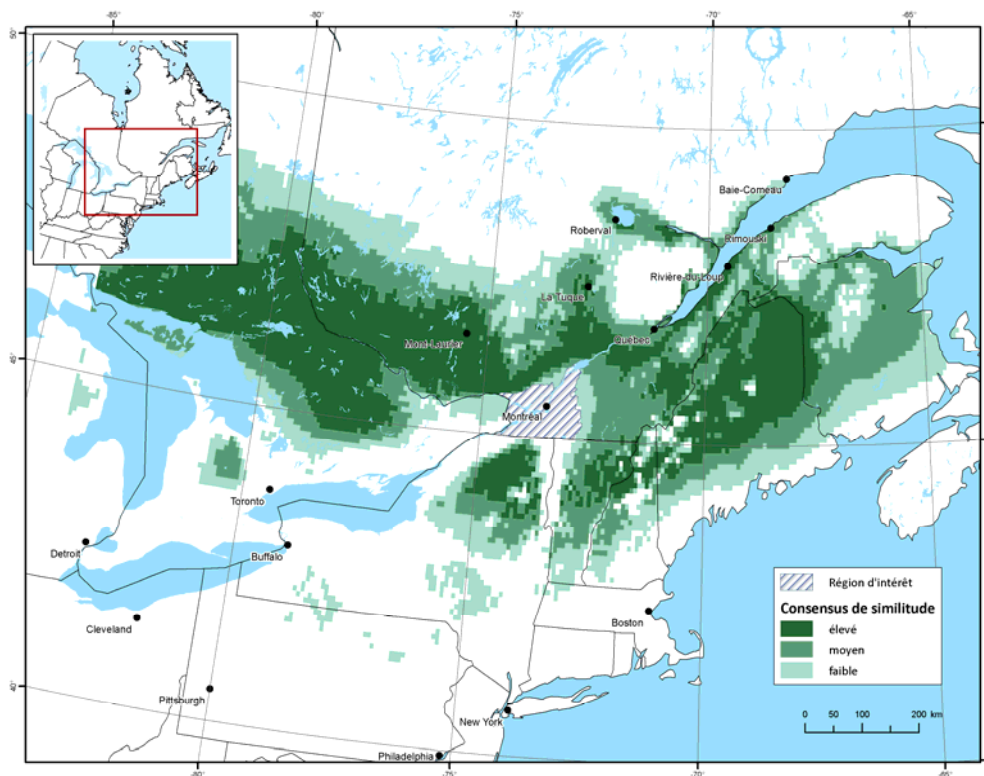
⁴⁷ L. Ziska et al., 2011.

⁴⁸ Ogden et al., 2008.

- Une plus longue exposition aux pollens allergènes durant la phase de sensibilisation peut mener à une plus grande probabilité de développer l'allergie (augmentation de l'incidence).
- Une exposition à des concentrations plus élevées pendant la phase de sensibilisation peut mener à une plus grande probabilité de développer l'allergie (augmentation de l'incidence)
- Une exposition à des concentrations plus élevées une fois l'allergie développée (après la phase de sensibilisation) peut mener à des réactions allergiques plus sévères.

Une carte des analogues spatiaux montre les régions qui, à l'horizon 2050, présenteront les mêmes conditions climatiques que celles de la Montérégie actuellement sur le plan des facteurs climatiques les plus significatifs pour l'herbe à poux (conditions de températures et de précipitations). Compte tenu que la plante est déjà présente dans ces régions, bien que son abondance soit parfois très basse, il est possible de faire l'hypothèse que les conditions du sol soient propices à ce que la plante s'y installe. Ainsi, on prévoit qu'à l'horizon 2050, presque toutes les régions au sud du 49^e parallèle, là où vivent environ 95 % de la population québécoise⁴⁹, seront exposées aux problèmes liés à la présence de l'herbe à poux.

Figure 4.4
Carte des analogues spatiaux en 2050 des régions ayant des conditions climatiques similaires à celles de la Montérégie en climat actuel



Source : T. Logan, Scénarios et services climatiques, Ouranos (2014).

⁴⁹ Groupes de discussion et échanges avec les experts.

Les problèmes d’allergies occasionnent plusieurs coûts pour l’État dont la consultation auprès des médecins, les coûts pour diagnostiquer le type d’allergie mais aussi les médicaments et les traitements de désensibilisation. Il y a aussi des coûts importants lorsqu’il y a des complications liées aux problèmes d’asthme. Une analyse des coûts et avantages produits par Tardif⁵⁰ a détaillé chaque poste de coûts, tant pour l’État que pour la société de manière plus générale, pour l’année 2005.

Tableau 4.5
Postes budgétaires des coûts associés au traitement des problèmes de pollen

| SECTION DU RAPPORT | COMPOSANTE | Coût (\$) | Coût (%) |
|--------------------|---|--------------------|--------------|
| 3.5 | Coûts associés à la consultation d'un professionnel de la santé | 17 894 147 | 11,4 |
| 3.6 | Coûts associés au transport lors de la consultation d'un professionnel de la santé | 4 238 949 | 2,7 |
| 3.7 | Autres frais engendrés par la consultation d'un professionnel de la santé (repas, hébergement, garde d'enfants) | 351 180 | 0,2 |
| 3.8 | Salaire perdu lors de la consultation d'un professionnel de la santé | 2 912 950 | 1,9 |
| 3.9 | Temps alloué pour la consultation d'un professionnel de la santé | 5 951 999 | 3,8 |
| 3.10 | Coûts associés au diagnostic de l'allergie au pollen de l'herbe à poux | 1 076 785 | 0,7 |
| 3.11 | Coûts associés à l'utilisation de médicaments | 32 970 272 | 21,1 |
| 3.12 | Coûts associés au traitement de désensibilisation | 2 336 174 | 1,5 |
| 3.13 | Coûts associés à l'absentéisme et l'incapacité | 32 445 611 | 20,7 |
| 3.14 | Coûts associés aux complications de l'asthme | 6 920 103 | 4,4 |
| 3.15 | Coûts pour l'achat ou la modification d'un appareil pour purifier l'air intérieur du domicile | 49 426 731 | 31,6 |
| | Total | 156 524 901 | 100,0 |

Source : Tardif, 2008

4.3.3 Hypothèses, choix méthodologiques et analyses de sensibilité

Les coûts comptabilisés dans l’analyse proviennent de l’étude de Tardif⁵¹ sur la base de l’année 2005. Les postes de coûts ont été séparés entre coûts pour le gouvernement et autres coûts pour la société, puis chaque poste de coûts a été ajusté en \$ 2012 en appliquant un taux d’augmentation des coûts de 4 %⁵² et réparti en coût par habitant. Il est prévu que le territoire affecté s’étende vers les latitudes plus au Nord. Aujourd’hui, c’est environ 75 % de la population qui habite une zone affectée par l’herbe à poux mais la population exposée pourrait représenter 95 % de la population du Québec⁵³.

⁵⁰ Tardif, 2008.

⁵¹ Tardif, 2008.

⁵² Fleury & Ogden, 2014.

⁵³ Groupe de discussion et échanges avec experts.

Nous avons donc appliqué une progression linéaire pour atteindre cette proportion de la population à l'horizon 2065.

Nous avons pris comme indicateur la date du premier gel pour déterminer la durée d'exposition. Des scénarios de changements pour cet indicateur ont été produits dans le cadre d'un projet d'atlas agro-climatique⁵⁴. Il a été nécessaire, pour simplifier les calculs, d'appliquer un changement moyen sur toutes les régions affectées bien que dans les faits, chaque région subira un changement différent en ce qui concerne le décalage de la date de premier gel. Le nombre de jours additionnels avant le premier gel prolonge la saison des allergies et augmente proportionnellement les coûts associés.

Les projections sont disponibles pour la période 2041-2070. Nous avons appliqué la moyenne des scénarios inférieurs et supérieurs (soit respectivement 7 et 16 jours de plus sur une saison de pollinisation moyenne actuelle de 60 jours).

Les différentes études⁵⁵ calculant le taux de prévalence se basent sur différentes méthodes. Bien que la tendance semble montrer une augmentation, il demeure difficile d'établir une projection du taux de prévalence pour les prochaines années.

Analyses de sensibilité

- Scénarios de changements climatiques

Pour vérifier l'ampleur de l'impact dû aux changements climatiques comme tel, nous avons fait des analyses de sensibilité sur un scénario inférieur en repoussant la date du premier gel de sept jours puis sur un scénario supérieur de seize jours.

- Croissance démographique

L'augmentation de la population aura aussi pour effet d'augmenter la proportion de personnes exposées. Une analyse de sensibilité a été faite pour vérifier l'impact sur les coûts sur la base du scénario de référence de l'Institut de la statistique du Québec⁵⁶.

- Taux d'actualisation

L'effet du choix du taux d'actualisation a été vérifié en appliquant des taux de 2 % et 6 %.

Toutes les analyses de sensibilité ont été effectuées sur la moyenne des scénarios inférieurs et supérieurs de la date du premier gel.

⁵⁴ <http://www.agrometeo.org/index.php/atlas>

⁵⁵ Fleury & Ogden, 2014.

⁵⁶ Groupe de discussion et échanges avec experts.

4.3.4 Résultats et analyses

Le tableau suivant présente les coûts associés au pollen de l'herbe à poux pour la santé dans un contexte de changements climatiques.

Tableau 4.6
Coûts cumulatifs des impacts du pollen sur la santé avec les changements climatiques (2015-2065 en millions de \$ 2012)

| | Coûts cumulatifs selon le taux d'actualisation | | | Coûts selon différents scénarios | | |
|------------------------------|--|-----|-----|---|---|-----------------------------------|
| | 4 % | 2 % | 6 % | Scénario inférieur de changement climatique | Scénario supérieur de changement climatique | Scénario Croissance démographique |
| Coûts pour le gouvernement | 359 | 630 | 219 | 289 | 428 | 424 |
| Autres coûts pour la société | 477 | 839 | 291 | 385 | 570 | 565 |

Les coûts pour le Gouvernement s'élèvent à près de 360 M\$ et ne représentent que ceux attribués aux changements climatiques. Les autres coûts pour la société sont aussi importants de telle sorte que l'on peut considérer qu'il s'agisse d'un enjeu majeur tant pour les régions touchées que pour l'ensemble du Québec. Ces autres coûts pour la société (perte de productivité, achat de médicaments, etc.) sont de l'ordre de 475 M\$ et ne comprennent pas les cas de mortalité puisque les problèmes associés au pollen n'entraînent pas directement des pertes de vie.

Déjà, le coût cumulé actualisé du pollen sans les changements climatiques sur la même période est estimé à 3,4 G\$. Tout effort d'adaptation aura aussi pour effet de diminuer l'ampleur de la problématique en climat actuel et réduire les coûts importants pour le gouvernement.

4.3.5 Recommandations

Pour améliorer l'analyse

- Appliquer le changement de date du premier gel plus finement aux différentes régions

Pour les fins de cette étude, nous avons appliqué une même valeur concernant le recul de la date du premier gel mais dans les faits, les changements climatiques pourraient affecter différemment les régions. Il pourrait être intéressant de vérifier l'effet d'une analyse qui tient mieux compte de ces spécificités.

- Comprendre l'évolution du vecteur de la maladie avec les changements climatiques

Il demeure important de poursuivre les recherches concernant l'effet des changements climatiques sur l'évolution du vecteur de la maladie pour mieux comprendre quelles régions seront touchées et prévoir des interventions de prévention.

Pour l'adaptation :

- Des efforts d'adaptation pour réduire les coûts en climat actuel

Les coûts pour les problèmes associés au pollen en climat actuel sont déjà très élevés. Tout effort d'adaptation aux changements climatiques en lien avec cet enjeu aura aussi pour effet de réduire les coûts de base.

4.4 Infrastructures et cadre bâti – inondations (y compris les glissements de terrain en bord de rivière)

Les inondations (avec les glissements de terrain en bord de rivière) forment un des principaux risques naturels au Québec⁵⁷. Au Québec, la majorité des municipalités ont une partie de leur territoire située en bordure d'un cours d'eau, voire même construite dans des zones inondables répertoriées (20 ans / 100 ans). Chaque année, dans les différentes régions du Québec des citoyens se retrouvent aux prises avec l'inondation de leur propriété avec, certaines années, des événements majeurs telles les inondations du Richelieu en 2011 ou de Rivière au renard en 2007.

On s'attend à ce que les changements climatiques modifient le cycle hydrologique et affectent ainsi le régime des inondations. Pour l'analyse, nous nous intéressons à la fois aux inondations en eau libre et par embâcles de glace.

4.4.1 Région couverte

Le territoire couvert aux fins de cette étude couvre les bassins versants des régions à partir du centre du Québec jusqu'à sa frontière Sud, puis de l'Outaouais jusqu'à sa frontière Est. Compte tenu du peu d'infrastructures dans la région au Nord et en raison d'un manque de connaissances fines sur le régime de l'ensemble des cours d'eau de cette région, celle-ci n'est pas considérée dans notre étude.

4.4.2 Impacts et projections

Les inondations affectent déjà plusieurs régions du Québec. La banque de données colligées par le Ministère de la Sécurité publique pour les réclamations à la suite des inondations contient les montants versés par le gouvernement du Québec. Ces données ont permis d'identifier les principaux dommages, les types d'inondations sur une base saisonnière et les régions les plus affectées. Les données ont aussi permis d'établir un coût annuel moyen et de montrer l'importante variabilité interannuelle. C'est sur la base de ces données historiques que l'analyse économique est bâtie. Le tableau qui suit résume ces informations.

⁵⁷ Gouvernement du Québec, 2013.

Tableau 4.7
Coûts des impacts des inondations sur les infrastructures
(données historiques du MSP pour la période 1991-2013 en \$ 2012)

| | Régions | Coût annuel moyen (MSP) | Coût annuel max (MSP) | Coût annuel moyen (gouvernement du Québec) |
|--|--|-------------------------|-----------------------|--|
| Hiver (embâcle) | Région Sud: Montérégie, Estrie et Chaudières-Appalaches | 1 304 749 \$ | 17 056 467 \$ | 3 914 247 \$ |
| | Région Ouest: l'Abitibi, l'Outaouais, Montréal et Laval | 122 180 \$ | 1 487 015 \$ | 366 540 \$ |
| | Région Est: Bas St-Laurent, Gaspésie et Îles de la Madeleine | 1 032 274 \$ | 21 245 855 \$ | 3 096 821 \$ |
| | Côte Nord: Québec, Charlevoix, du Saguenay-Lac-St-Jean et de la Haute et Basse Côte-Nord | 316 870 \$ | 3 356 343 \$ | 950 610 \$ |
| | Région Centre: Laurentides, Lanaudière et Mauricie | 495 074 \$ | 7 949 376 \$ | 1 485 223 \$ |
| Printemps (embâcle + eau libre) | Région Sud: Montérégie, Estrie et Chaudières-Appalaches | 4 769 160 \$ | 89 663 201 \$ | 14 307 479 \$ |
| | Région Ouest: l'Abitibi, l'Outaouais, Montréal et Laval | 192 465 \$ | 2 036 934 \$ | 577 394 \$ |
| | Région Est: Bas St-Laurent, Gaspésie et Îles de la Madeleine | 253 431 \$ | 1 666 686 \$ | 760 293 \$ |
| | Côte Nord: Québec, Charlevoix, du Saguenay-Lac-St-Jean et de la Haute et Basse Côte-Nord | 410 199 \$ | 2 299 936 \$ | 1 230 597 \$ |
| | Région Centre: Laurentides, Lanaudière et Mauricie | 457 741 \$ | 2 309 123 \$ | 1 373 224 \$ |
| Été (pluies diluviennes) | Région Sud: Montérégie, Estrie et Chaudières-Appalaches | 1 649 722 \$ | 12 032 262 \$ | 4 949 165 \$ |
| | Région Ouest: l'Abitibi, l'Outaouais, Montréal et Laval | 423 223 \$ | 5 733 068 \$ | 1 269 668 \$ |
| | Région Est: Bas St-Laurent, Gaspésie et Îles de la Madeleine | 1 705 437 \$ | 34 973 713 \$ | 5 116 310 \$ |
| | Côte Nord: Québec, Charlevoix, du Saguenay-Lac-St-Jean et de la Haute et Basse Côte-Nord | 8 413 593 \$ | 182 059 597 \$ | 25 240 778 \$ |
| | Région Centre: Laurentides, Lanaudière et Mauricie | 464 412 \$ | 2 397 125 \$ | 1 393 236 \$ |
| Automne (queues d'ouragan) | Région Sud: Montérégie, Estrie et Chaudières-Appalaches | 884 365 \$ | 8 273 037 \$ | 2 653 095 \$ |
| | Région Ouest: l'Abitibi, l'Outaouais, Montréal et Laval | 34 288 \$ | 295 935 \$ | 102 865 \$ |
| | Région Est: Bas St-Laurent, Gaspésie et Îles de la Madeleine | 123 504 \$ | 1 998 921 \$ | 370 511 \$ |
| | Côte Nord: Québec, Charlevoix, du Saguenay-Lac-St-Jean et de la Haute et Basse Côte-Nord | 268 006 \$ | 3 986 294 \$ | 804 019 \$ |
| | Région Centre: Laurentides, Lanaudière et Mauricie | 225 482 \$ | 3 517 675 \$ | 676 446 \$ |
| TOTAL : | | 23 546 173 \$ | - | 70 638 520 \$ |

À noter que ces valeurs ne représentent que les coûts payés par le gouvernement et ne représentent pas le coût réel des dommages pour la société.

Les dommages liés aux inondations ne sont pas couverts par les compagnies d'assurance ou réassureurs; le gouvernement offre des indemnités pour les personnes, entreprises et municipalités ayant subi des dommages par inondations. Les coûts indiqués dans le tableau sont ceux payés aux particuliers, aux entreprises et aux municipalités. Il y a des montants maximums qui sont versés en fonction de la région (valeur foncière, nombre de personnes, ...). Par conséquent, les coûts pour la société sont en réalité plus importants mais non-comptabilisés. Les municipalités reçoivent un montant pour couvrir les dommages au prorata de leur population. Ainsi, les petites municipalités reçoivent souvent de l'aide mais les plus grandes municipalités doivent subir des dommages importants pour pouvoir bénéficier de l'aide de la province.

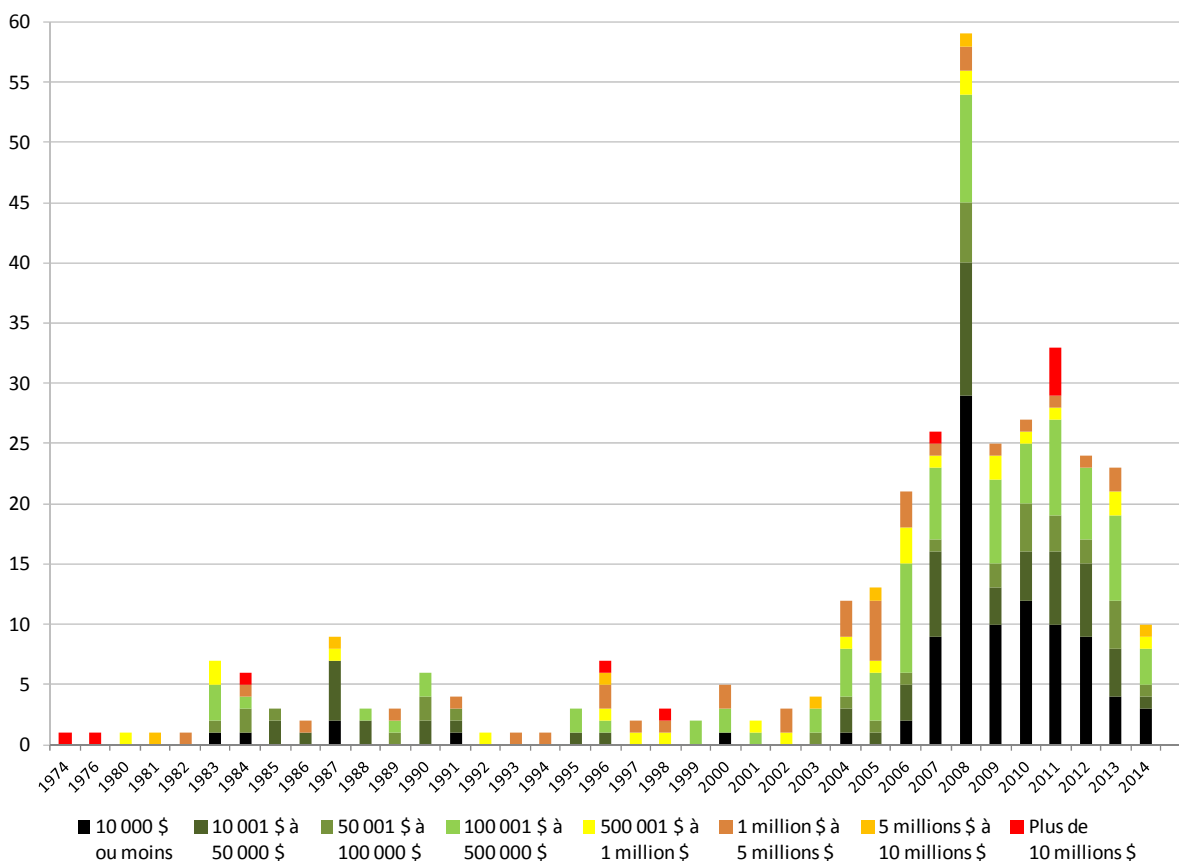
Les valeurs présentées sont les coûts payés par le gouvernement du Québec. Les montants sont fondés sur les sommes versées par le Ministère de la Sécurité publique. Le montant total payé par le gouvernement est estimé à trois fois ce montant (dernière colonne du tableau). Il faut noter par ailleurs que lorsque les dommages dépassent les 8 M\$, le gouvernement fédéral rembourse l'excédent des dépenses venant ainsi réduire le coût final pour le gouvernement du Québec : ceci n'a cependant pas été considéré dans l'analyse.

