



Les aléas affectés par les changements climatiques : effets sur la santé, vulnérabilités et mesures d'adaptation

SYNTHÈSE DES CONNAISSANCES

Les aléas affectés par les changements climatiques : effets sur la santé, vulnérabilités et mesures d'adaptation

SYNTHÈSE DES CONNAISSANCES

Direction de la santé environnementale et de la toxicologie

Mars 2021

AUTEUR

David Demers-Bouffard, M.ATDR, M.A., conseiller scientifique
Direction de la santé environnementale et de la toxicologie

SOUS LA COORDINATION DE

Céline Campagna, Ph. D., responsable scientifique du PACC 2013-2020 et conseillère scientifique spécialisée
Direction de la santé environnementale et de la toxicologie

AVEC LA COLLABORATION DE

Pierre Gosselin, M.D., M.P.H., médecin-conseil
Direction de la santé environnementale et de la toxicologie

Sami S. Qutob, Ph. D., chercheur scientifique
Bureau de la protection contre les rayonnements des produits cliniques et de consommation, Santé Canada

RÉVISEURS

L'INSPQ désire remercier sincèrement les personnes suivantes qui ont accepté de donner temps, expertise et commentaires sur le présent document :

Mariane Berrouard, conseillère en santé environnementale
Isabelle Demers, conseillère en santé environnementale
Ministère de la Santé et des Services sociaux

Catherine Bouchard, vétérinaire-épidémiologiste
Laboratoire national de microbiologie, Agence de la santé publique du Canada

Ray Bustinza, conseiller scientifique
Stéphane Buteau, conseiller scientifique spécialisé
Tamari Langlais, conseillère scientifique
Direction de la santé environnementale et de la toxicologie, Institut national de santé publique du Québec

Éric Lavigne, épidémiologiste principal
Division des sciences de la qualité de l'air et de la santé, Santé Canada

Lily Lessard, professeure et chercheuse régulière
Département des sciences de la santé, Université du Québec à Rimouski

Audrey Simon, conseillère principale à la recherche et co-coordonnatrice de l'Observatoire multipartite québécois sur les zoonoses et l'adaptation aux changements climatiques
Faculté de médecine vétérinaire, Université de Montréal

Les réviseurs ont été conviés à apporter des commentaires sur la version préfinale de cette production scientifique et, en conséquence, n'en ont pas révisé ni endossé le contenu final.

RÉVISION ET MISE EN PAGE

Véronique Paquet, agente administrative
Direction de la santé environnementale et de la toxicologie

FINANCEMENT

Cette étude est le fruit d'une collaboration entre l'Institut national de santé publique du Québec, Santé Canada et le centre Eau Terre Environnement de l'Institut national de la recherche scientifique. Sa réalisation a également été possible grâce à la participation financière du Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques du gouvernement du Québec.

Ce document est disponible intégralement en format électronique (PDF) sur le site Web de l'Institut national de santé publique du Québec au : <http://www.inspq.qc.ca>.

Les reproductions à des fins d'étude privée ou de recherche sont autorisées en vertu de l'article 29 de la Loi sur le droit d'auteur. Toute autre utilisation doit faire l'objet d'une autorisation du gouvernement du Québec qui détient les droits exclusifs de propriété intellectuelle sur ce document. Cette autorisation peut être obtenue en formulant une demande au guichet central du Service de la gestion des droits d'auteur des Publications du Québec à l'aide d'un formulaire en ligne accessible à l'adresse suivante : <http://www.droitsauteur.gouv.qc.ca/autorisation.php>, ou en écrivant un courriel à : droit.auteur@csppq.gouv.qc.ca.

Les données contenues dans le document peuvent être citées, à condition d'en mentionner la source.

Dépôt légal – 2^e trimestre 2021
Bibliothèque et Archives nationales du Québec
ISBN : 978-2-550-89126-0 (PDF)

© Gouvernement du Québec (2021)

Table des matières

Liste des tableaux.....	IX
Liste des figures.....	XI
Liste des sigles, acronymes, symboles et abréviations	XIII
Messages clés.....	1
Sommaire.....	3
1 Introduction	17
1.1 Mise en contexte et objectifs.....	17
1.2 Définition des principaux concepts	18
1.2.1 Scénarios climatiques.....	18
1.2.2 Risque, vulnérabilité et adaptation	19
1.2.3 Types de mesures d'adaptation aux changements climatiques	19
2 Méthode	23
2.1 Stratégie de recherche	23
2.2 Incertitude et priorisation.....	26
3 Réchauffement moyen, chaleurs extrêmes et vagues de chaleur.....	27
3.1 Les effets des changements climatiques sur les tendances et les projections de chaleurs.....	27
3.1.1 Réchauffement moyen.....	27
3.1.2 Chaleurs extrêmes et vagues de chaleur	28
3.2 Les effets de la chaleur sur la santé	29
3.2.1 Mortalité	29
3.2.2 Effets de l'humidité sur la santé.....	30
3.2.3 Morbidité physique	31
3.2.4 Santé périnatale	32
3.2.5 Santé psychosociale.....	32
3.2.6 Effets liés au temps passé à l'extérieur et à l'intérieur	33
3.3 Les populations à risque par rapport à la chaleur	34
3.3.1 Âge.....	34
3.3.2 Sexe et genre	35
3.3.3 Maladies chroniques.....	35
3.3.4 Prise de médicaments et abus de substances.....	36
3.3.5 Défavorisation matérielle et sociale	37
3.3.6 Ethnicité	37
3.3.7 Travail et sport	37
3.3.8 Zones d'îlots de chaleur et urbanité	38
3.4 Les mesures d'adaptation à la chaleur.....	39
3.4.1 Les mesures individuelles d'adaptation à la chaleur.....	39
3.4.2 Les mesures populationnelles et institutionnelles d'adaptation à la chaleur	41
3.4.3 Les mesures physiques d'adaptation à la chaleur	44
4 Froideur moyenne, froids extrêmes et vagues de froid	49

4.1	Les effets des changements climatiques sur les tendances et les projections de froids	49
4.2	Les effets du froid sur la santé.....	50
4.2.1	Effets généraux	50
4.2.2	Mortalité	50
4.2.3	Infections.....	51
4.2.4	Autres impacts	51
4.3	Les effets du froid comparativement aux effets de la chaleur	52
4.3.1	Différences historiques et géographiques	52
4.3.2	Projection de la mortalité d'ici 2100	53
4.4	Les populations à risque par rapport au froid	54
4.4.1	Âge, sexe et genre	54
4.4.2	Maladies préexistantes	55
4.4.3	Statut socio-économique.....	55
4.4.4	Itinérance.....	56
4.5	Les mesures d'adaptation au froid	57
4.5.1	Les mesures populationnelles et institutionnelles d'adaptation au froid.....	57
4.5.2	Les mesures physiques d'adaptation au froid.....	59
5	Tempêtes et précipitations	61
5.1	Les effets des changements climatiques sur les tendances et les projections de tempêtes et de précipitations	61
5.1.1	Tempêtes	61
5.1.2	Précipitations	62
5.2	Les effets des tempêtes et des précipitations sur la santé.....	63
5.2.1	Effets sur la santé des tempêtes.....	63
5.2.2	Effets sur la santé des précipitations.....	63
5.2.3	Effets sur la santé de la foudre	64
5.2.4	Accidents de la route	64
5.2.5	Activité physique.....	65
5.2.6	Effets sur la santé des pannes électriques	65
5.3	Les populations à risque par rapport aux tempêtes et aux précipitations.....	66
5.3.1	Âge	66
5.3.2	Sexe et genre	66
5.3.3	Travail et logement.....	67
5.4	Les mesures d'adaptation aux tempêtes et aux précipitations	69
5.4.1	Les mesures populationnelles et institutionnelles d'adaptation aux tempêtes et aux précipitations.....	69
5.4.2	Les mesures physiques d'adaptation aux tempêtes et aux précipitations	70
6	Inondations, submersions côtières et érosion côtière.....	73
6.1	Les effets des changements climatiques sur les tendances et les projections d'inondations, de submersions côtières et d'érosion côtière	73
6.1.1	Inondations.....	73
6.1.2	Hausse du niveau de la mer, submersions côtières et érosion côtière.....	74