Les inondations estivales, associées à des pluies diluviennes, ont tendance à causer le plus de dommages. C'est dans la région Sud, là où se concentre la proportion la plus importante de la population mais aussi du cadre bâti et des infrastructures, que l'on constate les coûts les plus élevés dus aux changements climatiques. Les régions dans l'Est de la province sont aussi affectées par les inondations, tant en hiver (par embâcles) qu'en été (pluies diluviennes). Les inondations printanières (de fonte et/ou de pluie et de fonte) affectent toutes les régions.

Les données de 1991 à 2013 indiquent un coût moyen annuel de l'ordre de 70 M\$ en dollars constants de 2012. Toutefois, ce montant peut varier substantiellement d'année en année, de 0 \$ à plus de 182 M\$ (Saguenay en 1996). Le tableau suivant résume les différents coûts historiques pour les différentes régions et par saison payés par le gouvernement du Québec. Sur cette base, on estime que le coût cumulé actualisé des inondations sans les impacts des changements climatiques serait de 1 578 M\$ pour la période 2015-2065 et ce, pour le gouvernement du Québec seulement.

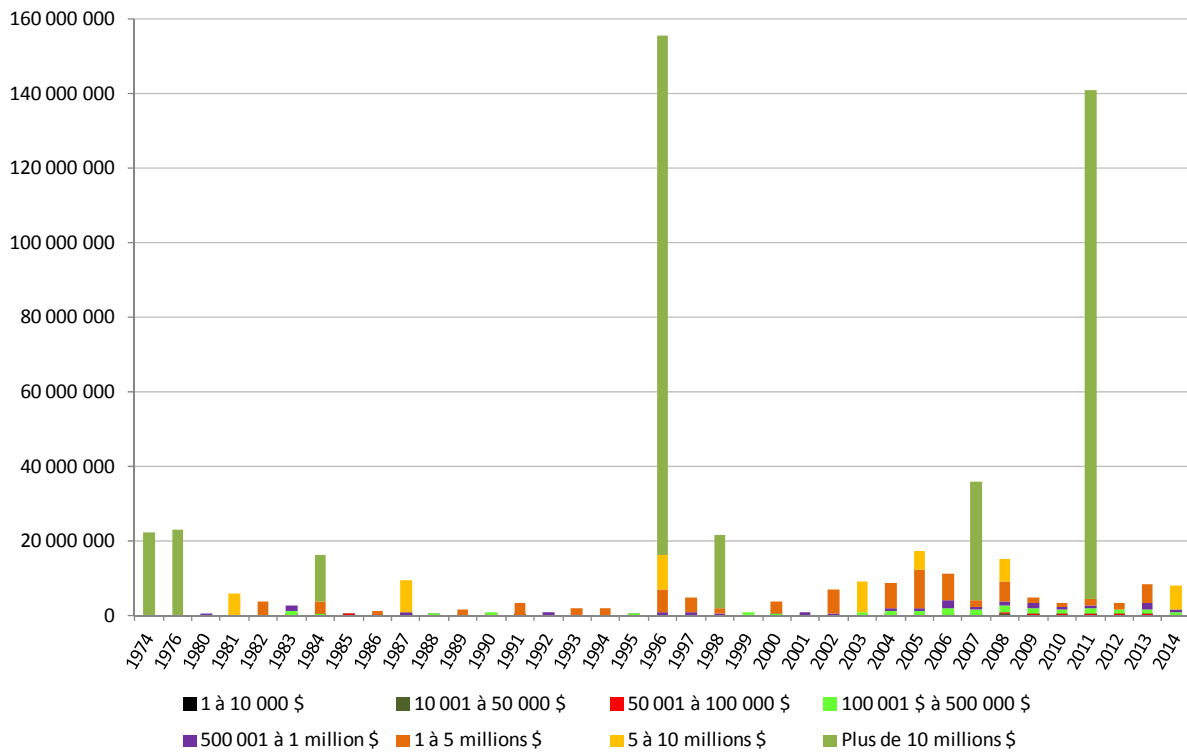
Le graphique ci-dessous montre que le nombre d'événements par année sur la période historique de 1991 à 2013 varie très significativement, de 1 à près de 60 annuellement.

Graphique 4.4
Répartition des événements répertoriés par année
(données du MSP)



Il n'est cependant pas possible de dégager une tendance ni de relier le coût des dommages à un événement d'une récurrence donnée (la base de données n'a pas été montée de cette façon et la nomenclature des événements n'est pas uniformisée).

Graphique 4.5
Répartition du montant total versé aux réclamants par année
(données du MSP en dollars courants)



À noter que les données ont été colligées de manière différente avant 1991. Ainsi, il est difficile de les considérer dans l'analyse.

Une atmosphère plus chaude a tendance à accélérer le cycle hydrologique et modifier le régime des précipitations. Pour le Québec, cela signifie que les précipitations pourront changer de forme (de neige en pluie pour les régions plus au Sud au cours de l'hiver) et de fréquence, intensité et durée. Le lien avec le régime des crues des cours d'eau n'est toutefois pas linéaire. Ainsi, il n'est pas évident de déterminer exactement comment les inondations sont appelées à évoluer en raison des changements climatiques.

Les projections aux fins de cette étude sont tirées de l'Atlas hydroclimatique du Québec⁵⁸. Pour les régions non couvertes par l'Atlas, nous nous sommes appuyés sur les travaux d'Hydro-Québec et d'autres organismes afin de tenter d'identifier les changements attendus. Il convient cependant de préciser que la plupart des études à ce jour ont examiné comment les crues à récurrence moyenne (1 dans 20 ans) étaient appelées à changer avec le climat. Il n'a pas été possible de considérer dans cette étude tout le spectre des crues (des petites assez fréquentes aux très grosses qui n'arrivent que très rarement, soit moins d'une fois dans 100 ans). Les études suggèrent cependant que les plus grosses crues soient susceptibles d'arriver plus souvent dans des proportions plus élevées que des crues moyennes. Ce sont aussi ces crues qui provoquent les dommages et les coûts les plus importants (par exemple, les événements très rares au Saguenay en 1996 et sur le Richelieu en 2011).

⁵⁸ Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ), 2013.

On s'attend notamment aux changements suivants⁵⁹ :

- La pointe des crues printanières courantes pourrait légèrement augmenter au nord et diminuer au sud.
- Les crues printanières seront vraisemblablement moins volumineuses au sud du territoire.
- Les crues printanières seront fort probablement plus hâtives sur tout le territoire.
- La pointe des crues d'été et d'automne pourrait augmenter, principalement au nord du territoire.

Les experts reconnaissent que les effets des changements sont divers, notamment en fonction des saisons. Il en résulte une plage de valeurs plausibles assez étendue, qui s'étale d'une diminution de certains phénomènes d'inondations à une augmentation importante selon la région et la saison. Par exemple, un couvert de neige et de glace réduite en hiver au Sud du St-Laurent pourrait diminuer le nombre ou l'intensité des inondations printanières. Toutefois, la même région pourrait subir des inondations plus importantes en été et à l'automne en raison de précipitations abondantes⁶⁰. Les événements extrêmes pourraient aller en augmentant, tant en fréquence qu'en intensité. L'état des connaissances à ce sujet ne permet cependant pas de projeter ces événements pour les cinquante prochaines années avec suffisamment de robustesse.

Le phénomène des inondations dues aux embâcles de glace est encore très mal documenté et il n'existe aucune étude analysant le phénomène en climat futur. Le problème est surtout important pour les bassins versants du Sud du St-Laurent, coulant du sud au nord. Le réchauffement climatique aura pour effet de diminuer la rigueur de l'hiver, ce qui pourrait diminuer la qualité et l'épaisseur de la glace. Ainsi, il pourrait y avoir un devancement de la période des embâcles mais celle-ci serait de moins grande intensité vu les changements dans les patrons de précipitations. L'augmentation possible des épisodes de redoux hivernaux pourrait provoquer une augmentation de la fréquence des débâcles et embâcles. Il pourrait aussi y avoir des embâcles dans les rivières coulant du nord vers le sud mais ceux-ci sont typiquement moins problématiques puisque la glace a tendance à se fragiliser à l'embouchure des rivières avant la partie en amont permettant ainsi à l'eau de s'écouler. Il est à noter que le gouvernement du Québec a déjà des systèmes de surveillance en place pour suivre l'évolution des conditions et de l'équipement pour aller défaire et libérer les embâcles. Une certaine forme d'adaptation est donc déjà en place et elle mériterait d'être évaluée pour vérifier sa robustesse et pertinence face aux changements climatiques (période d'application, rivières pour lesquelles le suivi est fait, etc.).

Les inondations provoquent une grande diversité d'impacts dans les territoires développés et aménagés. Il y a tout d'abord les impacts directs sur les biens meubles et immeubles (pertes ou endommagements dus à l'eau). Il y a aussi les conséquences liées à la gestion de la crise elle-même et le temps de rétablissement. Puis il y a d'autres impacts comme les conséquences psychosociales, etc., qui sont moins bien documentés et pour lesquels il est plus difficile d'identifier des coûts. D'autres coûts indirects comme la perte de la valeur foncière ou la diminution des recettes fiscales sont peu documentés mais constituent des coûts non négligeables pour la société.

L'ampleur des conséquences varie non seulement en fonction de l'intensité de l'inondation mais aussi de sa durée, de la saison dans laquelle l'inondation se passe, de la densité d'occupation du territoire et de la valeur des biens qui s'y trouvent. Une inondation qui se produit en hiver, est beaucoup plus

⁵⁹ Tiré de Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ), 2013.

⁶⁰ Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ), 2013.

complexe sur le plan de la logistique et peut entraîner des coûts plus importants, bien que nous ne soyons pas en mesure d'évaluer les différences de coûts par saison. De la même façon, un territoire plus densément occupé est susceptible de subir des pertes plus importantes qu'un territoire où il y a moins de personnes et de biens.

À titre d'exemple des impacts des inondations majeures, citons le cas du Saguenay qui, en 1996, a provoqué la mort de 10 personnes et a obligé l'évacuation de plus de 15 800 personnes et dans certains cas pour plusieurs semaines⁶¹. L'inondation du bassin de la rivière Richelieu en 2011 a, pour sa part, touché une quarantaine de municipalités, affectant 2 535 résidences et a nécessité l'évacuation de plus de 1 600 personnes. Le temps de rétablissement a été assez long car les inondations ont duré plusieurs semaines. On estime à près de 7000 interventions psychosociales en lien avec ce seul événement.⁶²

4.4.3 Hypothèses économiques et approches méthodologiques

Pour estimer les coûts de la part des inondations associée aux changements climatiques, il a fallu distinguer les types d'inondations par saison et par région. En effet, toutes les régions du Québec ne sont pas affectées par les mêmes types d'inondations en raison des caractéristiques géographiques, des conditions climatiques et de la densité d'occupation du territoire. De la même façon, pour mieux décrire comment les inondations sont appelées à être affectées par les changements climatiques, il a été nécessaire de les séparer par région.

Tel qu'illustré sur la carte, le territoire est découpé en cinq secteurs et les saisons sont divisées comme suit :

- Hiver : décembre, janvier, février.
- Printemps : mars, avril, mai.
- Été : juin, juillet, août.
- Automne : septembre, octobre, novembre.

(À noter : les événements s'étant déroulés sur deux saisons ont été considérés comme appartenant à la saison au cours de laquelle la majeure partie de l'événement s'est produite).

En raison de l'état des connaissances en matière d'hydrologie et de changements climatiques mais aussi en ce qui concerne les événements d'inondation et les dommages provoqués, il demeure très difficile de projeter les coûts associés aux effets des changements climatiques sur les dommages causés par les inondations. Il a donc fallu faire un grand nombre d'hypothèses qui ne peuvent être vérifiées dans les délais de ce projet.

D'abord, nous ne pouvons pas attribuer 100 % de l'effet des inondations aux changements climatiques puisque le phénomène existe déjà en climat actuel. Ainsi est-il important de considérer les résultats comme la part des inondations attribuables aux changements climatiques. Rappelons que le coût annuel moyen des inondations pour le gouvernement est de l'ordre de 70 M\$ et qu'au terme de la période considérée (2015-2065), le coût cumulé actualisé des inondations sans les impacts des changements climatiques atteindra 1 578 M\$.

⁶¹ Institut national de santé publique du Québec (INSPQ), 2010.

⁶² Gouvernement du Québec, 2013.

En raison des données disponibles, nous avons choisi l'indicateur de débit maximum de récurrence 20 ans (Q20max) qui correspond à la crue dont la récurrence est une fois dans vingt ans pour représenter l'ensemble du spectre des crues. Il convient de préciser qu'un tel indicateur est surtout valable pour les cas d'inondations en eau libre, soit les inondations sans embâcles. Dans les zones inondables (cours d'eau à faible pente), soumises à ce type de crue (en eau libre), c'est l'augmentation du débit qui fait augmenter le niveau d'eau. Dans ces cas, le niveau d'eau (plus exactement la profondeur d'eau) étant le plus souvent la principale variable explicatrice du dommage, plus le niveau augmente, plus le dommage augmente. Cependant, la relation entre le niveau et le débit peut varier en fonction de la morphologie des cours d'eau et de la topographie de leur plaine inondable. Ainsi, par voie de conséquence, il n'y a pas de relation linéaire simple entre l'augmentation du débit et l'augmentation des dommages qui puisse être généralisée à l'échelle du Québec.

Pour ce qui est des inondations par embâcles, l'exercice est encore plus complexe car le débit n'est pas l'unique variable motrice, l'augmentation du niveau d'eau étant aussi fonction du degré d'obstruction de l'écoulement causé par l'embâcle. De plus, dans ces cas, le passage des glaces est aussi un facteur de dommage. Il s'agit donc d'être conscient aussi de ces limitations relatives au choix du débit (ici le Q20max) comme indicateur de dommage de même que dans l'interprétation des résultats qui en découlent.

Nous considérons néanmoins que c'est à partir des événements (Q20max) de cette récurrence que les dommages sont plus importants et affectent un plus grand nombre de personnes⁶³. Il est probable cependant que ce choix méthodologique sous-estime de manière importante les coûts pour les raisons évoquées plus haut (les événements extrêmes sont susceptibles d'augmenter davantage que les événements moyens).

Aussi, nous faisons l'hypothèse que les coûts augmenteront dans la même proportion que les projections des débits de crue ce qui apparaît une estimation très en deçà des coûts réels pour la part des inondations attribuable aux changements climatiques.

Analyses de sensibilité

- Taux d'actualisation

L'effet du choix du taux d'actualisation a été vérifié en appliquant des taux de 2 % et 6 %.

4.4.4 Résultats et discussion

Le tableau suivant présente les coûts additionnels pour le gouvernement des dommages pour les infrastructures associés aux inondations attribuables aux changements climatiques qui sont, comme on peut le voir, relativement limités avec toutefois un écart considérable entre la prévision la plus forte et la moins forte reflétant le faible niveau de confiance dans les résultats :

⁶³ Nous prenons pour acquis que les endroits inondés plus fréquemment qu'une fois dans 20 ans sont probablement adaptés (sous-sol non-aménagé, etc.).

Tableau 4.8
 Coûts cumulatifs des impacts des inondations sur
 les infrastructures avec les changements climatiques
 (2015-2065 en millions de \$ 2012)

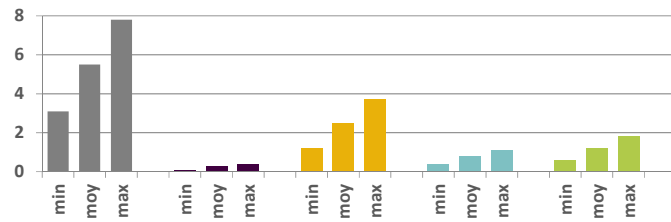
| | Coûts cumulatifs selon le taux d'actualisation | | | Coûts selon différents scénarios | |
|----------------------------|--|-----|-----|----------------------------------|--------------------|
| | 4 % | 2 % | 6 % | Scénario inférieur | Scénario supérieur |
| Coûts pour le gouvernement | 48 | 82 | 30 | -76 | 171 |

Bien que les coûts attribuables aux changements climatiques comme tels soient relativement faibles, les coûts anticipés de cette problématique en climat actuel étant déjà élevés, tout effort d'adaptation et de prévention aura aussi pour effet de réduire les coûts considérables que le gouvernement subit déjà. Les coûts pour la société ne sont pas présentés car ils ne sont pas documentés de manière systématique (il n'y a pas d'information à ce sujet).

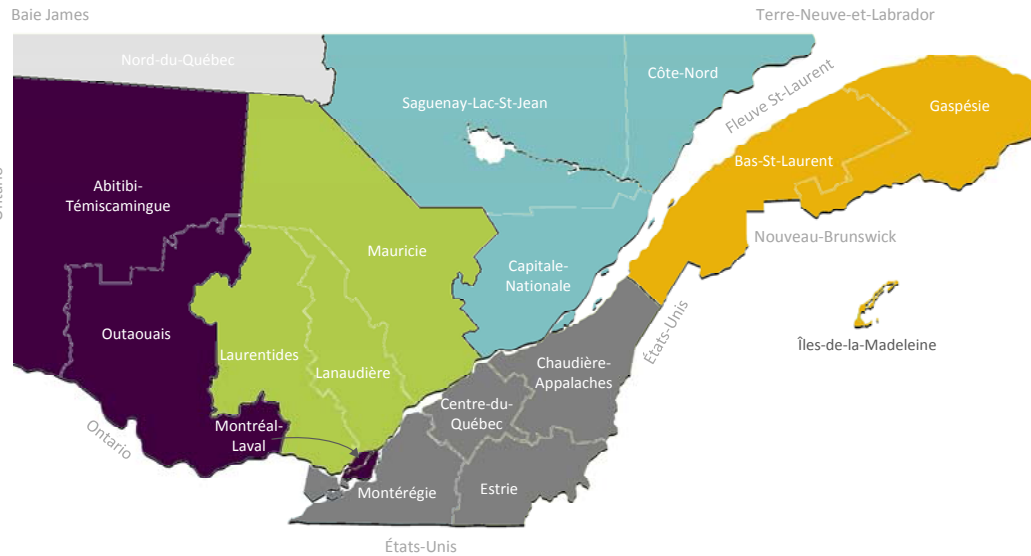
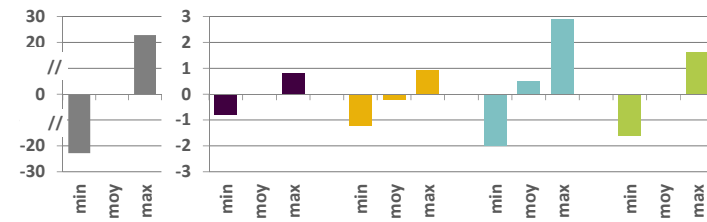
La carte et les graphiques suivants montrent les régions et les saisons les plus susceptibles d'être touchées. Chaque saison est représentée par une carte distincte. Les histogrammes indiquent pour chaque région (les régions sont indiquées par une couleur différente) pour le scénario inférieur, le scénario supérieur ainsi que la moyenne de ces deux scénarios.

Figure 4.5
Carte des régions touchées par les inondations selon la saison

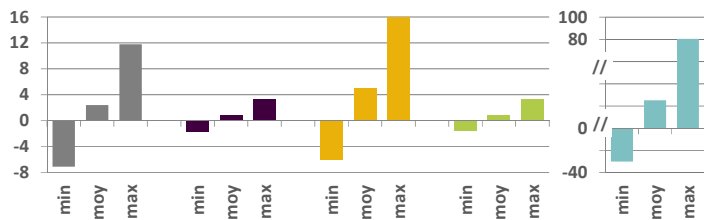
Hiver



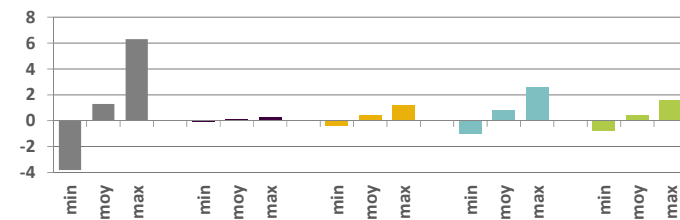
Printemps



Été



Automne



Les figures montrent les moyennes avec les scénarios inférieur et supérieur. Il est important de rappeler que les inondations posent des défis importants en matière de gestion du territoire et que même sans les changements climatiques, les risques peuvent aller en croissant en raison des constructions dans les zones à risque, la gestion des barrages en amont et les pratiques d'aménagement du territoire. Aussi, des inondations à certaines saisons peuvent coûter plus cher et poser des défis plus importants sur le plan de la logistique.