6.2	Les effets sur la santé des inondations, des submersions côtières et de l'érosion côtière	74
6.2.1	Effets sur la santé des inondations.....	74
6.2.2	Effets sur la santé des submersions côtières.....	77
6.2.3	Effets sur la santé de l'érosion côtière.....	78
6.2.4	Effets sur la santé des pannes électriques.....	78
6.3	Les populations à risque par rapport aux inondations, aux submersions côtières et à l'érosion côtière	78
6.3.1	Âge.....	78
6.3.2	Sexe et genre.....	79
6.3.3	Maladies préexistantes.....	79
6.3.4	Statut socio-économique	80
6.3.5	Travail.....	80
6.4	Les mesures d'adaptation aux inondations, aux submersions côtières et à l'érosion côtière	81
6.4.1	Les mesures individuelles d'adaptation aux inondations, aux submersions côtières et à l'érosion côtière.....	81
6.4.2	Les mesures populationnelles et institutionnelles d'adaptation aux inondations, aux submersions côtières et à l'érosion côtière	83
6.4.3	Les mesures physiques d'adaptation aux inondations, aux submersions côtières et à l'érosion côtière.....	88
7	Pollution de l'air ambiant.....	91
7.1	Les effets des changements climatiques sur les tendances et les projections de la pollution de l'air ambiant	91
7.1.1	Concentrations d'ozone et de particules fines.....	92
7.1.2	Milieu intérieur et comportements	92
7.1.3	Effets nets des changements climatiques sur l'exposition aux polluants de l'air ambiant	93
7.2	Les effets de la pollution de l'air ambiant sur la santé.....	94
7.2.1	Effets généraux.....	94
7.2.2	Effets associés aux changements climatiques.....	98
7.3	Les populations à risque par rapport à la pollution de l'air ambiant.....	99
7.3.1	Âge.....	99
7.3.2	Sexe	100
7.3.3	Défavorisation et ethnicité	100
7.3.4	Maladies préexistantes.....	101
7.3.5	Travail et sport	102
7.3.6	Urbanité et ruralité	102
7.4	Les mesures d'adaptation à la pollution de l'air ambiant.....	103
7.4.1	Les mesures individuelles d'adaptation à la pollution de l'air ambiant.....	103
7.4.2	Les mesures populationnelles et institutionnelles d'adaptation à la pollution de l'air ambiant	104
7.4.3	Les mesures physiques d'adaptation à la pollution de l'air ambiant	107
8	Allergènes.....	115

8.1	Les effets des changements climatiques sur les tendances et les projections des sources d'allergènes	115
8.1.1	Croissance, expansion et allergénicité des plantes allergènes	115
8.1.2	Autres allergènes influencés par les changements climatiques	116
8.2	Les effets des allergènes sur la santé.....	116
8.2.1	Allergies.....	116
8.2.2	Asthme	117
8.2.3	Santé psychologique.....	119
8.2.4	Maladies cardiovasculaires et santé périnatale.....	119
8.2.5	Coûts sociaux des effets sur la santé.....	119
8.3	Les populations à risque par rapport aux allergènes	120
8.3.1	Âge	120
8.3.2	Sexe	121
8.3.3	Statut socio-économique.....	121
8.3.4	Habitudes de vie	122
8.3.5	Localisation	122
8.4	Les mesures d'adaptation aux allergènes	123
8.4.1	Les mesures individuelles d'adaptation aux allergènes	123
8.4.2	Les mesures populationnelles et institutionnelles d'adaptation aux allergènes	124
8.4.3	Les mesures physiques d'adaptation aux allergènes.....	125
9	Feux de forêt.....	129
9.1	Les effets des changements climatiques sur les tendances et les projections de feux de forêt	129
9.1.1	Données historiques	129
9.1.2	Projections	129
9.1.3	Effets en cascade des feux de forêt	131
9.2	Les effets des feux de forêt sur la santé.....	131
9.2.1	Mortalité	131
9.2.2	Maladies respiratoires et cardiovasculaires.....	132
9.2.3	Santé psychosociale	133
9.3	Les populations à risque par rapport aux feux de forêt	133
9.3.1	Âge	133
9.3.2	Statut socio-économique, sexe et genre.....	134
9.3.3	Travail	135
9.4	Les mesures d'adaptation aux feux de forêt	136
9.4.1	Les mesures individuelles d'adaptation aux feux de forêt	136
9.4.2	Les mesures populationnelles et institutionnelles d'adaptation aux feux de forêt	136
9.4.3	Les mesures physiques d'adaptation aux feux de forêt.....	138
10	Sécheresses, improductivité agricole et insécurité alimentaire	141
10.1	Les effets des changements climatiques sur les tendances et les projections de sécheresses, de l'improductivité agricole et de l'insécurité alimentaire	141
10.1.1	Sécheresses.....	141

10.1.2	Improductivité agricole	142
10.1.3	Chasse et pêche	144
10.1.4	Insécurité alimentaire	144
10.2	Les effets des sécheresses, de l'improductivité agricole et de l'insécurité alimentaire sur la santé.....	145
10.2.1	Effets sur la santé des sécheresses et de l'improductivité agricole	145
10.2.2	Effets sur la santé de l'insécurité alimentaire	148
10.3	Les populations à risque par rapport aux sécheresses, à l'improductivité agricole et à l'insécurité alimentaire	149
10.3.1	Sécheresse et improductivité agricole	149
10.3.2	Insécurité alimentaire	151
10.4	Les mesures d'adaptation aux sécheresses, à l'improductivité agricole et à l'insécurité alimentaire	153
10.4.1	Les mesures individuelles d'adaptation à l'insécurité alimentaire	153
10.4.2	Les mesures populationnelles et institutionnelles d'adaptation aux sécheresses, à l'improductivité agricole et à l'insécurité alimentaire	154
10.4.3	Les mesures physiques d'adaptation aux sécheresses, à l'improductivité agricole et à l'insécurité alimentaire	158
11	Pollution de l'eau et insalubrité des aliments	165
11.1	Les effets des changements climatiques sur la pollution de l'eau et l'insalubrité des aliments.....	165
11.1.1	Général.....	165
11.1.2	Chaleur.....	166
11.1.3	Précipitations	166
11.1.4	Inondations	167
11.1.5	Sécheresses et feux de forêt.....	167
11.2	Les effets de la pollution de l'eau et de l'insalubrité alimentaire sur la santé.....	168
11.2.1	Maladies d'origine hydrique.....	168
11.2.2	Maladies d'origine alimentaire	169
11.3	Les populations à risque par rapport à la pollution de l'eau et à l'insalubrité des aliments.....	171
11.3.1	Général.....	171
11.3.2	Ruralité.....	172
11.4	Les mesures d'adaptation à la pollution de l'eau et à l'insalubrité des aliments.....	174
11.4.1	Les mesures populationnelles et institutionnelles d'adaptation à la pollution de l'eau et à l'insalubrité des aliments.....	174
11.4.2	Les mesures physiques d'adaptation à la pollution de l'eau et à l'insalubrité alimentaire.....	175
12	Zoonoses	179
12.1	Les effets des changements climatiques sur les tendances et les projections des sources de zoonoses.....	179
12.1.1	Général.....	179
12.1.2	Tiques.....	180
12.1.3	Moustiques	181
12.1.4	Mammifères et oiseaux.....	183

12.2	Les effets des zoonoses sur la santé.....	185
12.2.1	Maladie de Lyme et autres maladies transmises par les tiques.....	185
12.2.2	Virus du Nil occidental et autres maladies transmises par les moustiques	187
12.2.3	Autres zoonoses.....	189
12.3	Les populations à risque par rapport aux zoonoses	190
12.3.1	Âge, sexe, genre et maladies chroniques.....	190
12.3.2	Travail extérieur et ruralité.....	191
12.4	Les mesures d'adaptation aux zoonoses	191
12.4.1	Les mesures individuelles d'adaptation aux zoonoses	191
12.4.2	Les mesures populationnelles et institutionnelles d'adaptation aux zoonoses ...	192
12.4.3	Les mesures physiques d'adaptation aux zoonoses.....	197
13	Rayons ultraviolets.....	201
13.1	Les effets des changements climatiques sur les tendances et les projections de rayons ultraviolets	201
13.2	Effets des rayons ultraviolets sur la santé	201
13.2.1	Cancer de la peau et problèmes oculaires	201
13.2.2	Effets sur la santé en lien avec la vitamine D.....	202
13.2.3	Autres effets sur la santé	203
13.3	Les populations à risque par rapport aux rayons ultraviolets	203
13.4	Les mesures d'adaptation aux rayons ultraviolets	204
13.4.1	Les mesures individuelles d'adaptation aux rayons ultraviolets	204
13.4.2	Les mesures populationnelles et institutionnelles d'adaptation aux rayons ultraviolets	204
13.4.3	Les mesures physiques d'adaptation aux rayons ultraviolets.....	205
14	Glissements de terrain, avalanches et dégel du pergélisol	207
14.1	Les effets des changements climatiques sur les tendances et les projections de glissements de terrains, d'avalanches et de dégel du pergélisol.....	207
14.1.1	Glissements de terrain	207
14.1.2	Avalanches	207
14.1.3	Dégel du pergélisol	207
14.2	Les effets des glissements de terrain, des avalanches et du dégel du pergélisol sur la santé	208
14.2.1	Effets des glissements de terrain sur la santé	208
14.2.2	Effets des avalanches sur la santé.....	208
14.2.3	Effets du dégel du pergélisol ou des glaces sur la santé	209
14.3	Les populations à risque par rapport aux glissements de terrain, aux avalanches et au dégel du pergélisol ou des glaces	210
14.4	Les mesures d'adaptation aux glissements de terrain, aux avalanches et au dégel du pergélisol ou des glaces	210
14.4.1	Les mesures d'adaptation aux glissements de terrain	210
14.4.2	Les mesures d'adaptation aux avalanches	211
14.4.3	Les mesures d'adaptation au dégel du pergélisol ou des glaces	211
15	Limites et lacunes	213
15.1	Limites du document	213

15.2	Lacunes ressorties dans les études recensées dans la revue de la littérature	214
16	Conclusion	219
17	Bibliographie.....	221
Annexe 1	Stratégie de recherche	339

Les [hyperliens](#) menant à des pages Web apparaissent en bleu et sont soulignés d'un trait plein; les **renvois** au sein du document apparaissent en bleu foncé.