4.4.5 Recommandations

Pour améliorer l'analyse

- Mieux projeter les événements plus extrêmes dans le futur. L'étude utilise comme proxy un seul indicateur (débit maximum à récurrence vingt ans) pour estimer un changement moyen pour l'ensemble des phénomènes hydrologiques pouvant provoquer des inondations. Ce sont les événements majeurs qui provoquent des conséquences importantes (hypothèse simpliste, car non linéaire).
- Mieux lier le coût des dommages avec les événements puis avec les conditions climatiques en amont. Un projet sur ce sujet est en cours d'élaboration à l'heure actuelle car les liens ne sont ni directs ni linéaires.
- Évaluer le ratio des pertes pour la société comparativement aux coûts pour le gouvernement.
- Réaliser une classification des bassins versants du Québec pour mieux caractériser et départager les réponses hydrologiques. Un tel exercice pourrait s'avérer utile pour plusieurs types d'analyses dont de futures analyses économiques.
- Examiner la possibilité de couvrir les inondations par le marché privé des assurances ce qui pourrait mieux influencer les comportements.

4.5 Infrastructures et cadre bâti - pergélisol

La région Nord du Québec subira une diversité d'impacts des changements climatiques⁶⁴ qui généreront des coûts à divers niveaux, tant pour l'État que pour la société de manière plus générale. Toutefois, aux fins de la présente analyse, nous considérons uniquement les enjeux du dégel du pergélisol pour les bâtiments, les routes et les pistes d'atterrissage.

4.5.1 Région couverte

La région du Nunavik est couverte en bonne partie par du pergélisol continu et discontinu. La région visée par cette analyse spécifique couvre les treize villages nordiques sur pergélisol⁶⁵. L'analyse ne considère pas les infrastructures et bâtiments qui se trouvent en dehors des villages nordiques.

4.5.2 Impacts et projections des impacts

Le pergélisol est un sol gelé en permanence pendant une période d'au moins deux ans⁶⁶. Il est composé d'une couche supérieure dite active qui gèle et dégèle sur une base annuelle. La profondeur de cette couche varie chaque année en fonction de plusieurs paramètres dont la nature du sol et les conditions climatiques.

La plupart des infrastructures et bâtiments localisés au Nunavik sont conçus et gérés pour pouvoir composer avec ces variations interannuelles de la profondeur de la couche active (sur radiers avec

⁶⁴ Événements extrêmes, modification du cycle hydrologique, feux de forêt, impacts pour la faune et la flore, impacts sur la santé des populations. Allard, Lemay, Barrett, Sheldon, & Brown, 2012; Ouranos, 2014.

⁶⁵ Le village nordique de Kuujjuaraapik n'est pas localisé sur du pergélisol.

⁶⁶ Allard et al., 2007; Beaulac & Doré, 2007; Allard, Lemay, Barrett, Sheldon, & Brown, 2012.

vérins permettant d'ajuster le niveau des bâtiments). Les pratiques et fréquences d'entretien permettent aussi de gérer ces variations.

Les changements climatiques viennent cependant accélérer le dégel du pergélisol et augmenter la profondeur de la couche active, ce qui peut provoquer des affaissements de sol plus importants et plus rapides (tassements de 2 à 5 cm par année⁶⁷). En effet, le pergélisol est sensible au réchauffement des températures ainsi qu'à l'augmentation des précipitations, tant en termes d'augmentation du couvert de neige que d'eau de pluie et le ruissellement. Le couvert de neige agit comme isolant et l'eau transfère la chaleur dans le sol plus rapidement que l'air.

Plusieurs impacts sont associés au dégel du pergélisol, notamment le tassement différentiel du sol qui engendre des conséquences pour les bâtiments, les routes et les pistes d'atterrissage. Pour les bâtiments, des tassements importants peuvent nuire au fonctionnement des portes, et causer des fissures dans les murs. Pour les routes et surtout les pistes d'atterrissage, le tassement du sol peut diminuer la capacité portante et ainsi mettre en danger la sécurité des personnes.

Il n'est toutefois pas possible d'attribuer les tassements qu'aux changements climatiques, car d'autres facteurs peuvent être en cause, telles les pratiques de conception, de construction, de gestion et d'entretien des bâtiments et infrastructures⁶⁸.

Mais le dégel du pergélisol peut aussi provoquer des glissements de terrain et affecter des bâtiments et des infrastructures, provoquant des coûts beaucoup plus importants. Une dizaine de maisons ont dû être relocalisées au début des années 2000 dans le village de Salluit (village où les problématiques de dégel du pergélisol sont les plus aigus). Cette opération, réalisée en urgence, a coûté à l'État quelques millions de dollars sans compter les conséquences sur le plan social et pour l'aménagement du territoire, des considérations qui demeurent difficiles à évaluer monétairement. D'autres événements extrêmes, nécessitant des interventions en urgence comme l'érosion des berges à Salluit provoquée par une tempête en 2010 ou l'avalanche de Kangiqsualujjuaq en 1998 ont coûté entre 500 K\$ et 30 M\$ chaque⁶⁹. On s'attend à ce que les changements climatiques augmentent la récurrence et l'intensité de tels événements et représentent les plus importants coûts des impacts des changements climatiques pour les infrastructures dans cette région. À titre d'exemple, ailleurs dans l'Arctique canadien, un important glissement de terrain provoqué par des pluies intenses a causé des dommages significatifs (perte de route, bâtiments endommagés, etc.) dont les coûts s'élèvent à plusieurs millions de dollars⁷⁰.

4.5.3 Hypothèses économiques, approches méthodologiques et analyses de sensibilité

Sur la base des discussions avec les experts, nous n'avons pas pu confirmer qu'il y aurait des coûts additionnels pour l'entretien de bâtiments ou infrastructures de transport situés en zone à risque⁷¹. Les problèmes vécus à présent avec le réchauffement récent s'expliquent plus souvent par une conception initiale défailante, une utilisation non conforme du bâtiment (surpeuplement dans les maisons) ou encore une gestion de la neige et du drainage inadéquat dans un contexte de pergélisol. En outre, l'entretien actuel est parfois déficient : par exemple, pour les bâtiments sur vérins, ce qui

⁶⁷ Fortier, LeBlanc, & Yu, 2011; Larsen et al., 2008; Beaulac & Doré, 2007; Barrette, 2010.

⁶⁸ Larsen et al., 2008; Remchein et al., 2009; Beaulac & Doré, 2007; Fortier et al., 2011.

⁶⁹ Le coût d'un village (ou de sa relocalisation) est estimé à environ 150 M\$ à 200 M\$.

⁷⁰ Voir au sujet du village de Shishmaref au cours des années 2000.

⁷¹ L'Hérault et al., 2013.

est suggéré comme fréquence d'entretien par rapport à ce qui est réellement fait n'est pas adéquat. Il est par conséquent difficile de déterminer si l'entretien effectué comme prévu permettrait de compenser les impacts des changements climatiques. Il nous est donc impossible d'attribuer des coûts additionnels en raison des changements climatiques. Aussi, l'entretien des infrastructures de transport dans les villages nordiques exige la mobilisation d'équipement lourd que ne possède pas chaque village. Ainsi, il est peu probable que la fréquence soit augmentée pour compenser les tassements associés aux changements climatiques puisque les impacts ne mettent pas en péril la sécurité des personnes.

Par conséquent, les seuls coûts que nous pouvons comptabiliser aux fins de cet exercice sont les surcoûts pour la construction des bâtiments utilisant des techniques différentes pour les fondations. De nouveaux bâtiments sur pieux ont été construits dans un village nordique. Le coût est estimé à environ 15 % de plus que la construction plus conventionnelle pour la région.

Pour l'analyse économique, nous avons pris en compte l'engagement des gouvernements fédéral et provincial de construire de nouvelles unités pour palier à la pénurie de logements. L'Office municipal d'habitation estime à près de 37 %⁷² le nombre d'unités à construire pour sortir la région d'une situation de surpeuplement dans les logements. Nous avons considéré que ce rattrapage sera complet au cours de 20 prochaines années. Nous appliquons un surcoût de 15 %⁷³ pour construire avec des techniques de construction appropriées pour le pergélisol dans un contexte de changements climatiques. Nous supposons cependant que ce coût diminue en fonction du nombre d'unités construites dans un même village (économie d'échelle) et dans le temps, au fur et à mesure que la nouvelle technique devient la norme et que les prix diminuent. Toutefois, nous ne considérons cette diminution que dans une analyse de sensibilité.

Analyses de sensibilité

Afin de vérifier la robustesse de ces choix méthodologiques, deux analyses de sensibilité sont proposées.

- Croissance démographique

Compte tenu de la forte croissance démographique au Nunavik, nous croyons pertinent de vérifier l'effet d'une augmentation du nombre de bâtiments. Cependant, compte tenu que le coût additionnel pour construire avec une technique adaptée décroît pour atteindre 0 en 2035, nous ne faisons qu'appliquer le surcoût à un nombre moyen de bâtiments de plus par année pour les 20 prochaines années.

- Taux d'actualisation

L'effet du choix du taux d'actualisation a été vérifié en appliquant des taux de 2 % et 6 %.

⁷² Enquête nationale auprès des ménages de 2011, OMHK.

⁷³ Avis d'expert et données de Makivik Construction.

4.5.4 Résultats et discussion

Le tableau présente les coûts des dommages pour les infrastructures associés au dégel du pergélisol dans un contexte de changements climatiques.

Tableau 4.9
Coûts cumulatifs du dégel du pergélisol sur
les infrastructures avec les changements climatiques
(2015-2065 en millions de \$ 2012)

| | Coûts cumulatifs selon le taux d'actualisation | | | Scénario croissance démographique |
|----------------------------|--|-----|-----|-----------------------------------|
| | 4 % | 2 % | 6 % | |
| Coûts pour le gouvernement | 64 | 76 | 54 | 217 |

Les coûts pour le gouvernement s'élèvent à 64 M\$ mais pourraient atteindre 217 M\$ avec la prise en compte de la forte croissance démographique attendue.

Les coûts pour la société ne sont pas présentés car ils ne sont pas documentés de manière systématique (il n'y a pas d'information à ce sujet).

4.5.6 Recommandations

Une très vaste analyse des coûts des impacts des changements climatiques a été effectuée pour les infrastructures publiques en Alaska⁷⁴. L'étude montre que les coûts pour les dommages causés par le dégel du pergélisol pourraient augmenter de l'ordre de 10 à 20 % en 2030 et se chiffrer entre 3,6 - 6,1 milliards de dollars puis croître à environ 5,6 – 7,6 milliards de dollars à la fin du siècle sans la mise en place de stratégies d'adaptation. Bien entendu, les différences entre les deux territoires sont très importantes : profondeur du pergélisol, type de sol, scénarios de changements climatiques, taille des villes, type d'aménagement et accès routier, nature et taille des infrastructures, etc.

L'étude peut néanmoins nous renseigner un peu sur les facteurs de multiplication qui pourraient peut-être s'appliquer au Nunavik. Une étude plus approfondie permettrait de mieux déterminer les coûts pour le Québec.

Le Nord fera face à plusieurs enjeux autres que les problèmes de pergélisol. Il serait préférable de considérer l'ensemble de ces problématiques pour une analyse de risque plus complète.

Poursuivre les études pour approfondir la compréhension des événements extrêmes et des événements cumulatifs car ce sont ces événements qui généreront les conséquences les plus graves.

Quantifier et considérer les impacts sociaux, environnementaux et économiques pour avoir un portrait plus complet des effets des changements climatiques.

⁷⁴ Larsen et al., 2008; Remchein et al., 2009.

4.6 Infrastructures et cadre bâti – érosion des côtes

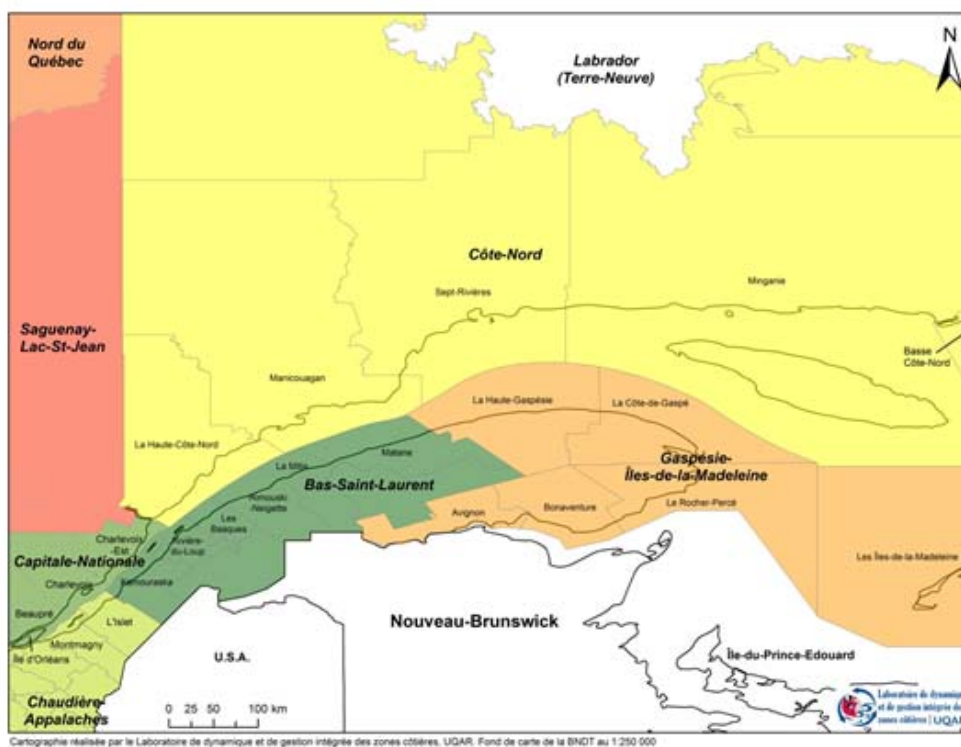
L'érosion des côtes est un enjeu majeur au Québec et affecte de manière importante les régions dans l'Est de la province. L'analyse des coûts des impacts se concentre donc sur la région maritime du Québec. Il y a eu au cours de deux dernières décennies un travail considérable pour tenter de bien décrire la problématique et commencer à identifier les options d'adaptation les plus appropriées pour composer avec les conséquences de l'érosion. Des analyses coûts-avantages de différentes options d'adaptation pour quelques sites témoins sont actuellement en cours. Préalablement à ces analyses, un volet de l'étude consiste à estimer les impacts de l'érosion et leurs coûts sur l'ensemble du Québec maritime. Ainsi, nous avons choisi de ne pas refaire cette analyse et plutôt nous appuyer sur les travaux en cours réalisé par l'UQAR. Cette section s'appuie sur l'étude menée par Bernatchez et al.⁷⁵. Le lecteur est invité à se référer à cette étude pour connaître la méthodologie détaillée.

Cette section présente les résultats de l'estimation des pertes économiques causées par l'érosion côtière. L'analyse s'appuie sur l'évolution historique et récente du littoral pour projeter des taux d'érosion intégrant le changement climatique à l'horizon 2064 et ainsi estimer les pertes économiques anticipées aux infrastructures de transport, au cadre bâti et aux terrains.

4.6.1 Régions couvertes

Le territoire couvert par l'analyse comprend les régions administratives de la Côte-Nord, du Bas-Saint-Laurent et de la Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine et s'étend sur plus de 3 250km de côtes et touche 16 MRC⁷⁶. La figure 4.5 montre le territoire d'analyse.

Figure 4.6
Carte des régions couvertes par l'analyse de l'érosion des côtes



⁷⁵ Pascal Bernatchez, 2015

⁷⁶ Bernatchez & Dugas, 2014.

4.6.2 Impacts et projections des impacts

Plusieurs études menées dans l'Est du Québec depuis les 15-20 dernières années montrent que les différentes côtes sont sensibles à certaines conditions climatiques, qui sont appelées à changer avec le réchauffement du climat⁷⁷. En fonction du type de côte, il est possible d'identifier quatre facteurs climatiques responsables de l'érosion des côtes :

- La diminution du couvert de glace, que l'on peut attribuer au réchauffement climatique, est un facteur qui contribue à modifier la dynamique côtière et à favoriser dans certains secteurs l'érosion des côtes dans l'estuaire et le golfe du St-Laurent. Le couvert de glace agit comme un agent protecteur pour la côte, notamment en période hivernale quand les tempêtes sont importantes. En plus, les glaces mobiles ont aussi tendance à causer des problèmes d'érosion.
- La hausse du niveau marin dans l'Est du Québec s'inscrit dans la tendance mondiale du réchauffement et aura aussi pour effet d'aggraver le phénomène d'érosion des côtes⁷⁸.
- Les cycles gel-dégel affectent les falaises de sédiments fins comme les côtes argileuses. Les mesures prises au cours de la période récente montrent des valeurs élevées de recul, qui devraient se maintenir dans le futur⁷⁹. On peut anticiper que l'érosion des falaises associée à cette problématique va se poursuivre avec les changements climatiques.
- Le régime des tempêtes pourrait aussi être affecté par les changements climatiques, mais le phénomène demeure difficile à quantifier.

Les études récentes montrent que la vitesse de déplacement du littoral de la période couvrant les années 90 à aujourd'hui est sans doute représentative de l'évolution future des littoraux, du moins pour l'horizon étudié (2015-2064). Cette période récente est caractérisée par un réchauffement important des températures moyennes annuelles, mais surtout des températures hivernales qui sont significatives depuis les années 80⁸⁰.

Ceci étant dit, les données sur le rythme d'évolution côtière ne sont pas disponibles pour l'ensemble des côtes du Québec maritime. Chaque taux d'érosion a donc été choisi en fonction de l'état actuel des connaissances dans chaque secteur. Le choix de la source des données qui sont utilisées pour projeter le taux d'érosion futur est fait selon l'ordre de priorité suivant⁸¹ :

- a) Présence de données d'évolution côtière récentes;
- b) Présence de données issues du réseau de suivi de l'érosion côtière du Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières (2000-2012) lorsque la densité des bornes est importante à l'intérieur d'un même segment homogène;
- c) Présence de données d'évolution côtière historiques à partir de photographies aériennes;
- d) Utilisation d'une moyenne par type de côte d'une région homogène (Ex. Baie-des-Chaleurs, Côte-Nord) des mesures de station de suivi entre 2000 et 2012.

⁷⁷ Bernatchez & Dugas, 2014); Savard et al., 2008.

⁷⁸ Bernatchez, P., Friesinger, S., Denis, C. et Jolivet, 2012.

⁷⁹ Pascal Bernatchez, 2014

⁸⁰ Bernatchez, P., Fraser, C., Friesinger, S., Jolivet, Y., Dugas, S., Drejza, S. et Morissette, 2008.

⁸¹ Pascal Bernatchez, 2015

Les taux d'érosion pour chaque segment homogène de côtes sont ensuite utilisés pour projeter le déplacement de la côte à l'horizon 2064. La section suivante explique comment les pertes économiques sont ensuite calculées à partir des reculs anticipés.

Les changements climatiques favorisent l'érosion du littoral mais il est actuellement très difficile de départager sa part relative avec les autres facteurs dans le recul global du littoral. Ainsi, aux fins de l'étude, nous considérons que la totalité de l'érosion est attribuable aux changements climatiques et considérons donc la totalité des coûts comme étant les coûts des changements climatiques.

L'Est-du-Québec est déjà aux prises avec des problématiques aiguës d'érosion associées au réchauffement déjà en cours. Les impacts de l'érosion sont les dommages aux biens meubles et immeubles, notamment les bâtiments (résidences, commerces, institutions), les routes (nationales et municipales) ainsi que certains tronçons des chemins de fer qui longent les côtes (sur la Côte-Nord et en Gaspésie). Les autres coûts pour la société (impacts psychosociaux et stress associés à la perte d'une maison, perte d'activité commerciale, pertes des services écosystémiques, etc.) ne sont pas documentés et peuvent donc difficilement être projetés.

4.6.3 Hypothèses économiques et approches méthodologiques

Les coûts économiques estimés incluent à la fois les dommages aux infrastructures de transport (routes et chemin de fer), au cadre bâti (résidences, commerces, industries et institutions) et aux terrains.

Les réseaux routiers et ferroviaires ont été segmentés par tronçons de dix mètres. Pour chacun de ces tronçons, la distance avec le rivage a été calculée⁸². Le tronçon est jugé exposé si la distance avec la côte (moins une marge de sécurité de cinq mètres⁸³) est plus petite que le recul total projeté sur la période d'étude. L'utilisation d'une marge de sécurité de cinq mètres permet d'inclure les pertes liées aux routes qui sont actuellement protégées par des structures de protection qui maintiennent le trait de côte fixe, mais qui nécessiteront un remplacement au courant de la période en raison de la problématique d'érosion, qui sévit dans le secteur.

La valeur des dommages aux infrastructures de transport est calculée en fonction du coût de remplacement par kilomètre et par type d'infrastructure (chemin de fer, autoroute, route provinciale, route municipale et chemin privé) en tenant compte de la situation géographique et des protections existantes ou nécessaires. Les montants comprennent l'ensemble des frais d'ingénierie et de surveillance de chantier (environ 15 % du coût total). Le coût total est ensuite réparti de manière égale pour chaque année.