Liste des tableaux

Tableau 1	Définitions de concepts en lien avec les changements climatiques	20
Tableau 2	Exemples de mesures mises en place par le réseau de la santé et des services sociaux pour les chaleurs extrêmes et les vagues de chaleur	42
Tableau 3	Surmortalité associée à la chaleur et au froid ainsi que l'effet net sur la surmortalité au Canada en comparaison avec l'horizon temporel 2010-2019 selon les scénarios de changements climatiques	53
Tableau 4	Seuils de surmortalité ou de surhospitalisation associés aux températures froides	58
Tableau 5	Mesures d'adaptation mises en œuvre par les résidents sondés habitant en zone inondable.....	82
Tableau 6	Réduction du nombre de décès découlant de la pollution atmosphérique pour le scénario RCP4.5 par rapport à l'an 2000, comparativement à un scénario de laisser-faire	109
Tableau 7	Effets estimés sur la santé, la charge des établissements et la productivité de la réduction des polluants atmosphériques attribuables à la canopée (2010).....	112
Tableau 8	Sensibilisation et mesures d'adaptation adoptées au Québec et dans l'ensemble des provinces canadiennes par rapport à la maladie de Lyme selon un sondage pancanadien.....	194

Liste des figures

Figure 1	Concentrations de CO ₂ en fonction des scénarios climatiques du GIEC	19
Figure 2	Schéma conceptuel présentant le risque d'impact et l'adaptation aux changements climatiques	21
Figure 3	Diagramme par étape des résultats de la revue exploratoire de la littérature.....	25
Figure 4	Températures moyennes annuelles projetées pour la province de Québec	28
Figure 5	Pourcentages de personnes inondées déclarant avoir subi des impacts psychologiques un an après les inondations de 2019, en fonction du niveau d'exposition.....	76
Figure 6	Cartes d'indice de gravité saisonnier des feux de forêt	130
Figure 7	Cartes des risques historiques et projetés relatifs à la propagation d' <i>I. scapularis</i> selon un scénario d'émissions élevées de GES (A2)	182
Figure 8	Nombre de cas liés à la maladie de Lyme au Québec de 2011 à 2019	186
Figure 9	Nombre de cas déclarés de personnes infectées par le virus du Nil occidental au Québec de 2010 à 2018.....	188

Liste des sigles, acronymes, symboles et abréviations

AAIQ	Association des Allergologues et Immunologues du Québec
ACD	Association canadienne de dermatologie
ACIA	Agence canadienne d'inspection des aliments
ANSSAET	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
AOR	<i>Adjusted odds ratio</i>
AR4	4 ^e rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
AR5	5 ^e rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
ASPC	Agence de la santé publique du Canada
AVC	Accident vasculaire cérébral
BCCDC	British Columbia Centre for Disease Control
CAC	Conseil des académies canadiennes
CCHST	Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail
CCME	Conseil canadien des ministres de l'environnement
CCNSE	Centre de collaboration nationale en santé environnementale
CDC	Centers for Disease Control and Prevention
CEHQ	Centre d'expertise hydrique du Québec
CH ₄	Méthane
CHSLD	Centre d'hébergement et de soins de longue durée
CIRAIG	Centre international de référence sur le cycle de vie des produits, procédés et services
CIRC	Centre international de recherche sur le cancer/International Agency for Research on Cancer
CO ₂	Dioxyde de carbone
COV	Composé organique volatil
CRAAQ	Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec
DEET	Diéthyltoluamide
°C	Degré Celsius

Les aléas affectés par les changements climatiques :
effets sur la santé, vulnérabilités et mesures d'adaptation

DSPublique	Direction de santé publique
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
ECCC	Environnement et Changement climatique Canada
EEE	Encéphalite équine de l'Est
EME	Événement météorologique extrême
EQSP	Enquête québécoise sur la santé de la population
ESCC	Enquête sur la santé dans les collectivités canadiennes
FADQ	La Financière agricole du Québec
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
HEPA	<i>High efficiency particulate air</i>
HR	<i>Hazard ratio</i>
IARC	International Agency for Research on Cancer/Centre international de recherche sur le cancer
IC 95 %	Intervalle de confiance à 95 %
ICLR	Institute for Catastrophic Loss Reduction/Institut de prévention des sinistres catastrophiques
ICU	Îlot de chaleur urbain
IMC	Indice de masse corporelle
INRS-ETE	Institut national de la recherche scientifique – Centre Eau Terre Environnement
INSPQ	Institut national de santé publique du Québec
IPSC	Institut de prévention des sinistres catastrophiques/Institute for Catastrophic Loss Reduction
IQA	Indice de qualité de l'air
km	Kilomètre
km ²	Kilomètre carré
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
m	Mètre

m ²	Mètre carré
MAMOT	Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire
MAPAQ	Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec
MDDELCC	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (maintenant le MELCC)
MELCC	Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
MFFP	Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs
µg/m ³	Microgramme par mètre cubique d'air
mm	Millimètre
MPOC	Maladie pulmonaire obstructive chronique
MRAS	Maladie rhumatismale auto-immune systémique
MSP	Ministère de la Sécurité publique
MSSS	Ministère de la Santé et des Services sociaux
N ₂ O	Protoxyde d'azote
NO _x	Oxyde d'azote
O ³	Ozone
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
OGM	Organisme génétiquement modifié
OMS	Organisation mondiale de la Santé/World Health Organization
OQACC	Observatoire québécois de l'adaptation aux changements climatiques
OR	<i>Odds ratio</i>
PI	<i>Prediction interval</i>
PM _{0,1}	Particules ultrafines
PM ₁₀	Particules fines de 10 microns ou moins
PM _{2,5}	Particules fines de 2,5 microns ou moins
ppb	Parties par milliard
ppm	Parties par million
QAI	Qualité de l'air intérieur

Les aléas affectés par les changements climatiques :
effets sur la santé, vulnérabilités et mesures d'adaptation

RAIZO	Réseau d'alerte et d'information zoonitaire
RBQ	Régie du bâtiment du Québec
RCP	<i>Representative Concentration Pathways</i>
RNC	Ressources naturelles Canada
ROBVQ	Regroupement des organismes de bassins versants du Québec
RR	Risque relatif
RSS	Région sociosanitaire
SCC	Société canadienne du cancer
SO ₂	Dioxyde de soufre
SOPFEU	Société de protection des forêts contre le feu
SPH	Syndrome pulmonaire à hantavirus
SUPREME	Système de surveillance et de prévention des impacts sanitaires des événements météorologiques extrêmes
TDAH	Trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité
Tmax	Température maximale
Tmin	Température minimale
TSA	Trouble du spectre de l'autisme
UV	Rayon ultraviolet
UVA	Rayon ultraviolet A
UVB	Rayon ultraviolet B
VNO	Virus du Nil occidental
VUS	Véhicule utilitaire sport
VZE	Véhicule zéro émission
W/m ²	Watt par mètre carré
WHO	World Health Organization/Organisation mondiale de la Santé

Messages clés

- Plusieurs aléas affectant le Québec devraient s'intensifier avec les changements climatiques. Les chaleurs et les précipitations extrêmes, la transmission de zoonoses, les inondations estivales et automnales, les pollens, l'érosion côtière, le dégel du pergélisol, les submersions côtières et les incendies de forêt en font partie. À l'inverse, d'autres aléas, dont les froids extrêmes et les inondations printanières, pourraient plutôt s'atténuer. L'effet des changements climatiques sur les sécheresses, les glissements de terrain, les avalanches, l'exposition aux rayons ultraviolets ainsi que la pollution de l'air ambiant et de l'eau demeure plus incertain.
- Même si les changements climatiques pourront réduire les impacts de certains aléas, leurs effets généraux sur la santé physique, mentale et sociale sont appelés à s'aggraver sans la mise en place de mesures substantielles d'adaptation. Par exemple, l'augmentation projetée des effets de la chaleur sur la santé surpasse la diminution des effets du froid sur la santé pour la plupart des régions. Les maladies cardiovasculaires ou respiratoires, les maladies infectieuses, les allergies, l'insécurité alimentaire, l'anxiété, la dépression ainsi qu'une diminution du sentiment d'appartenance à la communauté ou de la cohésion sociale font partie des impacts pouvant être associés aux changements climatiques.
- L'âge, les maladies chroniques, le revenu, le niveau de mobilité, le réseau social ainsi que la perception du risque sont tous des facteurs affectant la sensibilité aux aléas de même que la capacité des individus à s'y adapter. Par conséquent, le vieillissement de la population, l'adoption accrue de mauvaises habitudes de vie, l'effritement social des communautés et les inégalités socio-économiques peuvent aggraver les effets néfastes des aléas sur les individus. Les populations autochtones et rurales doivent également composer avec un accès souvent limité aux ressources financières, sociales, sanitaires et humaines pour faire face aux aléas, tout en étant plus sensibles aux perturbations environnementales.
- Les autorités provinciales, municipales et sanitaires jouent un rôle déterminant dans l'adaptation aux changements climatiques. Plusieurs aléas, tels que les sécheresses, les tempêtes et les précipitations abondantes, sont généralement moins considérés par ces dernières, et la prise en compte des populations vulnérables dans les mesures d'adaptation s'avère insuffisante. Le verdissement des milieux de vie, l'établissement de zones à risque, les systèmes d'alertes précoces, une planification territoriale intégrée et la sensibilisation des populations figurent parmi les solutions pouvant diminuer à terme l'exposition et la vulnérabilité aux aléas affectés par les changements climatiques.

Sommaire

Ce document synthétise les plus récentes connaissances sur les impacts sanitaires, les facteurs de vulnérabilité et les mesures d'adaptation associées aux aléas afin de présenter un portrait global de l'information contenue dans la littérature scientifique. Les résultats présentés dans ce document sont issus d'une revue exploratoire de la littérature comprenant environ 1 600 références au total. Étant donné la nature exploratoire de la démarche, les résultats ne représentent pas nécessairement l'ensemble de l'état des connaissances actuelles sur le sujet, bien qu'ils indiquent des tendances. Le contenu se concentre sur les effets répertoriés au Québec ou au Canada, mais des résultats d'ailleurs, principalement des pays industrialisés (p. ex., États-Unis, France, Angleterre, pays scandinaves), sont aussi inclus.

Impact des changements climatiques sur les aléas

L'effet des changements climatiques devrait augmenter la probabilité d'occurrence et l'intensité de la majorité des aléas, particulièrement si les gaz à effet de serre (GES) continuent à être émis au rythme actuel. En considérant une hausse continue des émissions (scénario RCP8.5¹), les principales répercussions sur ces aléas au Québec seraient les suivantes :

- Augmentation de 2,7 du nombre moyen de journées de chaleurs extrêmes ($T_{max}^2 > 30\text{ °C}$) pour 2031-2050 et de 14,5 pour 2081-2100 par rapport à la période 1948-2016, et accroissement de leur intensité et de leur durée;
- Accroissement d'environ 10 % du volume annuel moyen de précipitations pour 2031-2050 et de 23 % pour 2081-2100, avec une augmentation possible des précipitations annuelles maximales en 24 heures allant jusqu'à près de 30 % pour 2081-2100;
- Augmentation probable des inondations pluviales (été et automne) à cause de l'intensification des périodes de pluies abondantes;
- Intensification de l'érosion côtière et des submersions côtières en raison de l'élévation du niveau de la mer, de la diminution du couvert de glace et d'une possible augmentation de l'occurrence de tempête;
- Augmentation possible des quantités de particules fines et d'ozone si les quantités de polluants émises augmentent ou restent similaires, surtout en été, puisque la chaleur favorise la suspension de ces particules et la formation d'ozone;
- Allongement de la saison pollinique, expansion territoriale des espèces allergènes et accroissement des concentrations de pollens ou de spores fongiques découlant entre autres de l'allongement de la saison de croissance;
- Augmentation de la superficie brûlée de forêt et de la sévérité des incendies de forêt d'ici la fin du siècle;
- Prolifération possible de bactéries et d'autres agents pathogènes dans les eaux (naturelles ou récréatives) à cause du réchauffement des températures et des extrêmes de précipitations;
- Expansion du territoire habité par les vecteurs et les hôtes de maladies transmissibles de l'animal (incluant les insectes) à l'homme (zoonoses : p. ex., maladie de Lyme et virus du Nil occidental [VNO]) et prolifération de leurs populations;

¹ *Representative Concentration Pathways.*

² Température maximale.

- Accélération du dégel du pergélisol dans le nord du Québec et augmentation potentielle du nombre de glissements de terrain à cause de l'intensification des épisodes de précipitations extrêmes.

Dans la plupart des cas, ces effets des changements climatiques sur les aléas se sont déjà avérés et devraient ainsi vraisemblablement s'intensifier. Malgré le fait qu'ils auront globalement des effets négatifs, les changements climatiques pourraient aussi avoir quelques effets positifs. Principalement, les froids extrêmes devraient s'amenuiser, même si cet effet ne devrait pas compenser l'amplification des chaleurs extrêmes. La diminution du couvert de neige pourrait aussi atténuer les inondations printanières dans les grands bassins versants. Pour les incendies de forêt, la superficie brûlée et leur intensité pourraient décliner légèrement d'ici la moitié du siècle, avant de s'accroître à un niveau supérieur d'ici la fin du 21^e siècle. Finalement, les nouvelles opportunités de culture devraient également favoriser la santé des populations vivant de l'industrie agricole et la sécurité alimentaire, même si les ravageurs et les événements météorologiques extrêmes (EME) tels que les sécheresses pourraient restreindre partiellement ou complètement ces bénéfices potentiels.

D'un autre côté, les effets des changements climatiques sur certains aléas restent encore très incertains. L'effet sur les vents, les tornades, les tempêtes ainsi que les précipitations atypiques telles que le verglas et le grésil sont difficiles à estimer étant donné la grande influence de caractéristiques locales et la complexité liée à leur modélisation. Les sécheresses affichent aussi des effets contradictoires. Alors qu'un déficit hydrique des sols pourrait survenir plus régulièrement, le nombre de jours consécutifs sans précipitations n'augmenterait pas nécessairement selon les projections. L'effet des extrêmes de précipitations sur la pollution de l'eau reste également ambigu. Il en va de même pour l'impact des changements climatiques sur les nuages et la formation d'ozone à haute altitude, empêchant ainsi d'évaluer l'effet sur l'exposition aux rayons ultraviolets (UV). Même dans le cas des inondations, un grand niveau d'incertitude subsiste étant donné les effets parfois inverses des changements climatiques sur les facteurs influençant les crues (p. ex., précipitations extrêmes par rapport à la diminution du couvert de neige et de glace).

L'effet des changements climatiques sur l'exposition aux aléas est d'autant plus complexe à évaluer du fait qu'ils influencent les comportements des individus. Par exemple, l'allongement de la période estivale les incite à diminuer le temps passé à l'intérieur, même si les EME, tels que les vagues de chaleur et les précipitations abondantes, pourraient atténuer cette propension. Une augmentation du temps passé à l'extérieur peut s'avérer bénéfique sur le plan de l'activité physique et des rencontres sociales, bien qu'elle expose également davantage les individus aux aléas ambiants, entre autres les UV, les pollens allergènes, les vecteurs de zoonoses comme les moustiques ou les tiques et les polluants atmosphériques.

À ces incertitudes, il faut ajouter que l'ampleur, et dans certains cas la direction de ces impacts, dépendra fortement des quantités de GES émises. Plusieurs des effets énumérés plus haut seraient atténués ou pourraient disparaître en cas d'une forte réduction des émissions de GES. Néanmoins, même dans le cas d'un scénario d'émissions modérées, plusieurs aléas, dont les chaleurs extrêmes, les pollens allergènes, l'érosion côtière et les zoonoses, sont voués à s'intensifier dans les prochaines décennies. De plus, plusieurs de ces aléas seront influencés par d'autres facteurs que le climat, entre autres l'aménagement du territoire, la démographie, les habitudes de vie de même que les quantités et le type de polluants atmosphériques émis. Une adaptation sociétale accrue aux changements climatiques diminuerait également les conséquences pressenties des aléas affectés par les changements climatiques.

Effets des aléas sur la santé

L'effet des changements climatiques sur la santé peut se décliner en huit grandes catégories : les problèmes physiques non chroniques et non traumatiques, les maladies chroniques, les maladies infectieuses, les blessures ou les traumatismes physiques non intentionnels, les problèmes périnataux, les effets sur la santé mentale, les effets sociaux et la mortalité. Dans l'ensemble, ces impacts ont et auront des répercussions sur la charge du réseau de la santé et des services sociaux, que ce soit sur le plan des consultations, des admissions à l'urgence, des hospitalisations, de la prescription de médicaments ou de la productivité du personnel.

Problèmes physiques non chroniques et non traumatiques

Les aléas affectés par les changements climatiques peuvent provoquer des effets aigus et temporaires n'étant pas considérés comme des maladies, mais tirant plutôt de l'inconfort ou de la perte de bien-être. La chaleur, par exemple, peut causer de la déshydratation, des déséquilibres hydroélectrolytiques, de la faiblesse, de l'inconfort thermique et, ultimement, des coups de chaleur. La chaleur, ainsi que le froid, peuvent aussi affecter le sommeil et la nutrition (p. ex., difficulté à dormir, diminution de l'appétit). Quant aux UV, lorsque le ciel est dégagé, ils peuvent éblouir et entraîner un inconfort oculaire. Le vent et les précipitations peuvent aussi occasionner des inconforts et des problèmes de peau (p. ex., irritation), en plus d'entraver la communication. Finalement, les polluants de l'air ambiant, incluant les allergènes, découlant entre autres des chaleurs extrêmes, des sécheresses et des incendies de forêt, peuvent aussi causer des irritations cutanées ou oculaires, des éternuements, des maux de gorge et des difficultés respiratoires.

Blessures et traumatismes physiques non intentionnels

Les inondations et les tempêtes peuvent causer des blessures pendant l'événement et lors du rétablissement (p. ex., électrocutions, coupures, lacérations). La période de rétablissement y est particulièrement propice, alors que les structures (p. ex., logements, arbres) sont fragilisées et que certains outils dangereux (p. ex., scies mécaniques, échelles) doivent être utilisés. De plus, le froid et les pannes électriques qui en découlent peuvent mener à l'utilisation d'appareils de chauffage ou de cuisson d'appoint (p. ex., poêle à bois, génératrice, barbecue), qui est associée à un risque d'intoxication au monoxyde de carbone et de brûlure.