Le calcul de l'exposition du cadre bâti a été analysé de manière semblable à celui des infrastructures de transport, à l'exception près que l'année d'exposition est également calculée. L'année d'exposition est estimée à partir de la formule suivante :

$$\text{Année d'exposition} = \frac{\text{Distance} - \text{marge de sécurité}}{\text{Taux d'érosion probable}} + 2015$$

⁸² La distance avec la côte est égale à la distance entre le point de plus près de la côte et le trait de côte.

⁸³ La marge de sécurité s'applique sur l'ensemble des types de côtes à l'exception des zones portuaires et des côtes rocheuses ignées.

Les marges de sécurité pour le cadre bâti sont de cinq mètres pour les côtes basses et de dix mètres pour les falaises. Elles reflètent le potentiel d'érosion événementielle, qui rend le bâtiment à risque. La valeur des dommages est calculée à partir du rôle d'évaluation foncière du Québec⁸⁴.

La figure ci-dessous montre comment le système d'information géographique représente l'application de la formule présentée ci-haut. On peut y voir un bâtiment résidentiel sur une falaise meuble. Au début de la période d'étude, ce bâtiment se trouve à environ 20 mètres de la côte. En soustrayant la marge de sécurité et en appliquant le taux probable pour ce segment de côte, on estime que le bâtiment sera exposé à l'horizon 2040, soit lorsque le point le plus près de la côte est touché les courbes de déplacements de la côte. Chaque ligne dans le schéma montre comment le trait de côte recule à différents horizons de temps.

Figure 4.7
Exemple d'application des taux d'érosion et des marges de sécurité



De manière générale, la perte est définie comme étant l'exposition potentielle des infrastructures à l'aléa côtier si aucune mesure d'adaptation n'est mise en place. Le coût pour le gouvernement est donc équivalent à l'allocation maximale du Ministère de la Sécurité publique lors de sinistres réels ou imminents pour des bâtiments résidentiels, soit 150 000 \$⁸⁵. Pour les bâtiments gouvernementaux, la perte attribuée au gouvernement est la valeur inscrite dans le rôle d'évaluation.

⁸⁴ Le rôle d'évaluation utilisé pour la majorité des municipalités est le rôle de 2010. Toutefois, les valeurs foncières de 2010 ont été ajustées afin de refléter les conditions de marché de 2012. La méthode d'ajustement a pris en considération le décalage des cycles d'évaluation foncière entre les municipalités du Québec de même que le décalage entre l'année du rôle et les conditions de marché.

⁸⁵ Ministère de la Sécurité publique du Québec (MSP), 2012.

Les autres coûts pour la société incluent les bâtiments privés et la perte de terrains non bâtis qui seront exposés d'ici 2064. Ces coûts sont calculés en fonction de la différence entre la valeur au rôle d'évaluation et la valeur de l'indemnisation maximale du MSP pour les bâtiments résidentiels. Par exemple, pour une résidence évaluée à 200 000 \$, la perte pour le gouvernement sera de 150 000 \$ et il y aura une perte supplémentaire pour la société de 50 000 \$.

En ce qui concerne les pertes de terrains, elles sont engagées seulement lorsque le bâtiment principal est exposé. En d'autres mots, une fois le bâtiment principal touché, le terrain est assumé non constructible et perd toute sa valeur sur le marché. Cette méthode a été adoptée par défaut en raison du manque de couverture des matrices graphiques pour l'ensemble du territoire à l'étude. Ce faisant, il est impossible de mesurer les superficies de terrain perdu annuellement avec précision.

Analyses de sensibilité

Afin de vérifier la robustesse de ces choix méthodologiques, trois analyses de sensibilité sont proposées.

- Évaluation foncière

À défaut d'avoir des prix de marché réels pour chaque bâtiment et terrain exposé, il est supposé que la valeur foncière est représentative des prix de marché. Bien qu'en vertu de la Loi sur la fiscalité municipale, les évaluateurs doivent considérer les conditions de marché dans l'établissement des valeurs foncières, il y a plusieurs facteurs qui peuvent produire une distorsion importante entre la valeur au marché et l'évaluation municipale⁸⁶. Afin de relâcher cette hypothèse, une analyse de sensibilité sur la valeur foncière est effectuée en la faisant varier de $\pm 10\%$.

- Marge de sécurité

L'utilisation des marges de sécurité pour le calcul des dommages suppose que les infrastructures sont perdues avant que la côte ne les atteigne réellement. Cette hypothèse est utilisée à la fois pour inclure les infrastructures protégées par des ouvrages de protection et pour prendre en compte l'érosion événementielle qui peut atteindre l'infrastructure à tout moment. Ceci étant dit, l'utilisation des marges pourrait également surestimer les dommages en captant par exemple des infrastructures sur de hautes falaises rocheuses présentant des taux d'érosion très faibles, mais se retrouvant dans le 10 mètres de marge de sécurité. Par conséquent, une analyse de sensibilité sur les marges de sécurité est également réalisée dans l'objectif de présenter la borne minimale des dommages anticipés à l'horizon 2064.

- Taux d'actualisation

L'effet du choix du taux d'actualisation a été vérifié en appliquant des taux de 2 % et 6 %.

⁸⁶ D'une part, un certain nombre de propriétaires se dotent de leur droit de contester l'évaluation foncière et réussissent à garder le prix de leur propriété sous la valeur du marché. D'autre part, la méthode d'arrimage des valeurs foncières au prix au marché est une approche globale qui ne prend pas en considération les conditions spécifiques des marchés immobiliers dans chaque municipalité.

4.6.4 Résultats et discussion

Le tableau suivant présente les coûts des dommages pour les infrastructures associés à l'érosion des côtes dans un contexte de changements climatiques.

Tableau 4.10
Coûts cumulatifs de l'érosion côtière sur
les infrastructures avec les changements climatiques
(2015-2065 en millions de \$ 2012)

| | Coûts cumulatifs selon le taux d'actualisation | | | Coûts selon différents scénarios | | |
|--|--|------|-----|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | 4 % | 2 % | 6 % | Scénario sans marge de sécurité | Scénario évaluation foncière -10 % | Scénario évaluation foncière +10 % |
| Coûts pour le gouvernement | 859 | 1117 | 709 | 557 | n. a. | n. a. |
| <i>Chemins de fer</i> | 49 | 70 | 37 | 36 | n. a. | n. a. |
| <i>Routes</i> | 297 | 427 | 222 | 232 | n. a. | n. a. |
| <i>Bâtiments et terrains gouvernementaux</i> | 16 | 18 | 14 | 6 | n. a. | n. a. |
| <i>Bâtiments et terrains privés</i> | 497 | 602 | 435 | 283 | n. a. | n. a. |
| Autres coûts pour la société | 132 | 159 | 116 | 71 | 105 | 161 |

Les résultats diffèrent de l'évaluation globale⁸⁷ car les méthodes de calcul des dommages pour les bâtiments dans la présente étude étaient centrées sur les coûts pour le gouvernement plutôt que sur les valeurs foncières tel qu'expliqué plus haut.

D'abord, en ce qui concerne les coûts pour le gouvernement, les dommages à l'horizon 2064 s'approchent de 900 M\$, dont 49 M\$ pour les infrastructures ferroviaires et près de 300 M\$ pour les routes. Le plus gros poste de coûts reste cependant les dommages au cadre bâti qui dépasse les 500 M\$, répartis entre les bâtiments privés (497 M\$) et les bâtiments gouvernementaux (16 M\$).

Les autres coûts pour la société comprennent la différence entre l'indemnisation du gouvernement et la valeur foncière des bâtiments, de même que la perte des terrains non bâtis. Ces coûts s'élèvent à 132 M\$.

Le tableau suivant présente quelques données sur les infrastructures exposées d'ici 2065. Près de 300 kilomètres de routes seront exposés à terme, dont 140 kilomètres de route provinciales et d'autoroutes directement. En ce qui concerne les chemins de fer, plus de 35 kilomètres sont à risque. Finalement, pour les bâtiments et terrains, seulement 1,5 % des bâtiments exposés sont gouvernementaux alors que la majeure partie des dommages affectera les immeubles privés.

⁸⁷ Pascal Bernatchez, 2015

Tableau 4.11
 Infrastructures affectées par l'érosion des côtes d'ici 2065 (avec marge de sécurité)

| Types d'infrastructures | Nombre d'infrastructures |
|---------------------------|--------------------------|
| Routes | 294 km |
| Provinciales et autoroute | 140 km |
| Municipales et privées | 153 km |
| Chemin de fer | 26 km |
| Bâtiments gouvernementaux | 101 |
| Bâtiments privés | 5 289 |
| Terrains non bâtis | 1 310 |

Quant aux analyses de sensibilité, outre le taux d'actualisation, on peut voir que la marge de sécurité joue un rôle important dans l'estimation des dommages totaux aux infrastructures. Cela s'explique aisément par le fait que plusieurs infrastructures de transport et bâtiments se trouvent derrière des structures de protection qui bloquent l'érosion. Ces sections ne présentent donc pas de taux de recul historiques, empêchant du même coup de projeter un taux de recul probable. Toutefois, dans un horizon de 50 ans, ces structures devront faire l'objet de remise en état et/ou de reconstruction. Il est donc irréaliste de ne pas considérer de dommages pour ces secteurs.

L'analyse de sensibilité sur les valeurs de l'évaluation foncière n'a que très peu d'impact sur les dommages totaux étant donné qu'elle n'intervient que sur les dommages excédentaires au 150 000 \$ d'indemnisation du MSP.

4.6.5 Recommandations

Pour de nombreuses raisons, les dommages calculés dans le cadre de cette présente analyse devraient être considérés comme une borne minimale des coûts économiques associés aux aléas côtiers étant donné l'hypothèse de statu quo, tant dans le développement économique des zones à risques que dans la mise en place de mesures d'adaptation.

Premièrement, le calcul actuel des pertes de terrain capte seulement les pertes associées à des terrains pour lesquels le bâtiment principal sera exposé. Plus simplement, aucune perte n'est calculée pour un terrain ayant été érodé par la mer, mais sur lequel il n'y a pas de bâtiment ou pour lequel le bâtiment principal n'a pas été exposé. Considérant les avancées en termes d'informatisation des matrices graphiques, les prochaines estimations devront donc s'assurer d'utiliser toute l'information disponible pour calculer avec précision les pertes annuelles de superficie de terrain.

Deuxièmement, la présente étude s'est concentrée sur l'érosion côtière, laissant de côté les problématiques de submersion marine qui sévissent à plusieurs endroits sur le territoire. Pourtant, l'accentuation des problématiques de submersion pourrait être autant dommageable que l'érosion dans un avenir avec changement climatique à mesure que le niveau de la mer va s'élever, que le couvert de glace va diminuer et que le régime des tempêtes sera modifié. D'ailleurs, à cet effet, la

TRNÉE évalue que les changements climatiques pourraient exacerber les dommages causés par la submersion marine de plus de 50 M\$ par année au Québec (TRNÉE, 2011). Dans cette optique, les prochaines études devront intégrer à la fois les problématiques d'érosion et de submersion de même que leur interaction.

Finalement, le calcul des dommages matériels aux infrastructures ne capte qu'une fraction des impacts anticipés liés aux aléas côtiers. Mentionnons notamment :

- Les impacts sociaux : Insécurité, danger pour la vie et la santé humaine, modification du paysage, atteinte au patrimoine, perturbation de l'usage récréatif du littoral, etc.
- Les impacts environnementaux : Destruction d'habitats, perturbation de services écosystémiques, salinisation des sources d'eau fraîche, etc.
- Les impacts économiques : Dommages aux réseaux publics de distribution, modification d'achalandage touristique, congestion routière, modification des conditions du marché immobilier, etc.

L'ajout de ces considérations pourrait augmenter substantiellement le coût des dommages liés aux aléas côtiers dans un avenir avec changement climatique. Une quantification de ces impacts permettrait également d'évaluer la vulnérabilité des communautés côtières face aux aléas côtiers dans un contexte de changements climatiques.

PARTIE III

5. Conclusion et recommandations générales

Ouranos a reçu le mandat d'identifier et de quantifier les impacts attribuables aux changements climatiques sur la santé et les infrastructures et d'en évaluer les coûts à la fois pour l'État et pour l'ensemble de la société. Il s'agit d'une première étude de courte durée visant à dégager une première évaluation des ordres de grandeur en jeu.

En raison des données disponibles et de la durée du mandat, l'analyse s'est concentrée sur quelques enjeux spécifiques, soit :

- Santé : chaleur, zoonoses (maladie de Lyme et Virus du Nil occidental) et pollen.
- Infrastructures : érosion des côtes, dégel du pergélisol, inondations.

L'étude a été réalisée à partir d'une revue de la littérature pertinente pour l'analyse économique de chaque secteur, ainsi que des banques de données mises à la disposition de l'équipe. Les hypothèses de travail ont été validées lors de réunions avec des experts thématiques. En ce qui concerne l'enjeu de l'érosion des côtes, la méthode diffère légèrement, car une importante étude d'évaluation globale était déjà en cours de réalisation qu'il a été possible d'utiliser pour répondre aux objectifs de la présente étude en apportant seulement quelques modifications.

Les analyses considèrent l'horizon des cinquante prochaines années et un scénario socio-économique de statu quo, c'est-à-dire toutes choses étant égales par ailleurs (pas de croissance ou de changements démographique, économique, politique, etc.). Nous supposons que toutes les lois et règlements existants sont appliqués, comme par exemple, pas de construction dans les zones à risque déjà connues. Aucune nouvelle mesure d'adaptation n'est considérée, mais celles qui sont déjà en place (notamment dans le secteur de la santé) sont intégrées dans les analyses. Tous les coûts associés aux plans d'urgence et aux interventions en cas d'événement extrême sont aussi comptabilisés dans l'analyse. Finalement, pour vérifier l'impact des différentes hypothèses, un certain nombre d'analyses de sensibilité ont été effectuées lorsque pertinentes (vieillesse de la population, croissance démographique, valeur foncière, etc.).

Le tableau suivant présente un résumé des résultats clés. Tous les résultats sont présentés en dollars constants de 2012 et actualisés⁸⁸ à 4 % sur toute la période. Le tableau suivant résume les coûts pour le gouvernement pour les secteurs à l'étude.

⁸⁸ « L'actualisation est une opération mathématique qui permet de comparer des valeurs économiques qui s'échelonnent dans le temps : Il s'agit de ramener la valeur future d'un bien ou d'une dépense à une valeur actuelle. » (CIRANO, 2007)

Tableau 4.12
Résumé des résultats clés

| Secteur | Coûts pour le gouvernement (en M\$) | Informations additionnelles |
|---|-------------------------------------|---|
| Santé | | |
| Chaleur | 246 à 515 | Plus de 20 000 décès additionnels causés par l'augmentation de la température dans les 50 prochaines années. |
| Zoonoses | | |
| <i>Maladie de Lyme</i> | 39 à 94 | La détection tardive de la maladie de Lyme font presque tripler les coûts pour le gouvernement. |
| <i>Virus du Nil Occidental</i> | 35 à 38 | Plus de 600 décès additionnels causés par l'augmentation du VNO dans les 50 prochaines années. |
| Pollen | 289 à 428 | Le coût cumulé actualisé du pollen sans changements climatiques est déjà de 3,4 G\$ pour les 50 prochaines années. |
| Infrastructures | | |
| Érosion des côtes | 557 à 859 | Environ 5 300 bâtiments, plus de 1 300 terrains non bâtis, près de 300 km de routes et plus de 25km de chemins de fer perdus dans les 50 prochaines années. |
| Dégel du pergélisol | 64 à 217 | Les coûts les plus importants dans le Nord sont liés aux événements extrêmes, indépendamment de la présence du pergélisol. |
| Inondations | -76 à +171 | Les inondations coûtent environ 70 M\$ par année et constituent déjà un problème important. |
| <p><i>Notes: Résultats valides pour les hypothèses retenues. Le niveau de confiance est variable selon les enjeux analysés. Les autres coûts pour la société ne sont pas indiqués dans le tableau car l'information n'était pas toujours disponible (n'existe pas ou n'est pas accessible). D'autres indicateurs quantifiés comme le nombre de pertes de vie prématurées ou le nombre de bâtiments à risque servent à illustrer la nature des coûts pour la société que l'État ne couvre pas.</i></p> | | |

Ces résultats sont valides pour les hypothèses retenues et le niveau de confiance est très variable. À titre d'exemple, les travaux sur l'érosion des côtes sont le fruit d'une vingtaine d'années d'efforts en recherche et développement pour bien étudier le phénomène et documenter les impacts. À l'inverse, en ce qui concerne les inondations, l'état des connaissances permet encore difficilement de déterminer comment les changements climatiques sont susceptibles d'affecter le régime des inondations et ne permet pas de quantifier avec un niveau élevé de confiance l'ampleur des dommages en fonction des changements attendus comme le montre le coût minimal et maximal pour le gouvernement. Dans l'ensemble, l'équipe du projet considère en fonction des hypothèses utilisées que ces valeurs demeurent conservatrices (basses).

Les principaux constats de l'analyse sont que :

- les coûts sans changements climatiques sont déjà passablement élevés pour l'ensemble des enjeux;
- en ce qui concerne l'impact des changements climatiques, les coûts pour la santé seraient particulièrement élevés, notamment pour la chaleur et le pollen;
- de même, les coûts de l'érosion côtière seraient relativement élevés – plusieurs milliers de bâtiments et quelques centaines de kilomètres de routes et de chemin de fer sont à risque au cours des 50 prochaines années;
- les coûts les plus importants pour les régions nordiques semblent davantage liés aux événements extrêmes, car une conception appropriée et un entretien régulier pourraient compenser les effets du dégel du pergélisol;
- les inondations coûtent déjà en moyenne 70 M\$/année, avec des variations allant de 0 \$ à 182 M\$/an sur la base des données historiques.

L'étude permet enfin de faire quelques constats et recommandations plus généraux :

Pour la mise en place de l'adaptation :

a) Intérêt de la prévention

L'étude montre clairement l'intérêt des actions de prévention pour se préparer à faire face aux impacts des changements climatiques, notamment en santé et en matière d'aménagement du territoire. L'ampleur de certains impacts peut être grandement réduite par des efforts de prévention comme la sensibilisation, la formation et le suivi (surveillance).

La prévention s'avère également une manière très efficace de réduire les coûts, à la fois associés aux changements climatiques mais aussi les coûts déjà élevés sans les effets des changements climatiques.

b) Plusieurs mesures d'adaptation rentables permettent aussi d'atteindre différents objectifs

Plusieurs mesures d'adaptation auront pour effet de rendre nos sociétés plus résilientes pour faire face aux changements climatiques et permettent d'atteindre plusieurs autres objectifs de développement, par exemple le développement durable, l'efficacité énergétique, la réduction de la consommation et de production d'eau potable, etc. Parmi celle-ci, plusieurs de ces options d'adaptation sont également très rentables et constituent ce qu'on classifie souvent comme des mesures sans regret que la société dans son ensemble a tout intérêt à mettre en œuvre.

Par ailleurs, plusieurs éléments qui constituent déjà des problématiques importantes dans les conditions climatiques actuelles risquent de s'aggraver avec les changements climatiques. La marge dont on dispose actuellement pour faire face aux extrêmes, par exemple (comme les facteurs de sécurité appliqués dans les projets d'ingénierie) ne sera pas suffisante. S'il a été « acceptable » de négliger un peu l'entretien d'infrastructures ou certains enjeux de santé, ce le sera de moins en moins

avec les changements climatiques. Par conséquent, il y a un intérêt à mettre en place des mesures d'adaptation préventives, car celles-ci ont souvent pour effet de contribuer à diminuer l'ampleur des problèmes existants.

Une stratégie solide d'adaptation peut en effet permettre de réduire les coûts, y compris ceux qui ne sont pas liés aux changements climatiques (comme pour les enjeux de santé ou en ce qui concerne les inondations). Devant la perspective d'accroissement des coûts gouvernementaux liés à l'impact des changements climatiques, c'est toute la capacité globale de payer de l'État et de la société qui est en question, capacité qui est déjà sollicitée de manière importante. Dans un contexte global où les changements climatiques pourraient impacter à la hausse les coûts dans une grande diversité de domaines, la capacité d'y faire face dans un domaine donné ne peut évidemment exclure cette conjoncture globale. Dans ce contexte, les mesures d'adaptation préventives prennent toute leur importance, surtout compte tenu des incertitudes liées à l'ampleur même des impacts attendus.

c) Application des lois et règlements existants

Une des principales mesures d'adaptation consiste à appliquer les lois et règlements existants pour cesser d'augmenter le niveau de risque ou la population exposée. Plusieurs dispositions existent pour éviter de construire de nouvelles infrastructures dans les zones à risque. Toutefois, l'application de ces lois aura des conséquences, notamment sur le plan fiscal, car les zones à risque seront soustraites du territoire qu'une municipalité peut développer (et donc à partir duquel elle peut générer des revenus).