Les vents et les précipitations glacées (p. ex., verglas, pluie suivie de froid) amènent des chutes, et ainsi des blessures à la hanche, au poignet ou à la tête. Les malaises causés par la chaleur peuvent aussi augmenter le risque de chute et d'accident de travail. Outre les chutes, les conditions météorologiques affectent la sécurité routière. Les précipitations de neige tendront à augmenter le taux de collisions, mais à réduire le taux de mortalité à cause de l'adaptation de la conduite, et inversement pour les précipitations de pluie. Finalement, la foudre, dont les changements climatiques pourraient en accroître l'intensité, peut occasionner toute sorte de blessures causant des séquelles neurologiques et physiques importantes, même s'il s'agit d'un événement rare.

Maladies chroniques

Le stress causé par les EME peut exacerber une variété de maladies chroniques existantes et en provoquer certaines. Les chaleurs extrêmes, par exemple, peuvent causer certains problèmes cardiaques (p. ex., infarctus), respiratoires (p. ex., asthme) et rénaux, en plus d'aggraver les complications associées au diabète, entre autres en augmentant la déshydratation, l'inflammation et le niveau de toxines dans le corps. D'autres aléas, comme les inondations et les polluants atmosphériques, affichent aussi des associations avec les complications liées au diabète. Les EME peuvent limiter l'accès aux médicaments pour certaines maladies chroniques, ou décourager leur

utilisation. Les précipitations de neige sont aussi propices aux accidents cardiaques à cause de l'effort accru requis lors du déneigement et des déplacements dans la neige, en plus de l'effet hypertensif du froid. Le réchauffement des températures hivernales pourrait toutefois affecter positivement les cas de maladies cardiovasculaires et respiratoires associées au froid.

Les incendies de forêt, les épisodes de smog et les polluants atmosphériques plus généralement affectent la santé pulmonaire (p. ex., cancers du poumon, asthme, maladie pulmonaire obstructive chronique [MPOC], etc.) et la santé cardiovasculaire. Les périodes de sécheresse pourraient contribuer à l'apparition de ces maladies en favorisant le transport des polluants et en attisant les incendies de forêt. De manière plus incertaine, une exposition accrue aux UV à cause de l'allongement de la période estivale pourrait aussi avoir une incidence sur les cancers de la peau, les problèmes oculaires et les carences en vitamine D. Sur le plan neurologique, les polluants atmosphériques peuvent contribuer au développement précoce de la démence, de la maladie d'Alzheimer et de la maladie de Parkinson.

Les changements climatiques affectent également les allergies. L'augmentation des concentrations d'allergènes (pollens et spores) peut non seulement accentuer les symptômes des personnes allergiques, mais augmenter à la fois le nombre de personnes subissant ces symptômes. Ces allergies environnementales pourraient également se répercuter sur la prévalence d'allergies alimentaires, de l'asthme et de l'eczéma dans la population. Les polluants atmosphériques peuvent aussi sensibiliser les individus aux allergies. Certains aléas jouent également un rôle dans les problèmes immunitaires. En particulier, les polluants atmosphériques et les UV tendent à réduire la réponse immunitaire, à l'inverse des pollens allergènes. Cet effet peut se répercuter entre autres sur la prévalence de maladies auto-immunes et la sensibilité aux maladies infectieuses.

Les pertes financières associées aux EME peuvent aussi entraîner un état d'insécurité alimentaire ou de précarité énergétique et, conséquemment, forcer une alimentation non adéquate ou la résidence dans un logement chaud ou froid. Néanmoins, une augmentation de la productivité des activités agricoles ou d'élevage pourrait diminuer cet effet pour certaines populations. L'insécurité alimentaire est associée à une multitude de maladies chroniques comme le diabète, l'arthrite, les maladies cardiovasculaires, l'hépatite et l'hypertension.

Maladies infectieuses

Les changements climatiques pourraient accroître la prévalence de maladies d'origine hydrique ou alimentaire. Dans la plupart des cas, les populations de bactéries croissent davantage lors des températures chaudes et humides. Le nombre de cas de salmonellose, de légionellose et d'autres infections causées par des agents pathogènes tels qu'*Escherichia coli* (*E. coli*) ou *Campylobacter* pourraient ainsi augmenter. Bien qu'ils ne soient pas fatals, ces agents pathogènes provoquent généralement des symptômes gastro-intestinaux pouvant handicaper une personne pendant plusieurs jours, voire plusieurs semaines. Le réchauffement des eaux pourrait aussi favoriser la prolifération des bactéries du type *Vibrio* et des concentrations de cyanobactéries dans les produits de la mer, avec comme conséquences potentielles la mort et les intoxications alimentaires, respectivement.

De plus, avec l'expansion projetée des hôtes et des vecteurs de zoonoses, tels que les tiques et les moustiques, les changements climatiques devraient accroître le nombre de cas de zoonoses. La maladie de Lyme, de même que les affections découlant du VNO et des virus du séro groupe Californie, en font partie. Les symptômes de ces maladies restent bénins dans la plupart des cas (p. ex., fièvre, rougeurs, fatigue), mais ces agents pathogènes peuvent également provoquer des

problèmes neurologiques comme des maux de tête intenses, une fatigue généralisée et la paralysie. Dans de rares cas, ils causeront le décès ou des séquelles permanentes.

Les EME peuvent également faciliter la propagation de maladies infectieuses. Tout particulièrement, le ruissellement généré lors d'inondations et de précipitations extrêmes peut contaminer les eaux souterraines destinées à la consommation, les eaux récréatives et les cultures. Les moisissures dans les logements inondés sont aussi propices aux problèmes respiratoires, oculaires et cutanés. Les rebuts des incendies de forêt contaminent également les eaux. Quant aux sécheresses, leur effet sur les maladies infectieuses est plus ambigu, mais elles pourraient concentrer les agents pathogènes dans l'eau. Les évacuations et la mise à disposition de logements temporaires lors de ces événements favorisent aussi la prolifération de certaines maladies infectieuses, telles que les pneumonies et les bronchites. De plus, la pollution atmosphérique peut transporter certains agents pathogènes et fragiliser les voies respiratoires, accroissant ainsi le risque de contracter certaines maladies infectieuses respiratoires. Les incendies de forêt pourraient ainsi s'avérer problématiques sur cet aspect. L'effet des allergènes à ce sujet n'est pas bien étudié en revanche.

Problèmes périnataux

Plusieurs complications à la naissance ont été associées à la chaleur, telles que la prématurité et l'accouchement précoce, l'avortement spontané et les complications congénitales, comme une malformation du cœur ou du tube neural lors d'une exposition durant le premier trimestre. Le froid et les chaleurs accablantes accroîtraient aussi la probabilité de survenue d'effets indésirables à la naissance ou au cours de la grossesse, tels que la prééclampsie, l'éclampsie, un faible poids à la naissance et la prématurité de l'enfant.

Les polluants atmosphériques et les allergènes environnementaux influencent également la santé périnatale. Les polluants atmosphériques, particulièrement les particules fines, peuvent accroître le risque de naissance prématurée, de faible poids et de petite taille, entre autres en accroissant le stress oxydatif. En activant le système immunitaire, l'exposition aux pollens et aux spores fongiques pourrait se répercuter négativement sur la grossesse, en plus de sensibiliser en jeune âge l'enfant à ces allergènes.

Le stress chez les femmes enceintes causé par un EME peut également entraîner des conséquences à long terme pour l'enfant en devenir. Ces événements peuvent influencer négativement le statut pondéral de l'enfant et le temps de gestation. Ce stress peut avoir des répercussions à long terme, comme des troubles du comportement, de l'asthme, un surpoids et une réponse immunitaire affaiblie. L'insécurité alimentaire pendant la grossesse pouvant découler de ces événements peut également s'avérer néfaste pour la femme enceinte et l'enfant (p. ex., prise de poids, diabète de grossesse, faible poids à la naissance).

Effets sur la santé mentale

Les EME peuvent affecter de plusieurs façons la santé mentale des populations touchées. Les inondations, les submersions côtières, les tempêtes, les glissements de terrain, l'érosion côtière, les avalanches et les incendies de forêt détériorent le milieu de vie, perturbent la vie sociale et accroissent l'incertitude financière, parfois pendant plusieurs semaines, voire des mois et des années. Ils peuvent obliger les populations touchées à habiter des logements temporaires loin de leur milieu de vie. Dans d'autres cas incluant l'érosion côtière, ils exigent le déménagement permanent de résidents. De plus, ils peuvent causer des blessures ou d'autres problèmes de santé physique qui rajouteront au stress psychologique. En raison de ces perturbations, ces événements peuvent amener un sentiment d'insécurité, d'inquiétude et de peur ainsi qu'un manque de sommeil chez les individus touchés. Plusieurs études ont ainsi démontré qu'ils accroissaient l'incidence de symptômes

de stress post-traumatique, de dépression, d'anxiété et d'idéations suicidaires chez les populations exposées. Certaines personnes pourront également augmenter leur consommation de drogues et d'alcool en réponse au stress. Le risque que ces effets psychologiques surviennent s'élève généralement selon le degré d'exposition, le niveau de dommages matériels subis, le temps de résidence dans un logement temporaire et le manque de soutien social ou gouvernemental.