Pour améliorer de futures analyses économiques :

d) Bien identifier les objectifs des futures analyses économiques

En fonction des besoins, les analyses économiques peuvent s'avérer des outils d'aide à la décision très utiles. Il convient cependant de rappeler qu'il s'agit d'une analyse qui renseigne sur une partie des enjeux mais d'autres considérations peuvent justifier des actions et investissements en matière d'adaptation aux changements climatiques (acceptabilité sociale; questions d'équité; effets sur l'environnement en l'absence d'actions; enjeux politiques; etc.).

e) Collecte de données plus systématique

Si l'intention est de poursuivre et réaliser certaines analyses, il serait important de commencer le plus rapidement à colliger les données à ces fins. Les changements climatiques se feront sentir dans le temps, mais il est important, dès maintenant, d'organiser et de structurer l'information puis de bien planifier sa mise à jour afin d'y avoir accès en cas de besoin.

L'étude a bien mis en évidence l'importance et la valeur de l'information additionnelle sur les sujets à l'étude. Il en revient aussi une question de gouvernance pour la production, la gestion et le partage des données. Le site d'accès aux données du gouvernement du Québec semble une avenue avec beaucoup de potentiel.

Toutefois, il importe aussi de bien définir les besoins en matière d'analyse, car ce sont ces besoins qui détermineront ultimement les données précises requises. Bien qu'il existe plusieurs banques de données au sein de l'appareil gouvernemental, toutes n'ont pas été structurées en vue d'une analyse économique, rendant l'exercice plus difficile et obligeant à formuler plusieurs hypothèses pour pouvoir les utiliser. Il serait d'un intérêt de définir à l'avance les analyses souhaitées pour identifier les besoins puis de procéder à leur collecte de manière systématique.

f) Documenter les coûts actuels

Pour certains enjeux, les coûts actuels des mesures pouvant contribuer à réduire les risques ne sont pas connus. C'est le cas notamment pour le déploiement des plans de chaleur accablante. Dans ce contexte, il serait d'un intérêt certain de documenter de manière plus systématique les coûts pour pouvoir ensuite les projeter pour déterminer comment ils évoluent avec les changements climatiques.

g) Banques de données existantes à mieux exploiter

À l'inverse, le gouvernement collige déjà beaucoup de données qui ne sont pas exploitées à leur plein potentiel. Il y a probablement plusieurs analyses possibles sur la base des données existantes, notamment pour bien analyser les coûts historiques et possiblement les lier aux changements climatiques récents. Par manque de ressources (humaines, temporelles, financières), ces données demeurent peu utilisées, alors que plusieurs analyses pourraient s'avérer utiles pour comprendre comment les changements climatiques affecteront certaines populations ou régions. Au-delà de la donnée brute dont l'utilisation est limitée aux groupes et individus qui ont la capacité et les ressources pour la traiter, les données bénéficiant d'un certain degré de traitement et de classification les rendent plus informatives et interprétables, les rendant de ce fait plus utiles pour plusieurs applications potentielles, dont de futures analyses économiques.

h) Considérer les coûts marchands et non marchands

La présente analyse n'a considéré que les coûts marchands et ceux pour lesquels nous avons des données. Dans les faits, les changements climatiques affecteront aussi les populations et les écosystèmes naturels. De futures analyses devraient tenter de comptabiliser ces coûts non marchands, car ils se traduisent aussi en des coûts pour le gouvernement et pour la société (perte de services écologiques, enjeux d'équité intergénérationnelle, etc.).

RÉFÉRENCES

- Adam-Poupart, A., Smargiassi, A., Busque, M. A., Duguay, P., Fournier, M., Zayed, J., & Labrèche, F. (2014). Summer outdoor temperature and occupational heat-related illnesses in Québec (Canada). *Environmental Research*, *134*, 339–344.
- Agence de la santé publique du Canada (ASPC). (2014). RMTC Volume 40-10, 15 mai 2014 - Agence de la santé publique du Canada. *RMTC*, *40(10)*, 190–213. Retrieved from http://www.phac-aspc.gc.ca/publicat/ccdr-rmtc/14vol40/dr-rm40-10/assets/pdf/14vol40_10-fra.pdf
- Allard, M., Fortier, R., Sarrazin, D., Calmels, F., Fortier, D., Chaumont, D., ... Tarussov, A. (2007). *L'impact du réchauffement climatique sur les aéroports du Nunavik : caractérisation du pergélisol et caractérisation des processus de dégradation des pistes (Rapport scientifique final pour Ouranos)*. Québec: Centre d'études Nordiques. Retrieved from http://www.ouranos.ca/media/publication/13_Rapport_Allard2_nord_2007.pdf
- Allard, M., Lemay, M., Barrett, M., Sheldon, T., & Brown, R. (2012). *De la science aux politiques publiques au Nunavik et au Nuvatsiavut : Synthèse et recommandations. Une étude intégrée d'impact régional des changements climatiques et de la modernisation*. (M. Allard & M. Lemay, Eds.). Québec: ArcticNet Inc. Retrieved from http://www.arcticnet.ulaval.ca/pdf/media/science_to_policy-fr.pdf
- Aucott, J., Morrison, C., Munoz, B., Rowe, P. C., Schwarzwald, A., & West, S. K. (2009). Diagnostic challenges of early Lyme disease: lessons from a community case series. *BMC Infectious Diseases*, *9*, 79. <http://doi.org/10.1186/1471-2334-9-79>
- Barrette, C. (2010). CARL BARRETTE SIMULATIONS NUMÉRIQUES ET PROJECTIONS DES VARIATIONS DE L'ÉPAISSEUR DE LA COUCHE ACTIVE À SALLUIT JUSQU' EN 2025.
- Beaulac, I., & Doré, G. (2007). Impact de la fonte du pergélisol sur les infrastructures de transport aérien et routier au Nunavik et adaptation, 1–49. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Impact+de+la+fonte+du+pergélisol+sur+les+infrastructures+de+transport+aérien+et+routier+au+Nunavik+et+adaptation#0>
- Bélanger, D., Abdous, B., Hamel, D., & Valois, P. (2013). Étude des vulnérabilités à la chaleur accablante: Problèmes méthodologiques et pratiques rencontrés. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Étude+des+vulnérabilités+à+la+chaleur+accablante+:+problèmes+méthodologiques+et+pratiques+rencontrés#0>
- Bélanger, D., Gosselin, P., Valois, P., & Abdous, B. (2014). Perceived adverse health effects of heat and their determinants in deprived neighbourhoods: a cross-sectional survey of nine cities in Canada. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *11(11)*, 11028–53. <http://doi.org/10.3390/ijerph111111028>

- Bernatchez, P. (2014). Impacts des changements climatiques sur l' érosion des falaises de l' estuaire maritime et du golfe du.
- Bernatchez, P. (2015). Évaluation économique des impacts potentiels de l' érosion des côtes du Québec maritime dans un contexte de changements climatiques.
- Bernatchez, P., & Dugas, S. (2014). *Évaluation économique des impacts potentiels de l' érosion des côtes du Québec maritime dans un contexte de changements climatiques : rapport méthodologique (Version préliminaire)*.
- Bernatchez, P., Fraser, C., Friesinger, S., Jolivet, Y., Dugas, S., Drejza, S. et Morissette, A. (2008). *Sensibilité des côtes et vulnérabilité des communautés du golfe du Saint-Laurent aux impacts des changements climatiques*. (Rapport de). Université du Québec à Rimouski.
- Bernatchez, P., Friesinger, S., Denis, C. et Jolivet, Y. (2012). *Géorisques côtiers, vulnérabilité et adaptation de la communauté de Pessamit dans un contexte de changements climatiques*. (Rapport de recherche remis au Conseil tribal Mamuitun et au Ministère des Affaires autochtones et Développement du Nord Canada, Ed.). Université du Québec à Rimouski.
- Bonneau, V. (2007). *Étude d'impact stratégique du Plan d'intervention gouvernemental de protection de la santé publique contre le virus du Nil occidental*. Zhurnal Eksperimental'noi i Teoreticheskoi Fiziki. Québec. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:No+Title#0>
- Casati, B., Yagouti, A., & Chaumont, D. (2013). Regional Climate Projections of Extreme Heat Events in Nine Pilot Canadian Communities for Public Health Planning. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 52(12), 2669–2698. <http://doi.org/10.1175/JAMC-D-12-0341.1>
- Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ). (2013). *Atlas hydroclimatique du Québec méridional: Impacts des changements climatiques sur les régimes de crue, d'étéage et d'hydraulicité à l'horizon 2050*. Québec: Centre d'expertise hydrique du Québec. Retrieved from http://www.cehq.gouv.qc.ca/hydrometrie/atlas/atlas_hydroclimatique.pdf
- Charron, I. (2014). *A guidebook on climate scenarios: using climate information to guide adaptation research and decisions*.
- Doyon, B., Bélanger, D., & Gosselin, P. (2006). Effets du climat sur la mortalité au Québec méridional de 1981 à 1999 et simulations pour des scénarios climatiques futures, 95. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Effets+du+climat+sur+la+mortalité+au+Québec+méridional+de+1981+à+1999+et+simulations+pour+des+scénarios+climatiqu+es+futurs#0>
- Doyon, B., Bélanger, D., & Gosselin, P. (2008). The potential impact of climate change on annual and seasonal mortality for three cities in Québec, Canada. *International Journal of Health Geographics*, 7, 23. <http://doi.org/10.1186/1476-072X-7-23>
- Félio, G. (2012). *PIEVC Case Studies: Codes, Standards and Related Instruments (CSRI) Review for Water Infrastructure and Climate Change*. Retrieved from http://www.pievc.ca/e/2012_PIEVC_CSRI_Water_report_Final.pdf

- Ferland, A. (2006). *Guide de l'analyse avantages-coûts des projets publics en transport - Partie 1 : Précis méthodologique*. Gouvernement du Québec, ministère des Transports du Québec.
- Fleury, M., & Ogden, N. H. (2014). *Projections for the future burden of Lyme disease in Canada*.
- Fortier, R., LeBlanc, A.-M., & Yu, W. (2011). Impacts of permafrost degradation on a road embankment at Umiujaq in Nunavik (Quebec), Canada. *Canadian Geotechnical Journal*, 48(5), 720–740. <http://doi.org/10.1139/t10-101>
- Gouvernement du Québec. (2008). *Plan d'action 2006-2012 : Le Québec et les changements climatiques, Un défi pour l'avenir*. Québec: Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de Parcs. Retrieved from http://www.mddep.gouv.qc.ca/changements/plan_action/2006-2012_fr.pdf
- Gouvernement du Québec. (2013). *Rapport d'évènement : Inondations printanières Montérégie 2011*. Québec: Direction générale de la sécurité civile et de la sécurité incendie, Ministère de la sécurité publique.
- Gouvernement du Québec. (2014). Comparaisons Intergouvernementales. Retrieved from <http://www.stat.gouv.qc.ca/docs-hmi/statistiques/economie/comparaisons-economiques/interprovinciales/chap13.pdf>
- Harrigan, R. J., Thomassen, H. a, Buermann, W., & Smith, T. B. (2014). A continental risk assessment of West Nile virus under climate change. *Global Change Biology*, 20(8), 2417–25. <http://doi.org/10.1111/gcb.12534>
- Institut Canadien d'information sur la santé. (2014). *Tendances des dépenses nationales de santé. 1975 à 2014*. Retrieved from http://www.cihi.ca/web/resource/fr/nhex_2014_report_fr.pdf
- Institut de Conseil et d'Études en développement durable (ASBL). (2014). *L'identification et l'évaluation des coûts de l'inaction face au changement climatique en Wallonie Partie 1 – Les coûts de l'inaction*.
- Institut de la statistique du Québec (ISQ). (2014). *Perspectives démographiques du Québec et des régions, 2011-2061*. Gouvernement du Québec, Institut de la statistique du Québec.
- Institut national de santé publique du Québec (INSPQ). (2010). Inondations - Des catastrophes coûteuses. Retrieved from <http://www.monclimatmasante.qc.ca/inondations.aspx>
- Institut national de santé publique du Québec (INSPQ), & CERFO. (2012). Ilots de chaleur/fraicheur urbains et température de surface. Retrieved from <http://www.donnees.gouv.qc.ca/?node=/donnees-details&id=2f4294b5-8489-4630-96a1-84da590f02ee>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). Summary for Policymakers. In C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, ... L. L. White (Eds.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1–32). Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA: Cambridge

University Press. Retrieved from http://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/IPCC_WG2AR5_SPM_Approved.pdf

L'Hérault, E., Allard, M., Fortier, D., Carbonneau, A., Doyon-Robitaille, J., Lachance, M.-P., ... Lemieux, C. (2013). *Production de cartes des caractéristiques du pergélisol afin de guider le développement de l'environnement bâti pour quatre communautés du Nunavik (Rapport scientifique final pour Ouranos)*. Québec. Retrieved from http://www.ouranos.ca/media/publication/172_RapportLHAraultetal2013.pdf

Larsen, P., Goldsmith, S., Smith, O., Wilson, M., Strzepak, K., Chinowsky, P., & Saylor, B. (2008). *Estimating future costs for Alaska public infrastructure at risk from climate change. ... Environmental Change* (Vol. 18). Anchorage, Alaska. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378008000216>

Lebeau, M., Duguay, P., & Boucher, A. (2014). *Les coûts des lésions professionnelles au Québec, 2005-2007 (version révisée)* (Vol. 2007). Retrieved from <ftp://ftp.grenoble.cstb.fr/public/.../quenard-TERRE-CRUE/87CahiersCSTB.pdf>

Ministère de la Santé et des Services sociaux (MSSS). (2011). *La rhinite allergique au Québec*. Québec: Direction des communications. Retrieved from <http://publications.msss.gouv.qc.ca/acrobat/f/documentation/2011/11-202-04W.pdf>

Ministère de la Sécurité publique du Québec (MSP). (2012). *Programme général d'aide financière lors de sinistres réels ou imminents*.

Montmarquette, C., & Scott, I. (2007). *Taux d'actualisation pour l'évaluation des investissements publics au Québec*. Retrieved from <http://secure.cirano.qc.ca/pdf/publications/2007RP-02.pdf>

Mpelasoka, F. S., & Chiew, F. H. S. (2009). Influence of Rainfall Scenario Construction Methods on Runoff Projections. *Journal of Hydrometeorology*, 10(5), 1168–1183. <http://doi.org/10.1175/2009JHM1045.1>

Ogden, N. H., St-Onge, L., Barker, I. K., Brazeau, S., Bigras-Poulin, M., Charron, D. F., ... Thompson, R. A. (2008). Risk maps for range expansion of the Lyme disease vector, *Ixodes scapularis*, in Canada now and with climate change. *International Journal of Health Geographics*, 7, 24. <http://doi.org/10.1186/1476-072X-7-24>

Ouranos. (2014). *Vers l'adaptation. Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec* (2014th ed.). Montréal, Québec: Ouranos.

Pampalon, R., & Guy, R. (2000). Chronic Diseases in Canada. *Santé Canada*, 21(3). Retrieved from http://www.researchgate.net/profile/Larry_Chambers/publication/13259110_Critical_appraisal_of_the_health_research_literature_prevalence_or_incidence_of_a_health_problem/links/02e7e51af8a9d37f70000000.pdf

Remchein, D., Fortier, D., Dore, G., Stanley, B., Walsh, R., Reimchen, D., & Guy, D. (2009). Cost and constructability of permafrost test sections along the Alaska Highway, Yukon. *Proceedings of Transport* Retrieved from

<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Cost+and+Constructability+of+Permafrost+Test+Sections+Along+the+Alaska+Highway,+Yukon#0>

Risky business. (2014). *RISKY BUSINESS : The Economic Risks of Climate Change in the United States*.

Savard, J.-P., Bernatchez, P., Morneau, F., Saucier, F., Gachon, P., Senneville, S., ... Jolivet, Y. (2008). *Étude de la sensibilité des côtes et de la vulnérabilité des communautés du golfe du Saint-Laurent aux impacts des changements climatiques: Synthèse des résultats (Rapport scientifique final pour Ouranos)*. Montréal: Ouranos.

Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie (TRNEE). (2011). *Le prix à payer: répercussions économiques du changement climatique pour le Canada*.

Tardiff, I. (2008). *Portrait des coûts de santé associés à l'allergie au pollen de l'herbe à poux année 2005 (Rapport d'enquête produit par la Direction de santé publique de la Montérégie pour la Table québécoise)*. Retrieved from <http://extranet.santemonteregie.qc.ca/depot/document/2516/NUISANCE-POUX-Coutssante-2005.pdf>

Ziska, L. H., & Beggs, P. J. (2012). Anthropogenic climate change and allergen exposure: The role of plant biology. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology*, *129*(1), 27–32. <http://doi.org/10.1016/j.jaci.2011.10.032>

Ziska, L., Knowlton, K., Rogers, C., Dalan, D., Tierney, N., Elder, M. A., ... Frenz, D. (2011). Recent warming by latitude associated with increased length of ragweed pollen season in central North America. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *108*(10), 4248–51. <http://doi.org/10.1073/pnas.1014107108>

ANNEXE I PRÉSENTATIONS DES GROUPES DE DISCUSSIONS ET RÉSUMÉ DES DISCUSSIONS



Table de discussion d'experts sur les impacts des CC Secteur Santé

Thème : Chaleur

Date et lieu : 7 octobre 2014 ; Salle A – 550 Sherbrooke ouest, 19^e étage, Tour ouest

Ordre du jour de la rencontre

Accueil et contexte (C. Larrivée) – 10 min.

- 1) Déroulement de la rencontre
- 2) Présentation du contexte et des objectifs de la rencontre
- 3) Présentation de tous (tour de table)

Bloc 1. Les impacts des CC pour le thème Santé - chaleur (N. Sinclair) – 20-25 min

- 4) Brève description de la revue de littérature (principales sources et types d'informations recherchés)
- 5) Présentation résumant les hypothèses sur lesquelles vont reposer l'analyse économique (impacts des CC et leur projection tirés de la littérature)

Bloc 2. Discussion avec les experts pour valider hypothèses (animation - Pierre Gosselin) – 120 min.

Remerciements, prochaine étape et mots de la fin (C. Larrivée)

Liste des participants

| | |
|----------------------|------------------------|
| Stéphane Perron | DSP – Montréal |
| Karine Price | DSP – Montréal |
| Andréanne Roy | DSP – Montréal |
| Ray Bustinza | INSPQ |
| Abderrahmane Yagouti | Santé Canada |
| Audrey Smargiassi | Université de Montréal |



CONSORTIUM SUR LA CLIMATOLOGIE RÉGIONALE
ET L'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

www.ouranos.ca

Groupe de discussion pour l'étude d'impacts des changements climatiques sur la santé au Québec

7 octobre 2014

1



Mandat

www.ouranos.ca

- Documenter les impacts des changements climatiques et leurs coûts pour deux secteurs jugés prioritaires:
 - Infrastructures (inondations, dégel du pergélisol et érosion de la zone côtière)
 - Santé (chaleur, zoonoses et pollens)
- Étude partielle:
 - tous les impacts ni tous les secteurs sont considérés
 - en fonction de la disponibilité des données
 - les résultats ne seront pas additionnés (pas de chiffre agrégé mais plutôt une estimation par secteur spécifique)
- Équipe de projet

3



Déroulement de la rencontre

www.ouranos.ca

9h30 Accueil et contexte (C. Larrivée)

Déroulement de la rencontre

Présentation du contexte et des objectifs de la discussion

Tour de table

9h45 Bloc 1. Les impacts des CC pour le thème Santé - chaleur (N. Sinclair)

Brève description de la revue de littérature (principales sources et types d'informations recherchés)

Présentation résumant les hypothèses sur lesquelles vont reposer l'analyse économique (impacts des CC et leur projection tirés de la littérature)

10h15 Bloc 2. Discussion pour valider les hypothèses (animation – P. Gosselin)

Remerciements, prochaines étapes et mot de la fin (C. Larrivée)

2



Méthode et paramètres de l'étude

www.ouranos.ca

- Revue de la littérature sous l'angle de l'analyse économique
- Validation de certaines hypothèses sur la base des groupes de discussion
- Analyse économique
 - en dollars constants et escompté sur toute la période
- Horizon 2015-2065
- Scénario socio-économique statu quo:
 - différentes analyses de sensibilité seront effectuées
- Recommandations pour des pistes à explorer comme suite à l'étude

4



Groupe de discussion pour l'étude d'impacts des changements climatiques sur la santé au Québec

Thème Chaleur/(Froid)

Nathalie Sinclair-Desgagné

7 octobre 2014

1



Impacts sur la santé / Chaleur

- Notre périmètre d'étude comprend des impacts directs sur la santé...
 - Mortalité estivale
 - Morbidité estivale
 - Consultations pour santé physique
 - Hospitalisations
 - Admissions à l'urgence
 - Transports en ambulance
 - Appels à Info-Santé
 - Consultations pour santé mentale
- Ainsi que des impacts indirects
 - Diminution de la productivité de travail

3



Plan de présentation

- Impacts des changements climatiques sur la santé (Chaleur)
- Principales sources
- Hypothèses
- Tableau Comparatif
- Synthèse pour discussion

2



Principales sources

- Méthodologies générales :
 - Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie (2011). Le prix à payer : répercussions économiques du changement climatique pour le Canada : TRNEE
- Mortalité estivale :
 - Doyon, B., Bélanger, D., Gosselin, P. (2006). Effets du climat sur la mortalité au Québec méridional de 1981 à 1999 et simulations pour des scénarios climatiques futurs. Institut national de santé publique du Québec, Québec. Disponible au http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/536-effetsclimatmortalite_quebec.pdf
 - Doyon B., Bélanger D., Gosselin P. (2008). The potential impact of climate change on annual and seasonal mortality for three cities in Quebec, Canada. International Journal of Health Geographics, 2008, 7:23. En ligne au : <http://www.ij-healthgeographics.com/content/7/1/23>
 - Benmarhnia T et al. (2014): <http://ehp.niehs.nih.gov/wp-content/uploads/advpub/2014/7/ehp.1306954.pdf> Cette étude inclut des intervalles de confiance autour des estimés de risque relatif, pour Montréal seulement.
- Morbidité estivale :
 - Lebel, G., & Bustinza, R. (2011). Surveillance des impacts sanitaires des vagues de chaleur extrême au Québec : Bilan de la saison estivale 2010. Québec: Institut national de santé publique du Québec. Retrieved from http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/1275_SurImpactsChaleurBilanEte2010.pdf
 - Lebel, G., & Bustinza, R. (2012). Surveillance des impacts sanitaires des vagues de chaleur extrême au Québec : Bilan de la saison estivale 2011 (p. 32). Québec: Institut national de santé publique du Québec. Retrieved from http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/1508_SurImpactsSaniVaguesChaleurExtremeQc_Bilan2011.pdf
 - Lebel, G., & Bustinza, R. (2013). Surveillance des impacts sanitaires des vagues de chaleur extrême au Québec : Bilan de la saison estivale 2012 (p. 69). Québec: Institut national de santé publique du Québec.
 - Lebel, G., & Bustinza, R. (2014). Surveillance des impacts sanitaires des vagues de chaleur extrême au Québec : Bilan de la saison estivale 2013. Québec: Institut national de santé publique du Québec. Retrieved from <http://www.inspq.qc.ca/surveillance-des-impacts-sanitaires-des-vagues-de-chaleur-extreme-au-quebec-bilan-saison-estivale-2013>
- Consultations pour santé mentale
 - Vida S., Durocher, M., Ouarda, T. B. M. J., & Gosselin, P. (2012). Relationship Between Ambient Temperature and Humidity and Visits to Mental Health Emergency Departments in Québec. Psychiatric Services, 63(11), 1150. doi:10.1176/appi.ps.201100485
- Diminution de la productivité de travail
 - Adam-Poupart (2014) : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935114002497>

4



Hypothèses

www.ouranos.ca

Postulats (fixés à l'avance):

- Froid éliminé (Doyon, Bélanger et Gosselin, 2008)
- Prise en compte des maladies liées à la chaleur soit les maladies respiratoires et cardio-vasculaires
 - Lien entre températures plus élevées et dégradation de la qualité de l'air (concentrations plus élevées d'ozone)
- Projections météorologiques de températures estivales futures jusqu'à 2065 faites par Ouranos basées sur la température moyenne estivale

5



Hypothèses

www.ouranos.ca

Choix méthodologiques (suite):

- Morbidité estivale et problèmes de santé mentale causés par la chaleur :
 - Le taux de consultations d'un médecin est censé augmenter entre XX et XX pour 1°C supplémentaire ?
 - Le taux d'hospitalisation est censé augmenter entre XX et XX pour 1°C supplémentaire ?
 - Le taux d'admission aux urgences est censé augmenter entre XX et XX pour 1°C supplémentaire ?
 - Le taux de consultations chez le médecin pour santé mentale est censé augmenter entre XX et XX pour 1°C supplémentaire ?
 - Le taux de transport en ambulance est censé augmenter entre XX et XX pour 1°C supplémentaire ?
 - Le taux d'appel à Info-Santé est censé augmenter entre XX et XX pour 1°C supplémentaire ?
 - Autre ?
- Les coûts unitaires associés à chacun de ces critères sont donnés par diverses sources à confirmer dont le MSS

7



Hypothèses

www.ouranos.ca

Choix méthodologiques :

- Mortalité estivale causée par la chaleur :
 - Relation quantitative du nombre de décès associés à 1°C supplémentaire pour Montréal et Québec (Doyon, Bélanger et Gosselin 2006; Doyon B., Bélanger D., Gosselin P. 2008; Benmarhnia et al. 2014)
 - Nous prenons le nombre de décès par 100 000 habitants associés à la chaleur pour la ville de Québec comme proxy pour le reste de la province (sauf Montréal)
 - Séparation du nombre de décès par tranche d'âge : **15 à 64 ans et 65 et plus**
 - Multiplication de ce nombre de décès par la Valeur Statistique d'une Vie (VSV) estimée à 6.8 millions de dollars pour les 15 à 64 ans (Conseil du Trésor 2007) et de **1,4 millions de dollars** pour les 65 ans et plus afin d'obtenir le coût de ces décès pour la société

6



Hypothèses

www.ouranos.ca

Choix méthodologiques (suite):

- Perte de productivité des travailleurs causée par la chaleur :
 - Taux d'incidence de maladies liées à la chaleur pour lesquelles il y a eu remboursement par la CSST calculé pour chaque 1°C supplémentaire (Adam-Poupart et al. 2014)
 - Coût moyen d'un remboursement de la CSST pour maladie liée à la chaleur

8



Hypothèses

www.ouranos.ca

Analyses de sensibilité:

- Scénario de réchauffement climatique
- Vieillesse de la population
 - En prenant une proportion plus importante de personnes âgées (28% en 2061 comparativement à 16% présentement)
- Scénario de niveau de richesse collective (indice de défavorisation matérielle et sociale)
 - En prenant un taux d'incidence plus élevé pour la morbidité (?)

9



Synthèse pour discussion

www.ouranos.ca

- 1) Hypothèses pour la mortalité
 - Peut-on prendre Québec (ville) comme modèle pour le reste de la province ?

| Fourchette de taux de mortalité pour 1°C sup. | Coût unitaire associé (\$) |
|---|--|
| Xx-xx | Valeur d'une vie statistique (6.8 M\$) ? |

- 2) Hypothèses de projections des taux de morbidité

| Catégorie de soins | Fourchette de taux pour 1°C supplémentaire | Coût unitaire associé (\$) |
|--|--|----------------------------|
| Consultations médecins pour santé physique | Xx-xx | Xx |
| Hospitalisations | Xx-xx | Xx |
| Transports ambulanciers | Xx-xx | Xx |
| Admissions à l'urgence | Xx-xx | Xx |
| Appels à Info-Santé | Xx-xx | Xx |
| Consultations médecins pour santé mentale | Xx-xx | Xx |

- 3) Hypothèses de perte de productivité pour les travailleurs

| Fourchette de taux d'incidence pour 1°C sup. | Coût unitaire associé (\$) |
|--|--|
| 1,326-1,520 (IC 95%) | Utilisation du coût moyen d'un remboursement de la CSST pour un cas de maladie causée par la chaleur |

- 4) Analyses de sensibilité

11



Tableau Comparatif

www.ouranos.ca

| | Ouranos | Rapport de la Table Ronde |
|---|--|---|
| Périmètre de l'étude | Ensemble du Québec avec Québec comme indicateur pour la province sauf Montréal | 4 villes Canadiennes (Vancouver, Calgary, Toronto et Montréal) |
| Modélisations climatiques | Projections futures Ouranos | Moyennes des résultats de deux modèles climatiques mondiaux élaborés par le Centre canadien de la modélisation et de l'analyse climatique : Modèle CGCM 3T47 et Modèle CGCM 3T63 |
| Coûts pour diverses catégories soins de santé | Diverses sources dont MSSS | <ul style="list-style-type: none"> • <i>The Case of Illness Handbook</i> de la U.S. Environmental Protection Agency • modèle du Coût des maladies attribuables à la pollution atmosphérique • données tirées de rapports de l'Institut canadien d'information sur la santé (ICIS) et l'Estimateur des coûts par patient de l'ICIS. |

10



Table de discussion d'experts
Impacts du dégel du pergélisol sur les infrastructures et les changements climatiques

Date et lieu : 8 octobre 2014 ; Salle A – 550 Sherbrooke ouest, 19^e étage, Tour ouest

Ordre du jour de la rencontre

13h30 Accueil et contexte (C. Larrivée)

- 1) Déroulement de la rencontre
- 2) Présentation du contexte et des objectifs de la rencontre
- 3) Présentation de tous (tour de table)

13h45 Bloc 1. Les impacts des CC pour le thème Infrastructures - pergélisol (R. Siron)

- 4) Brève description de la revue de littérature (principales sources et types d'informations recherchés)
- 5) Présentation résumant les hypothèses sur lesquelles vont reposer l'analyse économique (impacts des CC et leur projection tirés de la littérature)

14h15 Bloc 2. Discussion pour valider les hypothèses (animation – François Morneau)

Remerciements, prochaines étapes et mots de la fin (C. Larrivée)

Liste des participants

| | |
|----------------------|------------------------------|
| Louise Lambert | DSP - Montérégie |
| Nicholas Ogden | Agence Santé publique Canada |
| Marie-Andrée Leblanc | MSSS |
| Isabelle Demers | MSSS |
| Élisabeth Masson | DSP - Montérégie |
| Audrey Smargiassi | Université de Montréal |



CONSORTIUM SUR LA CLIMATOLOGIE RÉGIONALE
ET L'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

www.ouranos.ca

Groupes de discussion pour l'étude d'impacts des changements climatiques sur le pergélisol et les infrastructures

8 octobre 2014

1



Mandat

www.ouranos.ca

- Documenter les impacts des changements climatiques et leurs coûts pour deux secteurs jugés prioritaires:
 - Infrastructures (inondations, dégel du pergélisol et érosion de la zone côtière)
 - Santé (chaleur, zoonoses et pollens)
- Étude partielle:
 - tous les impacts ni tous les secteurs sont considérés
 - en fonction de la disponibilité des données
 - les résultats ne seront pas additionnés (pas de chiffre agrégé mais plutôt une estimation par secteur spécifique)
- Équipe de projet

3



Déroulement de la rencontre

www.ouranos.ca

9h30 Accueil et contexte (C. Larrivée)

Déroulement de la rencontre

Présentation du contexte et des objectifs de la discussion

Tour de table

9h45 Bloc 1. Les impacts des CC pour le thème Infrastructures et pergélisol-chaleur (R. Siron)

Brève description de la revue de littérature (principales sources et types d'informations recherchés)

Présentation résumant les hypothèses sur lesquelles vont reposer l'analyse économique (impacts des CC et leur projection tirés de la littérature)

10h15 Bloc 2. Discussion pour valider les hypothèses (animation – F. Morneau)

Remerciements, prochaines étapes et mot de la fin (C. Larrivée)

2



Méthode et paramètres de l'étude

www.ouranos.ca

- Revue de la littérature sous l'angle de l'analyse économique
- Validation de certaines hypothèses sur la base des groupes de discussion
- Analyse économique
 - en dollars constants et escompté sur toute la période)
- Horizon 2015-2065
- Scénario socio-économique statu quo:
 - différentes analyses de sensibilité seront effectuées
- Recommandations pour des pistes à explorer comme suite à l'étude

4



Robert Siron

Montréal (Ouranos) – 8 octobre 2014



Sources bibliographiques

• Revue de litt. récentes :

- GIEC-GTII (2014); Polar regions
- NRCan (2014); chap. 2 / Overview
- CCAP (2014); état des connaissances
- ArcticNet (2013); chap. 6
- Synthèse d'Ouranos 2014 (en prép.)
- + recherche /internet

• Principaux travaux – impacts des CC :

- Allard et coll. ; Doré et coll.; Fortier et coll.; L'Héroult et coll.; Barette
- Bush et coll.; Forbes et coll.; Champalle et coll.; Zhang et coll., (Canada, Nunavut)
- Sushama et coll. ; Smith et coll., (Am. du Nord)
- Larsen et coll.; Liu et coll. ; Cole et coll., (Alaska)

• Liste de 25 réfs « pertinentes » (+ 8 autres, compléments d'infos)

• Sur le Nunavik (13); le reste sur d'autres régions d'intérêt (Alaska, Nunavut)



Plan de présentation

- Principales sources bibliographiques
- Notre «périmètre d'étude»
- Impacts des CC : tendances historiques, projections et conséquences
- Postulats et hypothèses méthodologiques
- Étude comparative
- Validation



Périmètre d'étude

Territoire couvert et éléments concernés

- Bâtiments et infrastructures dans les communautés nordiques (14 villages) uniquement; (développement industriel exclus)
- Zone de pergélisol continu (10 villages) et discontinu (4) au Nunavik

Données recherchées (évaluation économique)

- Sur les bâtiments à déplacer / réparer
 - Nombre/an (à déplacer / réparer): information établie par l'analyse de cartes montrant les zones à risque selon différents types de scénario de CC et les bâtiments s'y trouvant;
 - Coût par maison ou bâtiment
- Sur les infrastructures publiques (routes, pistes d'aéroports, réseaux)
 - Nombre de km de route à refaire (d'ici 2050, 2080?); coûts exprimés en \$/km ou \$/an; (source des données: CEN, ARK, MTQ)
 - Nombre de pistes d'aéroport à réparer ou à reconstruire; coûts exprimés en \$/km ou \$/an ; (source des données : MTQ)
 - Autres infrastructures, p. ex. portuaires?
- Stat. démographiques : population, logements, etc. → besoins futurs
 - Nombre de bâtiments actuels, logements nécessaires, etc. (Stat. Can; OMHK)



Impacts sur le pergélisol et les infrastructures

www.ouranos.ca

Tendances historiques

- ↑ couche active partout dans les 20-30 dernières années; *haut niveau* de confiance (GIEC-AR5)
- Dû à l'augmentation des températures, mais aussi à l'eau de fonte et à la couverture de neige
- Autres facteurs: régionaux et physiques (p. ex. type de sol, élévation, pente)
- En général, dégel plus rapide dans les régions les plus froides (hautes latitudes)
- Pour pergélisol autour de 0°C: dégel surtout dû à la teneur en eau (non gelée) et au transfert de chaleur par les eaux souterraines
- Liens forts entre ↑ températures de l'air et dégel du pergélisol, mais taux difficile à établir
- Taux moyen d'env. +0.2°C/10 ans pour les régions moins froides (permafrost discontinu)
- Pour régions plus froides (tundra; permafrost continu), le taux pourrait être > 1°C/10 ans.
- Pour l'Est sub-arctique et nord du Québec, le dégel a commencé depuis le début des 90s (1993) et très rapide depuis : +2°C en 12 ans (1993-2005);
- Augmentation très forte de +0.27°C/an à Salluit de 1993 à 2007 → impacts sur le pergélisol ?



Impacts (3)

www.ouranos.ca

Tendances futures (projections climatiques)

- Peu d'études ont modélisé l'évolution du pergélisol au Canada
- On s'attend à ce que le dégel du pergélisol se poursuive et même s'accélère dans le futur
- La fonte complète du pergélisol continu en Arctique prendra des décennies/siècles
- Dans les régions les plus froides: ↑ couche active (0,3-0,7m d'ici 2100) et ↓ épaisseur du pergélisol
- Pour les régions plus au sud : fonte du pergélisol aussi par la base (Zhang et al., 2007)
- Pour 2041-70 (vs 1961-90): de +3 à +5°C (moy. annuelle) pour pergélisol continu au Nunavik; < +3°C pour régions plus au sud; (Sushama et al., 2007)
- À Salluit dégel très marqué jusqu'en 2025: augmentation de 30 à 80 cm de la couche active selon le type de sol (réf. 2007); soit de 4-13% (scénarios optimistes) à 27-55 % (scénarios pessimistes) de la couche active (Barrette, 2010).
- Conséquences : p. ex. instabilité accrue des bâtiments dans les zones à risque; accélération du tassement sous les pistes avec le dégel projeté.



Impacts (2)

www.ouranos.ca

Conséquences sur les bâtiments et les infrastructures

- La fonte du pergélisol provoque un affaissement du sol (subsidence) ou tassement
- Conséquence directe (général) : ↓ stabilité des bâtiments et des infrastructures
- L'eau non gelée accélère aussi le dégel localisé sous les bâtiments
- Bâtiments / infrast. aussi affectés par les glissements de terrain et l'érosion thermique
- Pour les routes et pistes cela entraîne une perte de capacité portante
- Nécessité de remettre à niveau et maintenir (pistes), réparer ou déplacer (bâtiments)
- Possibilité de prise en compte des zones à risque (cartographie fine) dans le développement et la planification

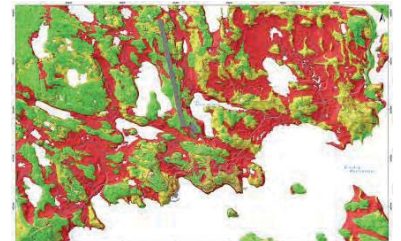


Postulats et Hypothèses (1)

www.ouranos.ca

Postulats (fixés à l'avance)

- Les villages les plus nordiques (pergélisol continu) subiront les impacts les plus sévères
- Toute construction en «zone verte» (cartes de risque) n'est pas à risque jusqu'en 2065
- À l'avenir, tout nouveau bâtiment sera construit dans une zone «non à risque» (cartes)
- Les nouvelles routes et nouveaux réseaux de transport devront passer à travers des zones à risque.



Informations à valider avec les groupes de discussion



Postulats et Hypothèses (2)

www.ouranos.ca

Hypothèses méthodologiques (à valider avec experts)

- Les mêmes zones de risque (cartes) représentent le même **degré de risque** d'un village à l'autre
- Le **taux de dégradation** du pergélisol est le même pour tous les villages; sinon quels taux utiliser et où?
- Le **coût unitaire** (entretien, déplacement) est comparable d'un village à l'autre; sinon: un taux moyen ou différents taux selon l'endroit ?
- Des **événements climatiques extrêmes** vont se traduire en décrochements ou glissements de terrain à l'avenir; si oui, à quelle fréquence ? Quels étaient les coûts pour Salluit en 1998 et 2005 ?
- Tout bâtiment actuellement en **zone à risque** représente un coût potentiel équivalent à un coût de relocalisation d'ici 2065
- Peut-on appliquer une proportion moyenne des **nouveaux réseaux et routes** qui seraient construits en zones à risque; si oui, laquelle?
- Comment intégrer le **développement des villages** (rattrapage + croissance démographique) ? Taux moyen ou différencié selon le village ?
- Comment l'**augmentation de la population** au Nunavik va-t-elle influencer les dépenses d'infrastructures reliées aux CC ? (en lien avec le postulat sur le nouveau cadre bâti)



Rappel des hypothèses

www.ouranos.ca

1. Hypothèses sur les risques et les impacts

- Les mêmes zones de risque (cartes) représentent le même **degré de risque** d'un village à l'autre
- Le **taux de dégradation** du pergélisol est le même pour tous les villages; sinon quels taux utiliser et où ?
- Des **événements climatiques extrêmes** vont se traduire en décrochements ou glissements de terrain à l'avenir; si oui, à quelle fréquence ? Quels étaient les coûts pour Salluit en 1998 et 2005 ?

2. Hypothèses sur les autres facteurs influençant

- Tout bâtiment actuellement en **zone à risque** représente un coût potentiel équivalent à un coût de relocalisation d'ici 2065
- Peut-on appliquer une proportion moyenne des **nouveaux réseaux et routes** qui seraient construits en zones à risque; si oui, quel %?
- Comment intégrer le **développement des villages** (rattrapage + croissance démographique) ? Taux moyen ou différencié selon le village ?
- Comment l'**augmentation de la population** au Nunavik va-t-elle influencer les dépenses d'infrastructures reliées aux CC ? (en lien avec le postulat sur le nouveau cadre bâti)

3. Hypothèses sur les coûts

- Les **coûts unitaires** sont-ils comparables d'un village à l'autre; sinon: un taux moyen ou différents selon l'endroit ?
- Les **coûts unitaires** sont-ils les mêmes pour les infrastructures (écoles, hopitaux, routes,...) en Alaska et au Nunavik ?