En augmentant le stress corporel et neurologique, la chaleur et les polluants atmosphériques sont également associés à une diminution des performances cognitives et à une augmentation du nombre de suicides dans la population. Les vagues de chaleur peuvent aussi inciter au confinement au domicile, bien que l'allongement de la période estivale pourrait encourager les activités sociales extérieures. Dans le cas des polluants atmosphériques, ils augmenteraient le risque de dépression et d'anxiété. La rhinite allergique et l'asthme, auxquels contribuent largement les allergènes environnementaux ou les polluants atmosphériques, accroissent aussi le risque de dépression, d'anxiété et d'autres problèmes psychologiques (p. ex., trouble panique, phobie, etc.). Les sécheresses peuvent également affecter le bien-être des communautés vivant de l'industrie agricole en diminuant le rendement des récoltes et la sécurité financière. Le stress financier, social et émotionnel causé par l'insécurité financière peut ainsi accroître la détresse psychologique et même le taux de suicides chez ces populations. Les maladies infectieuses transmises par les animaux, l'eau et la nourriture peuvent aussi se répercuter négativement sur la santé mentale, du moins le temps qu'elles sont actives.

Effets sociaux

Les EME peuvent autant favoriser que défavoriser la cohésion sociale. À la suite de l'événement, le sentiment d'urgence dans la communauté peut mener à une entraide spontanée. À plus long terme, les conséquences psychologiques, les pertes économiques, l'affaiblissement de certaines structures et les conflits quant aux mesures de rétablissement peuvent entraîner de la frustration, de la méfiance et un éclatement progressif de la communauté. Les EME peuvent également diminuer l'attrait (naturel et économique) des régions rurales et contribuer à l'exode rural. Cet effet peut être renforcé ou atténué par le fait que les changements climatiques affectent les moyens de subsistance des communautés, particulièrement celles directement dépendantes des activités naturelles (pêche, agriculture, élevage, tourisme, etc.). Dans les communautés autochtones, les activités traditionnelles pourraient aussi être affectées par les changements climatiques (p. ex., chasse sur la glace plus difficile, migration d'espèces animales nutritives), avec un impact potentiellement négatif sur la santé spirituelle de ces populations.

Ces événements peuvent interrompre la prestation de services essentiels à la communauté, dont les services de santé et de soutien social (p. ex., abris pour personnes en situation d'itinérance). Dans le nord du Québec, les voies d'approvisionnement pour les denrées essentielles (p. ex., nourriture, médicaments, etc.) pourraient être affectées par le dégel des sols. Les EME touchent généralement davantage les populations vulnérables, accroissant ainsi les inégalités sociales et la possibilité de conflits sociaux. Cet effet pourrait être exacerbé par une réallocation des ressources des programmes de prévention (p. ex., logements sociaux, aide financière aux personnes à faible revenu) vers les mesures de rétablissement.

L'inflammation causée par la chaleur et les polluants atmosphériques peuvent aussi accroître la propension aux comportements agressifs. Ils ont ainsi été associés à des taux de criminalité plus élevés, à des crimes violents (meurtres, agressions armées, viols) et aux crimes contre les biens. Cette augmentation a ainsi le potentiel de réduire la sécurité et le sentiment de sécurité des communautés. Les perturbations de l'environnement bâti et naturel devraient aussi diminuer le sentiment d'appartenance au milieu ou à la communauté. La destruction ou l'endommagement de

milieux culturellement valorisés renforceraient cet effet. Malheureusement, les études sur les effets des aléas affectés par les changements climatiques sur la santé sociale s'avèrent plus limitées dans leur nombre et leur qualité méthodologique.

Mortalité

L'effet combiné des impacts des changements climatiques sur la santé a ultimement un effet sur la mortalité. Néanmoins, globalement, la mortalité ne semble pas représenter le fardeau sanitaire le plus important des changements climatiques. La chaleur, le froid et les polluants atmosphériques entraînent des répercussions sur la mortalité pulmonaire, cardiovasculaire et cérébrovasculaire. Ces aléas pourraient également affecter le nombre de morts découlant de crimes violents. L'effet exacerbé de la chaleur sur la mortalité surpassera l'effet atténué des froids extrêmes si les émissions de GES continuent de s'accroître au rythme historique, mais ces effets pourraient s'équivaloir dans le cas d'émissions modérées ou faibles. Selon une étude, une augmentation de 1,9 % de la mortalité à cause des températures ambiantes seulement est projetée d'ici la fin de siècle si les émissions de GES continuent à s'accroître au rythme historique (RCP8.5).

Les liens entre les autres EME et la mortalité restent plus ambigus dans la littérature scientifique sur le sujet. Entre autres, les incendies de forêt accroîtraient la mortalité pulmonaire, mais pas nécessairement la mortalité cardiovasculaire, contrairement aux polluants atmosphériques d'autres sources. Les inondations, les tempêtes, les glissements de terrain et les avalanches, bien qu'ils puissent provoquer des noyades, de l'asphyxie, des blessures mortelles et des intoxications au monoxyde de carbone, n'entraînent pas toujours un excès de mortalité. De plus, l'effet aggravant des changements climatiques sur ces événements reste incertain à certains égards. Pour les zoonoses (p. ex., VNO), leur expansion pourrait augmenter le nombre de décès, mais leur taux de mortalité demeure généralement très faible, voire nul dans certains cas. Une plus grande exposition aux UV pourrait aussi influencer la mortalité en augmentant le nombre de cancers de la peau et en diminuant les carences en vitamine D.

Populations à risque

Plusieurs populations à risque reviennent dans les études traitant des changements climatiques. Certains facteurs demeurent spécifiques à un ou à quelques aléas, mais plusieurs peuvent être considérés comme étant transversaux. Les facteurs de risque présentés peuvent s'entrecouper (p. ex., une personne âgée affichera généralement davantage de maladies chroniques alors que les femmes et les minorités ethniques auront en moyenne un revenu moins élevé), s'accumuler et se renforcer. Pour illustrer, une personne âgée avec un faible revenu, des troubles de santé mentale et un niveau de dépendance élevé devrait être plus à risque qu'une personne âgée à l'aise financièrement et autonome.

Âge

Les personnes plus âgées et les enfants peuvent être plus susceptibles de subir les conséquences des aléas du fait qu'ils ont une plus faible capacité d'adaptation physique, qu'ils adoptent moins de comportements préventifs et qu'ils affichent un niveau de dépendance plus élevé. D'un autre côté, malgré leur plus grande sensibilité, les personnes âgées ont davantage de flexibilité pour moins s'exposer à certains aléas. Par exemple, même si elles présentent un plus grand risque de se blesser lors d'une chute après des précipitations glacées, elles ont moins tendance à sortir plus elles avancent en âge, diminuant ainsi leur exposition.

La vulnérabilité de ces populations variera également fortement en fonction d'autres facteurs, tels que le revenu et la présence de maladies chroniques préexistantes. Ce faisant, les études ne démontrent pas toujours si – ou dans quelle mesure – les personnes âgées de 65 ans et plus ou les enfants subissent davantage les impacts psychologiques ou physiques de certains aléas que les autres groupes d'âge, même s'il est généralement démontré qu'ils sont négativement affectés. Dans certains cas, comme pour la chaleur et le froid, les adultes âgés de 40 à 64 ans environ présentent un risque plus élevé, probablement parce qu'ils sont plus exposés, notamment par leur travail ou leur perception parfois plus faible du risque.

Cependant, les personnes âgées s'avèrent tout de même plus sensibles dans certaines situations, comme les changements d'environnement. Elles souffriront donc davantage des évacuations par exemple. Les personnes âgées avec de multiples maladies chroniques, ayant un faible revenu, habitant seules et étant peu mobiles auront généralement tendance à subir davantage les contrecoups des aléas affectés par les changements climatiques. Les maladies infectieuses d'origine hydrique, alimentaire ou animale de même que les polluants atmosphériques les affecteront aussi davantage, entre autres à cause de leur système immunitaire affaibli.

Les enfants risquent davantage de souffrir de coups de chaleur, de développer des problèmes allergiques ou respiratoires et de subir les contrecoups de maladies d'origine hydrique. Les effets subis lors de l'enfance pourront aussi se répercuter sur le développement de l'enfant et créer de nouveaux problèmes de santé avec le temps. Une exposition accrue aux pollens ou aux UV, par exemple, accroîtra la probabilité que l'enfant développe plus tard des allergies, de l'asthme ou un cancer de la peau. L'insécurité alimentaire découlant d'un stress économique peut également affecter à long terme le bien-être des enfants en favorisant une nutrition malsaine ou insuffisante.

Les enfants s'exposent également davantage aux aléas, incluant les maladies transmises par les moustiques ou les tiques, puisqu'ils se protègent moins. Certains aléas, comme la chaleur et les polluants atmosphériques, peuvent affecter leur performance cognitive et leurs résultats scolaires. Le fœtus peut aussi être affecté lorsque la mère est exposée à des aléas. Le stress prénatal peut entraîner des complications périnatales (p. ex., accouchement prématuré, complications congénitales) et prédisposer l'enfant à développer certains problèmes à un âge plus avancé (p. ex., surpoids, dépression, troubles du comportement).

Sexe

Chaque sexe présente des facteurs de risque distincts. Par exemple, les hommes affichent une propension aux comportements à risque (p. ex., absence de protection individuelle, tabagisme, conduite lors d'inondations, etc.) et occupent davantage des emplois extérieurs ou dans des milieux exposés aux aléas. D'un autre côté, les femmes ont généralement un revenu moins élevé, un contrôle plus limité sur la mise en place de mesures d'adaptation, sans compter qu'elles sont davantage sujettes à la violence conjugale. Globalement, les hommes semblent être plus susceptibles de subir les impacts physiques des aléas et les femmes, les impacts psychologiques. Elles auraient plus de difficulté à se remettre de ces effets sur leur santé mentale. Les femmes enceintes présenteraient aussi des risques de subir quelques effets néfastes sur la santé, comme l'éclampsie lors d'une exposition continue à la chaleur ou au froid.