4. Analyses de sensibilité ?



Étude comparative

www.ouranos.ca

Évaluation des coûts en Alaska (Larsen et coll., 2007)

Hypothèses convergentes

- Pergélisol continu et discontinu
- Fonte du pergélisol (historique et projetée) comparable, mais pas identique
- Même types d'infrastructures : routes, hopitaux, écoles, aéroports, etc.
- Mêmes types de données recherchées: p. ex. coûts unitaires de remplacement
- Résultat recherché: coût total des CC sur les infrastructures

Hypothèses divergentes (ce projet vs Alaska)

- Horizon 2065 vs 2030 et 2080
- Scénarios de taux de dégradation du pergélisol vs 3 projections climatiques : «modèle chaud», «plus chaud» et «le plus chaud»
- Bâtiments et infrastructures vs Infrastructures publiques seulement
- Populations et facteurs socioéconomiques très différents : +12 000 hab. vs +735 000 hab. ; >32 000 \$/cap.)
- 4 villes > 12 000 hab. (dont Anchorage)
- 2 étapes: 1) évaluation des coûts de remplacement dans les années à venir (sans CC); et 2) des coûts additionnels des CC (extra-costs) avec et sans adaptation
- Hypothèses de départ: Relocalisation des bâtiments à risque vs Les coûts reliés aux CC diminueront avec le temps grâce à l'adaptation



Table de discussion d'experts
Impacts des zoonoses et pollens sur la santé et les changements climatiques

Date et lieu : 14 octobre 2014 ; Salle A4-43 – 945 Avenue Wolfe, Québec (bureaux INSPQ)

Ordre du jour de la rencontre

13h30 Accueil et contexte (C. Larrivée)

- 1) Déroulement de la rencontre
- 2) Présentation du contexte et des objectifs de la rencontre
- 3) Présentation de tous (tour de table)

13h45 Bloc 1. Les impacts des CC pour le thème Santé – zoonoses et pollens (N. Sinclair)

- 4) Brève description de la revue de littérature (principales sources et types d'informations recherchés)
- 5) Présentation résumant les hypothèses sur lesquelles vont reposer l'analyse économique (impacts des CC et leur projection tirés de la littérature)

14h15 Bloc 2. Discussion pour valider les hypothèses (animation – Pierre Gosselin)

Remerciements, prochaines étapes et mots de la fin (C. Larrivée)

Liste des participants

| | |
|----------------|------------------------|
| Daniel Fortier | Université de Montréal |
| Sabine Veuille | Université de Montréal |
| Guy Doré | Université Laval |
| Anick Guimond | MTQ |
| Shun Hui Yang | Makivik-Construction |

Informations à valider avec les groupes de discussion



CONSORTIUM SUR LA CLIMATOLOGIE RÉGIONALE
ET L'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

www.ouranos.ca

Groupe de discussion pour l'étude d'impacts des changements climatiques sur la santé au Québec

14 octobre 2014

1



Mandat

www.ouranos.ca

- Équipe de projet
- Documenter les impacts des changements climatiques et leurs coûts pour deux secteurs jugés prioritaires:
 - Infrastructures (inondations, dégel du pergélisol et érosion de la zone côtière)
 - Santé (chaleur, zoonoses et pollens)
- Étude partielle:
 - tous les impacts ni tous les secteurs sont considérés
 - en fonction de la disponibilité des données
 - les résultats ne seront pas additionnés (pas de chiffre agrégé mais plutôt une estimation par secteur spécifique)

3



Déroulement de la rencontre

www.ouranos.ca

13h30 Accueil et contexte (C. Larrivée)

Déroulement de la rencontre

Tour de table

Présentation du contexte et des objectifs de la discussion

13h45 Bloc 1. Les impacts des CC pour le thème Santé – pollen et zoonoses (N. Sinclair)

Brève description de la revue de littérature (principales sources et types d'informations recherchés)

Présentation résumant les hypothèses sur lesquelles vont reposer l'analyse économique (impacts des CC et leur projection tirés de la littérature)

14h15 Bloc 2. Discussion pour valider les hypothèses (animation – P. Gosselin)

Remerciements, prochaines étapes et mot de la fin (C. Larrivée)

2



Méthode et paramètres de l'étude

www.ouranos.ca

- Revue de la littérature sous l'angle de l'analyse économique
- Validation de certaines hypothèses sur la base des groupes de discussion
- Analyse économique
 - en dollars constants et escompté sur toute la période
- Horizon 2015-2065
- Scénario socio-économique statu quo:
 - différentes analyses de sensibilité seront effectuées
- Recommandations pour des pistes à explorer comme suite à l'étude

4



Groupe de discussion pour l'étude
d'impacts des changements
climatiques sur la santé au Québec

Thèmes Pollens et Zoonoses

Nathalie Sinclair-Desgagné
14 octobre 2014

1



Impacts sur la santé

- Notre périmètre d'étude comprend des impacts du pollen sur la santé...
 - Population affectée par le pollen de l'herbe à poux et coûts associés
- Ainsi que des impacts des maladies vectorielles
 - Maladie de Lyme
 - Virus du Nil
 - Cas de gastroentérites liés à l'eau potable
- Nous traitons ces deux thèmes avec la même approche :
 - Territoire touché / Population touchée (projections)
 - Coût de prévention/lutte
 - Coûts de soins de santé associés

3



Plan de présentation

- Impacts des changements climatiques sur la santé
- Principales sources
- Hypothèses
- Synthèse pour discussion

2



Principales sources

Sources pour l'impact du pollen de l'herbe à poux :

- Canuel, M., & Lebel, G. (2012). Prévalence des symptômes et du diagnostic de la rhinite allergique chez les 15 ans et plus au Québec, 2008 (p. 61). Québec: Institut national de santé publique du Québec
- Krzywkowski, P., Noisel, N., Groulx, J., Masson, E., Cloutier, M. S., Lachaine, J., ... & Lapierre. (2013). M. È. BISE: bulletin d'information en santé environnementale
- Tardiff, I. (2008). Portrait des coûts de santé associés à l'allergie au pollen de l'herbe à poux année 2005 (Rapport d'enquête produit par la Direction de santé publique de la Montérégie pour la Table québécoise) (p. 92)

4



Principales sources

www.ouranos.ca

Virus du Nil Occidental :

- Bonneau, V. (2006). Étude d'impact stratégique du Plan d'intervention gouvernemental de protection de la santé publique contre le virus du Nil occidental. INSPQ, Québec.
- Fortin, A., Vibien, A., Therrien, C., Bolduc, D., Milord, F., Lebel, G., ... Samuel, O. (2013). Le risque relié au virus du Nil occidental au Québec et les interventions à privilégier en 2013 (p. 101). Québec.
- Harrigan, R. J., Thomassen, H. A., Buermann, W., & Smith, T. B. (2014). A continental risk assessment of West Nile virus under climate change. *Global change biology*.

Gastroentérites :

- Febriani et al. (2010) Gastroentérites et puits privés au Québec, probabilité augmentée fortement 3-4 semaines après pluies torrentielles ou période de sécheresse :
- Majowicz, S. E., McNab, W. B., Sockett, P., Henson, S., Dore, K., Edge, V. L., ... & Wilson, J. B. (2006). Burden and cost of gastroenteritis in a Canadian community. *Journal of Food Protection*, 69(3), 651-659.

Maladie de Lyme :

- MSSS (2014). Flash Vigie (maladie de Lyme), Bulletin québécois de vigie, de surveillance et d'intervention en protection de la santé publique, Volume 9, No 6
- Roy-Dufresne, E., Logan, T., Simon, J. A., Chmura, G. L., & Millien, V. (2013). Poleward expansion of the white-footed mouse (*Peromyscus leucopus*) under climate change: implications for the spread of Lyme disease. *PloS one*, 8(11), e80724.

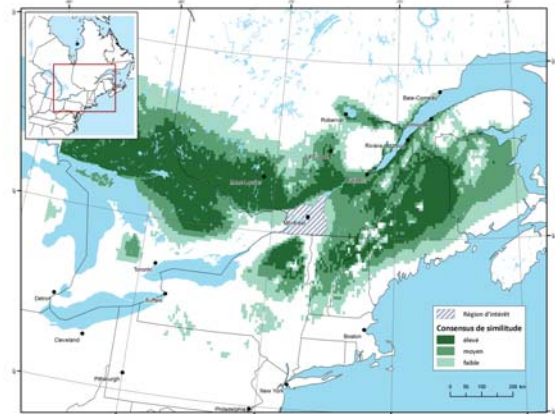
5



Hypothèses

www.ouranos.ca

Projection des zones avec conditions climatiques similaires à la Montérégie d'aujourd'hui, horizon 2050 :



Source: Travis Logan, Scénarios et services climatiques, Ouranos

7



Hypothèses

www.ouranos.ca

Postulats (fixés à l'avance):

Pollen :

- On ne considère que le pollen de l'herbe à poux (*Ambrosia Artemisiifolia*)

Maladie de Lyme :

- On utilise la souris à patte blanche comme réservoir proxy de la maladie de Lyme (Roy-Dufresne et al. 2013)

Gastroentérites :

- On ne considère que les puits privés pour les cas de gastroentérites et lors d'extrêmes météorologiques (sécheresse ou pluies abondantes)

6



Hypothèses

www.ouranos.ca

Choix méthodologiques :

● Pollen :

- hausse de CO2 + hausse de température
- augmentation de la photosynthèse
- prolongement de la saison de pollinisation
- ➔ augmentation de la couverture de l'herbe à poux au Québec
- Il nous reste à déterminer le taux de prévalence estimée :
 - La prévalence estimée par des enquêtes statistiques est passée de 6% en 1987, à 9,4% en 1998 à 16,8% en 2008
 - ➔ La prévalence estimée continue-t-elle d'augmenter avec la température ?

8



Hypothèses

www.ouranos.ca

| COMPOSANTE | Coût (\$) | Coût (%) |
|--|--------------------|--------------|
| Coûts associés à la consultation d'un professionnel de la santé | 17 894 147 | 11,4 |
| Coûts associés au transport lors de la consultation d'un professionnel de la santé | 4 238 949 | 2,7 |
| Autres frais engendrés par la consultation d'un professionnel de la santé (repas, garde d'enfants) | 351 180 | 0,2 |
| Salaires perdus lors de la consultation d'un professionnel de la santé | 2 912 950 | 1,9 |
| Temps alloué pour la consultation d'un professionnel de la santé | 5 951 999 | 3,8 |
| Coûts associés au diagnostic de l'allergie au pollen de l'herbe à poux | 1 076 785 | 0,7 |
| Coûts associés à l'utilisation de médicaments | 32 970 272 | 21,1 |
| Coûts associés au traitement de désensibilisation | 2 336 174 | 1,5 |
| Coûts associés à l'absentéisme et à l'incapacité | 32 445 611 | 20,7 |
| Coûts associés aux complications de l'asthme | 6 920 103 | 4,4 |
| Coûts pour l'achat ou la modification d'un appareil pour purifier l'air intérieur du domicile | 49 426 731 | 31,6 |
| Total | 156 524 901 | 100,0 |

Source: Tardiff, I. (2008). Portrait des coûts de santé associés à l'allergie au pollen de l'herbe à poux année 2005 (Rapport d'enquête produit par la Direction de santé publique de la Montérégie pour la Table québécoise) (p. 92).

9



Hypothèses

www.ouranos.ca

Choix méthodologiques :

- **Maladie de Lyme :**
 - Utilisation de la souris à patte blanche comme espèce réservoir de la Maladie
 - Augmentation de l'habitat de la souris
 - Taux de prévalence associée à l'expansion de l'habitat de XX-XX%
- Nous ne disposons pas des coûts unitaires pour la Maladie de Lyme (?)

11



Hypothèses

www.ouranos.ca

Analyses de sensibilité:

- Augmentation de la population
- Contrôles de l'herbe à poux effectués à l'échelle de toute la zone géographique touchée
 - D'après Krzykowski (2013), le contrôle diminuerait de moitié le nombre de résidants atteints
- Taux de prévalence estimée ?

10



Hypothèses

www.ouranos.ca

Choix méthodologiques :

- **Virus du Nil Occidental :**
 - Étude Harrigan montre taux d'incidence d'au moins 10% de plus qu'en 2012 sur l'horizon 2050 (trop faible ?)
 - Coûts (directs et indirects) par patient atteint au Québec de 15 410\$ (Bonneau 2006)

12



Hypothèses

www.ouranos.ca

Choix méthodologiques :

- Gastroentérites :
 - Taux de prévalence des cas augmenté pour les puits privés de XX à XX %
 - Coût unitaire des cas en Ontario (Québec ?)

13



Synthèse pour discussion

www.ouranos.ca

1) Hypothèses pour le pollen :

- Considérer zones géographiques touchées par le pollen sur base de projections de conditions climatiques similaires
- Taux de prévalence associé à la température ?
- Analyses de sensibilité

2) Hypothèses pour les maladies vectorielles :

- Déterminer une zone géographique potentiellement touchée
- Taux de prévalence correspondante :

| | Prévalence estimée zone actuelle | Prévalence estimée pour zone prévue |
|-----------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| Maladie de Lyme | XX-XX% | XX-XX% |
| VNO | XX-XX% | XX-XX% |
| Gastroentérites | XX-XX% | XX-XX% |

- Coût unitaire par personne affectée (si disponible)
- Coût contrôle / prévention
- Analyses de sensibilité

15



Hypothèses

www.ouranos.ca

Analyses de sensibilité:

- Augmentation de la population
- Contrôles de la maladie
 - efficacité
 - expansion de la région de contrôle
- Scénario épidémique

14



Table de discussion d'experts
Impacts des inondations sur les infrastructures et les changements climatiques

Date et lieu : 15 octobre 2014 ; Salle A – 550 Sherbrooke ouest, 19^e étage, Tour ouest

Ordre du jour de la rencontre

13h30 Accueil et contexte (C. Larrivée)

- 1) Déroulement de la rencontre
- 2) Présentation du contexte et des objectifs de la rencontre
- 3) Présentation de tous (tour de table)

13h45 Bloc 1. Les impacts des CC pour le thème Infrastructures – inondations (L. Leclerc)

- 4) Brève description de la revue de littérature (principales sources et types d'informations recherchés)
- 5) Présentation résumant les hypothèses sur lesquelles vont reposer l'analyse économique (impacts des CC et leur projection tirés de la littérature)

14h15 Bloc 2. Discussion pour valider les hypothèses (animation – François Morneau)

Remerciements, prochaines étapes et mots de la fin (C. Larrivée)

Liste des participants

| | |
|-------------------|--------------------------|
| Isabelle Thomas | Université de Montréal |
| Pascale Biron | Université Concordia |
| Robert Leconte | Université de Sherbrooke |
| Patricia Clavet | CEHQ |
| Benoît Robert | École Polytechnique |
| Richard Turcotte | CEHQ |
| Jean-François Cyr | CEHQ |
| Jean Francoeur | CEHQ |

Informations à valider avec les groupes de discussion



CONSORTIUM SUR LA CLIMATOLOGIE RÉGIONALE
ET L'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

www.ouranos.ca

Groupes de discussion pour l'étude d'impacts des changements climatiques sur les inondations et les infrastructures

15 octobre 2014

1



Mandat

www.ouranos.ca

- Documenter les impacts des changements climatiques et leurs coûts pour deux secteurs jugés prioritaires:
 - Infrastructures (inondations, dégel du pergélisol et érosion de la zone côtière)
 - Santé (chaleur, zoonoses et pollens)
- Étude partielle:
 - tous les impacts ni tous les secteurs sont considérés
 - en fonction de la disponibilité des données
 - les résultats ne seront pas additionnés (pas de chiffre agrégé mais plutôt une estimation par secteur spécifique)
- Équipe de projet

3



Déroulement de la rencontre

www.ouranos.ca

9h30 Accueil et contexte (C. Larrivée)

Déroulement de la rencontre

Présentation du contexte et des objectifs de la discussion

Tour de table

9h45 Bloc 1. Les impacts des CC pour le thème Infrastructures et inondations (L. Leclerc)

Brève description de la revue de littérature (principales sources et types d'informations recherchés)

Présentation résumant les hypothèses sur lesquelles vont reposer l'analyse économique (impacts des CC et leur projection tirés de la littérature)

10h15 Bloc 2. Discussion pour valider les hypothèses (animation – F. Morneau)

Remerciements, prochaines étapes et mot de la fin (C. Larrivée)

2



Méthode et paramètres de l'étude

www.ouranos.ca

- Revue de la littérature sous l'angle de l'analyse économique
- Validation de certaines hypothèses sur la base des groupes de discussion
- Analyse économique
 - en dollars constants et escompté sur toute la période
- Horizon 2015-2065
- Scénario socio-économique statu quo:
 - différentes analyses de sensibilité seront effectuées
- Recommandations pour des pistes à explorer comme suite à l'étude

4

Informations à valider avec les groupes de discussion



CONSORTIUM SUR LA CLIMATOLOGIE RÉGIONALE
ET L'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

www.ouranos.ca



Groupe de discussion pour Infrastructures / Inondations



Résumé des impacts sur les infrastructures

www.ouranos.ca

| Impacts sur les capitaux et services rendus (dommage, destruction, reconstruction et perte de services) | |
|---|---|
| Bâtiments | Maison, industrie, commerce, ferme |
| Réseaux de transport | Route, chemin de fer, TC, ponts, tunnel, piste cyclable, port/marina, aéroport/piste d'atterrissage |
| Barrage/digue/murs de soutènements | |
| Biens patrimoniaux et culturels | Musée, cimetière, site historique, lieux de cultes |
| Réseaux d'énergie | Production, transport, distribution, équipement |
| Réseaux de télécom | |
| Réseaux d'eau potable et d'eaux usées | Traitement, distribution, collecte |
| Impacts reliés à la gestion de l'événement | |
| Hébergements | |
| Postes de pompage/de surpression à refaire | |
| Impact sur les approvisionnements en situation d'urgence | |
| Évacuation | |
| Autres impacts | |
| Destruction de cultures | |
| Perte des sols | |
| Glissement de terrain | |
| Domage/Destruction de la faune | |
| Perte de vie | Noyade, électrocutions, effondrement de bâtiment |
| Maladie | Gastro-intestinal / Intoxication / Respiratoire (moisissure)/ Blessure |
| Impact psychologique | Épuisement, stress, chicane, séparation/divorce |



Plan de présentation

www.ouranos.ca

- Impacts des inondations
- Principales sources
- Postulats
- Hypothèses générales
- Hypothèses par région
- Analyses de sensibilité
- Résumé des hypothèses pour discussion



Principales sources

www.ouranos.ca

Documents de synthèse

- L'Atlas hydroclimatique
- US. National Assessment
- Canadian National Assessment
- Synthèse 2014

Recherche de littérature spécialisée

- Près de 50 articles et documents de projet
- au Québec et par analogue spatiale (NE des États Unis)
- sur les inondations mais aussi sur les facteurs contributeurs comme les débits, précipitations extrêmes

Informations à valider avec les groupes de discussion



Postulats de périmètre – ce qui n'est pas considéré

www.ouranos.ca

- Les changements géomorphologiques (p.ex. l'érosion riveraine)
- Les changements sociodémographiques et l'aménagement du territoire
- Les types de sols
- L'adaptation future: gestion, aménagement du territoire, mise en place de nouvelles normes et lois, etc.



Postulats

www.ouranos.ca

- Les inondations changent avec les variations de précipitations et les débits
- Les extrêmes vont augmenter plus que les moyennes
- Pour toutes les régions du Québec, des hausses significatives des précipitations extrêmes (>1:20 ans)



Postulats

www.ouranos.ca

- Les types d'inondations sont différenciés par saison
- Les régions sont définies en fonction de leurs similarités géographiques et hydro-climatiques :

Région Sud: Montérégie, Estrie et Chaudières-Appalaches

Région Ouest: l'Abitibi, l'Outaouais, Montréal et Laval

Région Est – Bas St-Laurent, Gaspésie et Îles de la Madeleine

Côte Nord - Charlevoix, du Saguenay-Lac-St-Jean et de la Haute et Basse Côte-Nord

Région Centre - Laurentides, Lanaudière et Mauricie

Québec

(Grand Nord - région administrative du Nunavik – pas considéré dans l'analyse)



Hypothèses générales

www.ouranos.ca

- La variation des inondations est **proportionnelle** aux variations des précipitations et des débits.
- L'augmentation des températures hivernales va influencer la qualité de la glace et diminuera la sévérité des embâcles au printemps.
- Il y a un lien proportionnel (ou exponentiel?) entre les inondations et les dommages et pertes de services des infrastructures.

Informations à valider avec les groupes de discussion



Hypothèses : Région Sud

www.ouranos.ca

- **Printemps** : Diminution de l'intensité (volume) des inondations printanières de 0-10% pour des événements de taux de récurrence de 2 ans, augmentation des événements de 20-100 ans
- **Hiver** : Augmentation de la fréquence des inondations hivernales de 10-50%, et de leur intensité de 20-60%
- **Été** : Peu de changements
- **Automne** : Hausse des inondations pour des événements de 0-20 ans



Hypothèses : Région Est

www.ouranos.ca

- Hausse des événements extrêmes de 0-20 ans et de 20-100 ans
- **Printemps**: Augmentation X% des événements de 0-20 ans et de 20-100 ans
- **Hiver** : Augmentation X% événements de 0-20 ans et de 20-100 ans
- **Été**: Légère augmentation du mois d'août en fréquence et intensité
- **Automne** : Pas de changement



Hypothèses : Région Ouest

www.ouranos.ca

- **Printemps** : Diminution de l'intensité (volume) des inondations printanières de 0-10% pour des événements de taux de récurrence de 2 ans, augmentation des événements de 20-100 ans
- **Hiver** : Augmentation de la fréquence des inondations hivernales de 10-50%, et de leur intensité de 20-60%
- **Automne/Été** : Pas de changement



Hypothèses : Côte-Nord

www.ouranos.ca

- **Printemps** : Atténuation du débit de pointe
- **Hiver** : Augmentation des inondations extrêmes de X%
- **Été/Automne** : Pas de changement

Informations à valider avec les groupes de discussion



Hypothèses : Centre

www.ouranos.ca

- **Printemps** : Atténuation du débit de pointe
- **Hiver** : Augmentation des inondations extrêmes
- **Été/Automne** : Pas de changement



Analyses de sensibilité

www.ouranos.ca

- Scénarios de changements climatiques (variation des extrêmes)
- Augmentation de la richesse (actifs à risque) – PIB per capita
- Facteurs de risque (p.ex. pour les incertitudes dans les projections et hypothèses, l'état actuel des infrastructure, les effets cumulatifs des événements climatiques)
- Autre?



Hypothèses : Région de Québec

www.ouranos.ca

- **Printemps** : Augmentation de X% des inondations extrêmes
- **Hiver** : Augmentation de X% des inondations extrêmes
- **Été** : Diminution (faible niveau de confiance)
- **Automne** : Réduction probable de la moyenne mais X% augmentation des inondations de extrêmes



Résumé

www.ouranos.ca

| Régions | Printemps | Hiver | Été | Automne |
|--|---|---|--------------------------|-----------------------------|
| Région Sud: Montérégie, Estrie et Chaudières-Appalaches | ↑ événements de 20-100 ans ↓ événements de 0-2 ans | ↑ fréquence (10-50%), et intensité (20-60%) | - | ↑ événements de 0-20 ans |
| Région Ouest: l'Abitibi, l'Outaouais, Montréal et Laval | ↑ événements de 20-100 ans ↓ événements 0-2 ans | ↑ fréquence (10-50%), ↑ intensité (20-60%) | - | - |
| Région Est: Bas St-Laurent, Gaspésie et Îles de la Madeleine | ↑ événements de 0-20 et de 20-100 ans | ↑ événements de 0-20 et de 20-100 ans | ↑ fréquence et intensité | - |
| Côte Nord: Charlevoix, du Saguenay-Lac-St-Jean et de la Haute et Basse Côte-Nord | ↓ du débit de pointe | ↑ inondations extrême | - | - |
| Région Centre: Laurentides, Lanaudière et Mauricie | ↓ du débit de pointe printanier | ↑ des inondations extrême l'hiver | - | - |
| Région de Québec | ↑ événements de 0-20 et de 20-100 ans | ↑ des inondations extrême l'hiver | ↓ | ↓ moyenne des extrêmes ↑ |

ANNEXE II LE PRINCIPE DE L'ACTUALISATION ET LE CHOIX DU TAUX

(Par Jean-Pierre Revéret)

Le principe de l'actualisation revient à diminuer la valeur actuelle de flux monétaires futurs.

Pourquoi diminuer la valeur de ce qui arrive dans le futur lorsque l'on veut savoir ce qu'est cette valeur aujourd'hui? Pour un individu, un dollar reçu aujourd'hui ne représente pas la même chose qu'un dollar reçu dans deux, trois ou dix ans, et cela, même si l'on supposait qu'il n'y a pas d'inflation et que les prix restent les mêmes. Cette préférence pour des satisfactions immédiates s'exprime sous la forme de ce que l'économiste appelle la préférence de temps, ou la préférence intertemporelle.

Pour des raisons liées à une certaine attitude face au risque, aux incertitudes face au futur, on donne une valeur plus grande quelque chose d'utile aujourd'hui qu'à la même chose dans 10 ans. La préférence pour le présent ne s'exprime donc pas que pour les montants exprimés en dollars.

Lorsqu'il s'agit d'appliquer ceci en analyse économique, il s'agit d'actualiser un montant, dépense, coût ou revenu, en en déterminant la valeur aujourd'hui. Il y a deux aspects à prendre en considération avec l'actualisation: sa mécanique et le choix du taux d'actualisation, c'est à dire le taux utilisé pour « diminuer » la valeur du montant futur. Il va donc falloir que la mécanique du calcul prenne en compte ce taux et le nombre d'années dans lequel apparaît le montant.

Cette mécanique est relativement simple et consiste à diviser la valeur du flux futur par $(1 + r)^{\text{nombre d'années}}$, r étant le taux d'actualisation. On voit donc que pour un même taux, plus le nombre d'années augmente, plus la valeur actuelle est faible. Pour un nombre d'années identique, plus le taux est élevé, plus la valeur actuelle est faible. Donc en combinant un taux élevé avec un nombre d'années élevé, la valeur actuelle est d'autant plus faible.

Le choix du taux d'actualisation se révèle complexe. Sur un plan théorique, il existe deux grandes approches pour déterminer le taux d'actualisation. Précisons que quelle que soit la méthode retenue et le taux choisi, il n'a pas de valeur absolue et ce choix peut être discuté. C'est ce qui justifie qu'il est toujours recommandé de tester l'effet du choix du taux en faisant des analyses de sensibilité avec un taux plus faible et un plus élevé que celui retenu (4 % dans cette étude, avec analyse de sensibilité à 2 % et 6 %).

La première approche, fondée sur l'explication « sociale » évoquée ci-dessus, est nommée « préférence sociale de temps » et elle veut refléter le plus directement possible l'attitude face au futur dans une société donnée. On peut saisir cette perception par des enquêtes, mais plus couramment cela se fait à partir de la prise en compte du fait que les gens sont souvent prêts à ne pas consommer immédiatement et à placer leur argent à des taux d'intérêts plus bas que le taux fourni par le rendement marginal du capital dans la même société. Ce taux d'intérêt peut être considéré comme une mesure du montant minimal qu'il faut payer aux gens pour qu'ils repoussent leur

consommation. Ce taux utilisé comme taux d'actualisation est généralement plus faible que celui que nous allons considérer ci-dessous et qui est déterminé par le coût d'opportunité sociale du capital.

La deuxième approche dite « du coût d'opportunité sociale du capital » est fondée sur le rendement marginal du capital. Lorsque des fonds sont investis dans un projet, on peut considérer que s'ils n'y étaient pas, il y aurait alors l'opportunité de les utiliser à d'autres fins. Ils pourraient alors être utilisés dans le secteur privé et il faudrait alors qu'ils rapportent au moins autant dans le projet considéré que dans un autre projet. On utilisera dans cette approche le rendement marginal du capital dans le pays concerné pour fixer le taux d'actualisation. Cela donne en général un taux plus élevé que l'approche précédente.

En règle générale, il est recommandé de choisir un taux compris entre 3 % et 7 % en fonction de la situation économique (c'est-à-dire un faible taux lorsque la conjoncture est difficile et inversement). Ce taux doit également être réel, c'est-à-dire qu'il exclut le taux d'inflation. Pour gommer cette incertitude concernant le choix du taux d'actualisation ainsi que la valorisation des coûts et des avantages, il est nécessaire de procéder à une analyse de sensibilité en faisant varier divers paramètres de l'analyse. Cette analyse de sensibilité permettra, surtout lorsque l'on réalise une analyse Coûts-Avantages dans laquelle on compare des flux de coûts et d'avantages (appelés aussi parfois bénéfiques) de révéler si les résultats du bénéfice net social sont sensibles ou non à des ajustements de paramètres et de tester la robustesse de ces résultats.

Au-delà de sa dimension strictement économique, la notion de taux d'actualisation et son usage font l'objet de débats que l'on peut qualifier « de société ». En effet, en diminuant la visibilité de ce qui apparaît à long terme, dans la prise de décision aujourd'hui, plusieurs groupes de la société civile voient là une formalisation de la relative myopie de l'analyse économique qui ne peut donc pas voir ce qui se passe au-delà de quelques décennies. Ce conflit de vision du temps dans les différentes disciplines mobilisées dans les enjeux de la gestion de l'environnement est particulièrement important lorsque les problèmes analysés se manifestent dans le long terme alors que les décisions d'agir doivent se prendre à court terme. Cela milite donc pour l'utilisation de taux d'actualisation faible, témoignant d'une reconnaissance de l'importance du futur. Certains économistes (par exemple René Passet, dans *l'Économie et le Vivant*, Payot 1979) questionnent même l'idée de préférence pour le présent qui a du sens pour l'individu, puisqu'il est mortel, mais ne devrait pas en avoir pour une société, ou plus encore l'espèce humaine qui par définition s'inscrit dans le long terme.

Les groupes écologistes ont aussi tendance à s'inscrire dans cette perspective de l'utilisation de bas taux d'actualisation vu que les coûts environnementaux se manifestent souvent, et c'est le cas des changements climatiques, à long terme. Notons à cet effet que le taux retenu par Nicholas Stern dans son rapport sur les coûts des Changements climatiques en 2006 a utilisé un taux d'actualisation moyen de 1,4 %, bien inférieur aux taux courants.

Tout cela renforce, s'il le fallait, l'idée de tester aussi bien des taux élevés que faibles pour permettre la discussion avec un ensemble de parties prenantes.

ANNEXE III SCÉNARIOS DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES POUR L'ENJEU CHALEUR ET SANTÉ

(Par Travis Logan)

Description brève des données:

Sélection de trois simulations CMIP5 (NOAA_GFDL-GFDL_ESM2M-r1i1p1_rcp45, NOAA_GFDL-GFDL_ESM2M-r1i1p1_rcp85, CCCMA-CanESM2-r1i1p1_rcp85)

Variables fournis:

- 1) Moyenne de mai à septembre des températures maximales quotidiennes (TmaxMJJS)
- 2) Fréquence de vagues de chaleur (FrqVagChal : 3 jours consécutifs avec tmin>22 & tmax>30)
- 3) Fréquence de journées avec tmax > 30deg C (FrqTmax30)

Horizon temporelle : 1976-2064

Post-traitement : 'Daily Translation' p/r aux données de station EC homogénéisée (station Dorval)

Format des données fournies : fichiers .csv

Région: Ville de Montréal

Description détaillée des méthodes utilisées :

Source des données : Un grand ensemble de simulations CMIP5 (voir Charron, 2014 pour une courte description) forcées par RCP 4.5 et RCP 8.5

Réduction du nombre de simulations :

Le nombre de simulations dans l'ensemble a été réduit en faisant une sélection (sélection faite par analyse par grappe) telle que la gamme des changements projetés de températures et de précipitations de l'ensemble d'origine et celle reproduite par la sélection ne sont pas statistiquement différents (tests Kolmogorov-Smirnoff sur les changements mensuels de températures et précipitations).

Post-traitement

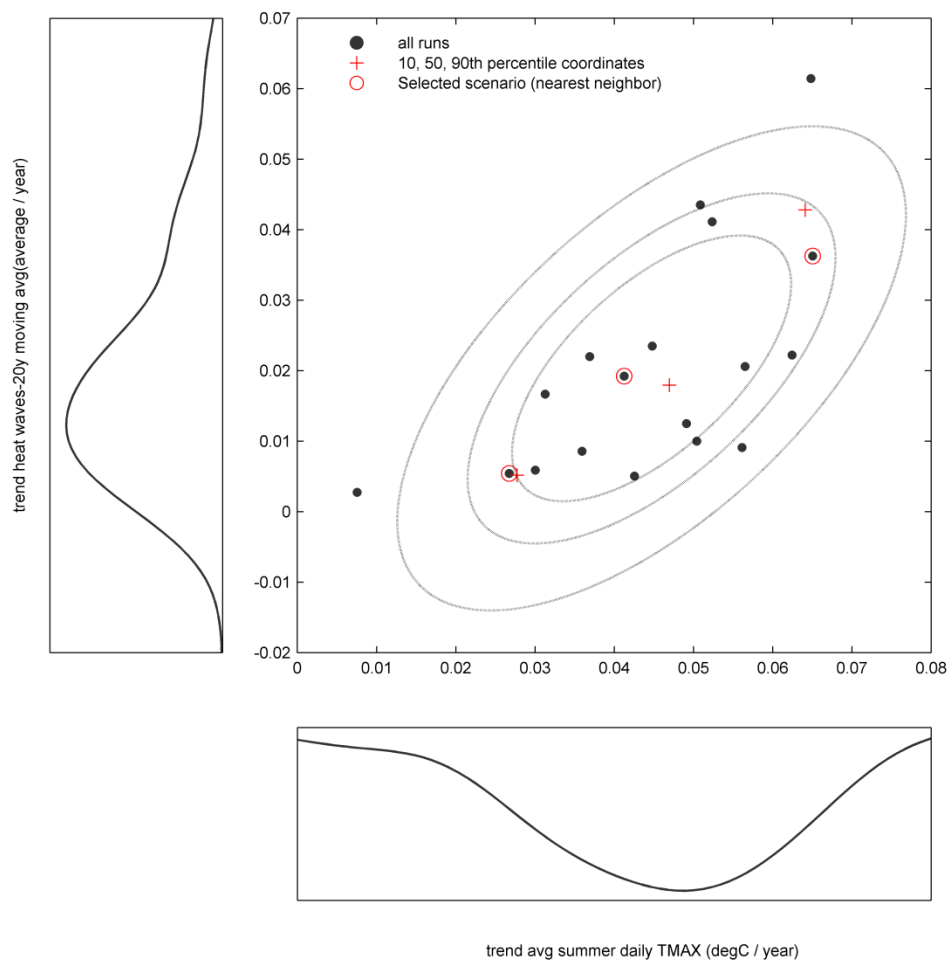
Les données brutes de températures maximales et minimales et précipitations totales quotidiennes des simulations climatiques sont ensuite corrigées par rapport aux données observées par une méthode quantile (méthode Daily translation de Mpelasoka & Chiew(2009)

Sélection des 3 scénarios retenus :

Finalement, seulement trois scénarios ont été retenus. Les trois ont été sélectionnés de façon à couvrir, le mieux que possible, les tendances dans les changements de températures et de fréquence de vagues de chaleur (figure 1). Pour chaque scénario climatique la tendance linéaire de 1976 – 2064 a été calculé sur les variables de TmaxMJS ainsi que la moyenne mobile de 20ans de FrqVagChal. Ensuite, les coordonnées des changements de 10^e, 50^e et 90^e percentiles dans les deux variables sont calculées (indiquées avec les croix rouges dans la figure 1) et le scénario climatique le plus proche (Nearest-Neighbor distance) de ces trois endroits est retenu.

Figure A-1

Diagramme de dispersion des tendances projetées de TmaxMJS et FrqVagChal pour les 18 scénarios climatiques, ainsi que la sélection des scénarios de 10^e, 50^e et 90^e percentiles.



ANNEXE IV VALEUR STATISTIQUE DE LA VIE HUMAINE

(Par Jean-Pierre Revéret)

La valeur statistique de la vie humaine peut être abordée selon plusieurs approches qui vont donner des résultats forts différents. Le choix de la méthode définit donc a priori les ordres de grandeur dans lesquelles on va se situer.

Lorsqu'il s'agit de choisir une telle valeur dans un projet, on peut, selon le cas, disposer d'une valeur tutélaire définie par un organisme légitime dans le pays concerné, comme c'est le cas pour d'autres valeurs tutélaires à utiliser dans toute étude de type coûts-avantages (par exemple la valeur tutélaire du carbone en France⁸⁵)

Baumstark et al.⁸⁶, dans un papier sur la valeur statistique de la vie humaine, qualifient bien les valeurs tutélaires dans ce contexte :

« Elles traduisent donc la valeur que l'État entend donner à ces effets non marchands et ont été fixées en fonction des attentes de la société telles qu'on peut les appréhender. Elles sont le fruit d'un compromis élaboré sur la base d'un dialogue entre économistes, partenaires économiques et sociaux et représentants des organisations non gouvernementales. En ce sens, le processus de production de ce référentiel constitue bien un acte politique par excellence et ne se substitue pas à lui. » (page 15)

Nous disposons ici d'une valeur tutélaire émise par le Conseil du Trésor du Canada et qui fixe cette valeur à 6,8 M\$ / année⁸⁷.

Si aucune valeur tutélaire n'est précisée, des recommandations quant à la méthodologie à suivre peuvent être formulées. C'est le cas du guide pour l'analyse coûts-avantages des projets publics en transport⁸⁸ qui dit:

Les valeurs découlant de l'application des deux méthodes (disposition à payer ajustée et capital humain) affichent des écarts très importants, le coût d'un décès étant évalué à 3,4 M\$ à partir de la méthode de la disposition à payer comparativement à un peu plus de 474 000 \$ selon la méthode du capital humain. Étant donné cet écart, il est suggéré que les analyses avantages-coûts effectuées au Ministère privilégient les valeurs établies selon la disposition à payer et qu'une analyse de sensibilité des résultats soit effectuée à l'aide des valeurs établies à partir de la méthode du capital humain. De cette façon, il sera possible de savoir si la rentabilité d'un projet donné repose seulement sur des valeurs de la vie humaine qui sont élevées.

On a donc ici une indication sur la façon de procéder mais pas réellement une valeur tutélaire énoncée comme telle.

⁸⁵ A. Quinet, 2009, La valeur tutélaire du carbone, Centre d'analyse stratégique, La documentation française, No 16.

⁸⁶ Baumstark, L. M-O Carrère et L. Rochaix, 2008, Mesures de la valeur de la vie humaine : usages et enjeux comparés dans les secteurs de la santé et des transports. Les tribunes de la santé, 200814 No 21 P41-55.

⁸⁷ Référence du Conseil du Trésor.

⁸⁸ Ferland, 2006.

L'étude de Lebeau et al., pour l'IRSST fait explicitement référence à ce guide dans le choix de la VSV retenue :

« La valeur statistique d'une vie humaine utilisée dans ce rapport se base sur le Guide de l'analyse avantages-coûts des projets publics en transport du ministère des Transports du Québec (MTQ, 2007). La VSV utilisée pour nos estimations est la même que celle utilisée dans ce guide, soit 3 234 381 \$ (2006), produite par la méthode de la disposition à payer. À l'aide de l'équation (10), nous obtenons ainsi une VLY de 139 927 \$.⁸⁹

Plusieurs études semblent toutefois indiquer qu'une valeur d'environ cinq millions de dollars (\$ CA 2000) serait plus indiquée (Bellavance et coll., 2009; Dionne et Lanoie, 2004; Knieser et coll., 2007). Nous avons opté pour la valeur utilisée au MTQ, parce qu'il s'agit selon nos recherches de la seule valeur qui a réellement été utilisée au niveau gouvernemental pour l'évaluation d'un projet impliquant la santé et la sécurité de la population québécoise. De plus, l'utilisation d'une plus faible valeur est en lien avec notre souci de ne pas surestimer les coûts des lésions professionnelles. »

Notons bien qu'il s'agit d'une étude sur les lésions professionnelles.

Pour mieux saisir les enjeux, faisons le tour des méthodes ou approches disponibles

L'approche par **le capital humain** mesure la valeur d'une vie humaine à partir de sa contribution au bien-être de la société. Elle se calcule en termes de revenus et de production. Dublin et Lotka (1947) la définissent comme étant la valeur actualisée des revenus nets futurs d'un individu. Cela correspond à ses revenus bruts moins ce qu'il dépense pour lui-même (soit sa consommation) (Dionne et Lebeau 2010b).

Parmi ses critiques :

- En se concentrant seulement sur les revenus elle oublie complètement le désir individuel de vivre et donc les préférences des individus (idem p 4)
- Identité entre PIB et Bien être est remise en cause
- Valeur nulle ou négative aux retraités, femmes au foyer et chômeur : équité et acceptabilité sociale de la méthode

Pour Baumstark, et al⁹⁰: *« Elle n'est plus utilisée aujourd'hui comme seul instrument de mesure et ne peut fournir, en tout état de cause, qu'une valeur plancher de la valeur statistique de la vie humaine. »*

L'approche par **Disposition à payer (ou consentement à payer ou willingness to pay)** est l'approche sans contredit la plus populaire dans la littérature économique et correspond donc à la somme qu'une société est prête à payer pour réduire l'exposition au risque de chacun de ses membres. (idem p. 6).

⁸⁹ Lebeau et al., 2014, page 25.

⁹⁰ Lebeau et al., 2014, page 25.

- Elle peut se faire par le biais des préférences révélées dans lesquelles on observe le comportement des individus sur un marché (salaire selon niveau de risque ou choix de consommation par exemple).
- Ou par analyse contingente sur lesquelles les préférences sont exprimées sur un marché fictif.

Dans cette approche, les limites de l'analyse contingente sont multiples et bien connues, le risque de différence entre l'énoncé et la pratique réelle est grand.

On préférera donc l'approche par les **préférences révélées**.

Au-delà de ces méthodes classiques, l'approche QALY (quality adjusted life-years) est souvent utilisée lorsqu'il s'agit d'évaluer un changement dans les risques concernant la santé et la mortalité d'un individu, en médecine et santé publique. (par exemple, choisir entre deux projets : le premier entraînant la sauvegarde de deux vies par année et deuxième de sauver une vie et une dizaine de blessés graves par an). On prend donc en compte les bénéfices de l'intervention en termes de quantité et qualité de vies sauvées.

Nous ne développons pas ce point ici, car cette approche est moins pertinente dans notre projet.

Revenons donc à Dionne et Lebeau (2010)⁹¹ qui synthétisent bien leur point de vue sur la façon de choisir une VSV :

« Quelle valeur utiliser pour évaluer des projets? Trois études semblent indiquer que lorsque les problèmes méthodologiques sont bien pris en compte, la valeur devrait se situer entre cinq et six millions de dollars de 2000 (Bellavance et al. , 2009; Dionne et Lanoie, 2004; Knieser et al. , 2007). L'étude de Bellavance et al. (2009) donne une valeur moyenne de 5,86 millions de dollars US 2000, avec un intervalle de confiance de 4,7 millions à 7,1 millions. »

Dans le cadre de ce travail, nous avons décidé de retenir la valeur dérivée du guide pour l'analyse coûts-avantages des projets publics en transport et ramenée en dollars de 2012 à savoir 3 642 438 \$.

⁹¹ Tiré de Dionne et Lebeau L'actualité économique, Vol 86, No 4, 2010 p 487-530
<http://www.erudit.org/revue/ae/2010/v86/n4/1005680ar.pdf>