Maladies préexistantes

Les maladies cardiovasculaires, les maladies respiratoires, le diabète et les troubles de santé mentale, principalement, sensibilisent les individus aux aléas. Les EME, comme les inondations et les incendies de forêt, causent des perturbations (p. ex., évacuations, pannes électriques) qui affecteront particulièrement les personnes aux prises avec des problèmes de santé mentale tels que les troubles

anxieux, la dépression ou le trouble bipolaire. Le niveau de sensibilisation varie en fonction de l'aléa. Par exemple, les personnes souffrant de problèmes respiratoires tels que l'asthme, les infections des poumons et les MPOC sont davantage affectées par la chaleur, les incendies de forêt, la pollution atmosphérique et les allergènes. Puisqu'il pourra être plus difficile de se procurer des médicaments pendant certains EME, les personnes avec des maladies préexistantes (p. ex., troubles anxieux, diabète) peuvent se voir obligées de cesser ou de diminuer leur médication. Les personnes avec des problèmes de consommation de drogues ou d'alcool peuvent également être plus sensibles à certains aléas. De plus, les personnes à mobilité réduite ou avec des incapacités sensorielles n'auront pas les mêmes capacités pour s'adapter ou éviter l'exposition à certains aléas.

Statut socio-économique

Les personnes à faible revenu, habitant seules, avec un faible niveau de scolarité ou issues d'une minorité ethnique sont généralement prédisposées à subir les conséquences des changements climatiques. À cette liste, il faut ajouter les personnes en situation d'itinérance qui, en plus d'afficher des prévalences plus élevées de maladies mentales et chroniques, sont exposées directement aux aléas tels que la chaleur, le froid, les polluants atmosphériques et les UV. Les dommages matériels subis ou la perte d'emploi lors d'un EME affecteront généralement davantage les personnes à faible revenu, puisqu'ils représentent une plus grande partie de leur revenu global. Le réseau social de ces personnes, particulièrement celles vivant seules, est souvent plus restreint, limitant l'aide à laquelle elles peuvent recourir. Un faible niveau de scolarité diminue également la perception du risque et la sensibilisation par rapport aux changements climatiques et aux mesures d'adaptation correspondantes. Même lorsqu'une personne à faible revenu souhaite s'adapter (p. ex., assurances, isolation du logement, etc.), elle n'aura pas toujours les capacités financières pour le faire. Elle priorisera ses besoins de première nécessité, comme la nourriture, plutôt que la climatisation de son logement.

Les risques associés au faible revenu concernent principalement l'environnement (logement, quartier et lieu d'emploi) et les habitudes de vie (p. ex., malnutrition, tabagisme). Par exemple, en milieu urbain, les personnes à faible revenu habitent au sein d'un îlot de chaleur urbain (ICU), près de sources de pollution et dans un logement non ventilé ou climatisé dans une plus grande proportion. Généralement, elles présenteront également davantage de problèmes de santé préexistants. Les études ne s'entendent pas sur la vulnérabilité accrue des personnes défavorisées, incluant les personnes à faible revenu et les personnes issues de minorités ethniques, puisqu'elle dépend beaucoup de ces facteurs environnementaux ou d'autres conséquences probables, mais non assurées, d'un bas statut socio-économique.

Ruralité et autochtonie

Puisque leur subsistance dépend plus directement de leur milieu naturel, les communautés rurales et autochtones partagent le fait qu'elles subissent de façon importante les impacts des changements climatiques sur leur santé, malgré les différences culturelles et contextuelles entre ces deux types de communauté. En particulier, la santé psychologique des autochtones est fortement associée à la spiritualité et aux activités traditionnelles (p. ex., chasse et pêche) que les changements climatiques peuvent perturber. Le réchauffement pourrait aussi favoriser la transmission de maladies découlant de la consommation d'aliments traditionnels, entre autres en raison d'une réfrigération moins efficace et de la consommation de viandes crues. Pour les populations rurales, les sécheresses peuvent réduire les rendements agricoles, bien que l'allongement de la période estivale pourrait offrir de nouvelles opportunités. En plus d'être à proximité de sources de pollution importantes comme les fermes, les populations rurales et autochtones tirent dans une plus grande proportion leur eau de sources souterraines non traitées, plus propices à la contamination et à la propagation de maladies

d'origine hydrique. Leur proximité aux milieux naturels et aux animaux les expose également à certains hôtes et vecteurs de zoonoses (p. ex., moustiques, tiques) ainsi qu'aux incendies de forêt.

Emploi

Les travailleurs extérieurs s'exposent davantage à la chaleur, au froid, aux UV, aux allergènes et aux polluants atmosphériques. Les travailleurs occupant un emploi dans des milieux propices à l'accumulation de chaleur risquent aussi de subir les contrecoups des chaleurs extrêmes et des vagues de chaleur. Les travailleurs des milieux forestiers ou agricoles, principalement dans le sud du Québec, sont plus susceptibles de contracter des zoonoses telles que la maladie de Lyme ou la salmonellose. Les premiers répondants et le personnel de sécurité publique (p. ex., ambulanciers, pompiers, policiers, personnel des services d'appel, etc.) sont également sujets aux effets psychologiques, et parfois physiques (p. ex., brûlures, accidents de travail, manque de sommeil, etc.), lors de mesures d'urgence et de rétablissement à la suite d'un sinistre. Outre l'exposition à l'aléa en soi, d'autres facteurs liés au travail, comme la surcharge et le manque de soutien ou de préparation, peuvent augmenter le risque que ces impacts surviennent chez ces travailleurs.

Mesures d'adaptation aux aléas

L'effet des émissions de GES sur le réchauffement des températures s'accroît chaque année, puisque le dioxyde de carbone (CO₂) peut rester une centaine d'années dans l'atmosphère. Par conséquent, même dans le cas d'une diminution substantielle des émissions de GES mondialement, les effets négatifs des changements climatiques se feront sentir dans les prochaines décennies, à différents degrés. Il s'avère donc nécessaire de s'adapter afin d'atténuer ces conséquences. Plusieurs options s'offrent à une diversité d'acteurs, que ce soit à l'échelle individuelle, communautaire, organisationnelle, municipale ou gouvernementale.

Mesures individuelles

Chaque individu peut adopter des comportements préventifs pour se protéger des impacts des changements climatiques. Plusieurs facteurs influencent l'adoption de ces comportements. La perception du risque (incluant la perception de sa propre vulnérabilité), la perception de contrôle (capacité et responsabilité perçues à implanter des mesures), la perception de l'efficacité des mesures d'adaptation et le niveau de sensibilisation globale du risque posé par les aléas augmentent la prédisposition d'un individu à implanter des mesures d'adaptation. Les hommes, les personnes à faible revenu et les personnes avec un niveau de scolarité plus faible affichent généralement une prédisposition moindre. Ces facteurs soulignent l'importance de l'éducation et de la sensibilisation en ce sens.

Les mesures d'adaptation pouvant être adoptées à l'échelle individuelle varient en fonction des aléas. Pour la chaleur, l'installation et l'utilisation d'un climatiseur sont bien entendu des options, quoique l'appareil doit être bien entretenu et réglé à une température pas trop basse pour éviter les moisissures et les chocs thermiques lors des sorties extérieures. De plus, il ne s'agit pas toujours d'une option viable pour les personnes à faible revenu. La ventilation reste une solution envisageable, efficace jusqu'à environ 35 degrés Celsius (°C). D'autres comportements, tels que la consommation régulière d'eau, la planification des sorties avant 11 h ou après 16 h, la prise de douches ou de bains frais, la fréquentation d'endroits frais comme les centres commerciaux et la diminution de l'utilisation de certains appareils électriques font aussi partie des recommandations de santé publique.

Pour les polluants atmosphériques et les pollens allergènes, s'informer des prévisions de la qualité de l'air permet de mieux planifier ses sorties afin d'éviter les activités extérieures, particulièrement l'activité physique. Les sorties en avant-midi ou lors de journées sèches ou orageuses sont déconseillées pour les personnes fortement allergiques. La fermeture des fenêtres du domicile ou du véhicule, le confinement au domicile et la diminution des sources intérieures de polluants (p. ex., cigarettes, produits d'entretien) sont avisés lorsque les indices de qualité de l'air ou de pollens sont mauvais. L'utilisation d'un climatiseur facilite la fermeture des fenêtres lors de chaleurs importantes, diminuant ainsi l'entrée des polluants extérieurs. Le transport sur soi de médicaments, tels que les pompes, les corticostéroïdes et les antihistaminiques, est aussi conseillé.

Pour les zoonoses, l'utilisation appropriée d'insectifuge (diéthyltoluamide [DEET], perméthrine, etc.), le port de vêtements longs, la vérification des tiques sur soi après une excursion en milieu naturel et la diminution des excursions hors sentier ou en zone endémique contribuent à diminuer le risque de contracter une maladie transmise par les tiques ou les moustiques, telles que la maladie de Lyme. Plusieurs mesures individuelles pour se protéger des UV peuvent également être adoptées, entre autres l'utilisation bien répartie d'écran solaire, le port de vêtements longs et la recherche d'ombre. Sinon, les lunettes de soleil et le port du chapeau peuvent simultanément limiter l'exposition aux UV et aux pollens allergènes.

Les modifications au logement ou au terrain font partie des mesures potentielles, principalement pour les propriétaires. L'amélioration de l'isolation et de la ventilation des logements vétustes ainsi que l'ajout de protection solaire aux fenêtres (volets, rideaux, etc.) peuvent également réduire de façon substantielle l'exposition à la chaleur des résidents, tout en étant rentables à moyen et long termes sur le plan de la consommation d'énergie. Concernant les inondations, l'élévation du domicile, du compteur d'électricité, des portes, des meubles, des plinthes et des prises électriques, le déplacement des objets du sous-sol à l'étage, l'imperméabilisation du domicile (p. ex., renforcement des murs, utilisation de matériaux hydrofuges, installation de valves) et les barrières physiques (p. ex., sacs de sable autour du logement, placardage des portes) constituent des mesures d'adaptation structurelles permettant de protéger les bâtiments des inondations. La solidification de la porte de garage, des fenêtres, des portes et des structures en surplomb (p. ex., vérandas, soffites) renforce aussi la résistance du bâtiment aux tempêtes ou aux tornades.

Des mesures d'entretien du terrain, comme le ramassage des feuilles, la coupe des herbes longues et l'assèchement des bassins d'eau stagnante, ou encore la vérification régulière de la qualité de l'eau potable pour les personnes avec un puits, diminuent le risque de contracter des zoonoses ou des maladies d'origine hydrique. L'utilisation de matériaux à l'épreuve du feu et la coupe de la végétation près du domicile peuvent aussi protéger le bâtiment contre les flammes des incendies de forêt.

Mesures populationnelles et institutionnelles

Plusieurs mesures peuvent être implantées à l'échelle populationnelle sans toucher directement à l'environnement bâti ou naturel. Les plans d'action aident à mieux systématiser et à cibler un ensemble d'interventions entre plusieurs acteurs. Les organismes publics peuvent par exemple allonger les heures d'ouverture des piscines et des jeux d'eau lors de chaleurs extrêmes, faire du porte-à-porte pour sensibiliser les gens, ou même implanter des mesures pour limiter les déplacements motorisés lors d'épisodes de smog. La réglementation, comme la détermination de zones de contraintes et l'obligation d'immuniser les bâtiments, représente une autre avenue. Les programmes de financement pour l'adaptation aux changements climatiques peuvent aussi être particulièrement efficaces pour atténuer l'une des plus grandes barrières à l'adaptation, soit les contraintes financières et de temps. Les assurances et les programmes publics de réclamations en cas de dommage peuvent être modulés de façon à inciter à l'action (modulation des primes en

fonction des mesures mises en place, obligation de souscrire à une assurance, etc.). Les évacuations et la mise à disposition de refuges peuvent faire partie des interventions potentielles, mais elles comportent des désavantages notables sur le plan de la santé mentale, de la transmission de maladies infectieuses et des coûts. Elles devraient donc être considérées en dernier recours et, le cas échéant, être bien planifiées.

La sensibilisation aux risques associés aux aléas étant liée à l'action climatique, les campagnes de sensibilisation de la population quant à ces risques et aux façons de s'en protéger sont des avenues à considérer. Les systèmes d'alertes préventives peuvent répondre à ce besoin d'informer la population aux bons moments afin qu'elle puisse s'adapter. Dans les deux cas, la formulation simple du message dans plusieurs langues, la proposition de mesures d'adaptation culturellement et financièrement acceptables de même que la répétition parcimonieuse des messages pour éviter la fatigue constituent des conditions essentielles à la réussite de ces campagnes de sensibilisation. Une surveillance continue des conditions propices aux EME, des zoonoses, de la qualité de l'air (incluant les pollens), de l'eau et des aliments rend également possible l'intervention opportune des organisations publiques. Les stations et les instruments de mesure doivent ainsi être localisés et adaptés afin d'obtenir des données fiables et représentatives. Les modèles prédictifs et l'établissement de seuils d'intervention ou d'alertes demeurent également essentiels pour optimiser l'ampleur et le temps de la réponse.

Pour mettre en place ces interventions, la formation adéquate des organisations publiques sur les effets des changements climatiques et la gestion des sinistres, de même que l'emploi d'un nombre suffisant de personnes pour les gérer, représentent des prérequis. En particulier, il s'avère nécessaire d'impliquer les intervenants psychosociaux et communautaires pendant et après le sinistre pour diminuer les impacts psychologiques dans la population, ces impacts constituant la plupart du temps le fardeau sanitaire le plus important d'un sinistre. Dans tous les cas, prioriser les quartiers défavorisés permet d'optimiser les ressources et les impacts des interventions populationnelles en plus de diminuer les inégalités sociales. L'implication des acteurs locaux peut également favoriser la compréhension des messages et l'acceptabilité sociale de certaines mesures.

Mesures physiques

L'aménagement du territoire ainsi que les caractéristiques de l'environnement bâti et naturel comprennent plusieurs mesures pouvant réduire considérablement l'effet des changements climatiques sur la santé. Sur le plan de l'aménagement du territoire, des milieux urbains mieux densifiés peuvent amenuiser globalement l'effet de la chaleur et les émissions de polluants atmosphériques en diminuant les surfaces minéralisées et les distances parcourues en véhicules motorisés. Ils peuvent néanmoins aussi l'augmenter localement, en fonction de la disposition et de la hauteur des bâtiments, des options de transport, de la connectivité des rues, de la mixité des usages et d'autres caractéristiques telles que le niveau de verdissement. L'étalement rapproche plutôt la population de la forêt et des sources d'eau, pouvant ainsi accroître la pollution de l'eau de même que le risque d'exposition aux incendies de forêt, aux zoonoses et aux inondations. Les mesures de réduction des GES, telles que les infrastructures de transports actif et collectif, diminuent également les concentrations de polluants atmosphériques et les risques de smog. L'utilisation de matériaux perméables et réfléchissants peut aussi diminuer l'effet des chaleurs extrêmes et réduire la contamination de l'eau par le ruissellement, sans compter qu'ils peuvent diminuer l'accumulation d'eaux stagnantes propices à la prolifération de moustiques.

Sur le plan du bâtiment, un niveau adéquat d'étanchéité et d'isolation, l'implantation d'un système centralisé de ventilation et de climatisation, l'orientation de la fenestration et l'utilisation de matériaux réfléchissants, jusqu'à l'implantation de toits verts et l'élévation de la structure, constituent tous des éléments pouvant protéger les occupants soit de la chaleur, du froid, des polluants atmosphériques, des UV ou des inondations. Un bâtiment respectant les normes est généralement plus résilient, entre autres lors de tempêtes ou du dégel du pergélisol. Les codes de construction et les programmes de rénovation de bâtiments pourraient mieux viser ces éléments. L'enfouissement des lignes électriques, l'implantation de systèmes de redondance (p. ex., génératrice) et le renforcement des pylônes électriques atténuent le risque que des pannes électriques surviennent, ou leurs conséquences. La localisation des bâtiments en dehors des zones exposées à des EME, tels que les inondations et les glissements de terrain, ou des zones de pergélisol est bien entendu une mesure pouvant diminuer fortement l'exposition de la population à ces problèmes. Le déménagement de bâtiments ou de populations peut être envisagé dans les zones de forte exposition, mais il faut tenir compte de ses effets importants sur la santé psychologique et sociale de la communauté touchée.

En ce qui concerne l'environnement naturel, le verdissement du milieu peut diminuer la quantité de polluants atmosphériques, protéger des UV et diminuer la chaleur ambiante en été si les arbres sont bien disposés, tout en favorisant la gestion de l'eau et la santé mentale. D'un autre côté, le verdissement peut aussi augmenter les concentrations de pollens, favoriser la déposition de polluants et attirer certains vecteurs de zoonoses, à moins que les espèces et les emplacements soient bien choisis. Une meilleure gestion de l'eau et des berges, en diminuant la perméabilisation du milieu, en intégrant la gestion des eaux pluviales et usées ou en végétalisant les berges, par exemple, réduit les risques associés aux inondations et à l'érosion côtière, en plus de diminuer la pollution de l'eau à cause du ruissellement.

Certains aspects du milieu naturel gagnent également à être contrôlés. Par exemple, la tonte de l'herbe à poux au moment de la germination, particulièrement en bordure de route ou dans les terrains vacants, a prouvé son efficacité pour diminuer les concentrations de pollens allergènes. Quant aux zoonoses, les mesures de contrôle des populations d'hôtes et de vecteurs, telles que l'épandage de larvicides et la chasse, peuvent en diminuer l'incidence. Le brûlage dirigé des matières forestières combustibles près des zones habitées peut aussi être envisagé pour diminuer l'introduction des incendies de forêt en zone urbanisée. Pour diminuer les risques associés aux sécheresses et à l'insécurité alimentaire, une adaptation des pratiques agricoles (p. ex., nivellement des sols, meilleure gestion de l'eau, culture d'espèces avec une plus grande résistance thermique), d'élevage et de pêche s'avère également nécessaire. L'agriculture urbaine constitue une autre mesure potentielle pour diminuer marginalement l'insécurité alimentaire tout en procurant les bénéfices associés au verdissement.

1 Introduction

1.1 Mise en contexte et objectifs

Chaque année, le Québec est exposé à plusieurs aléas météorologiques (voir **Tableau 1** pour la définition), incluant des sécheresses, des pluies abondantes, des vagues de froid, des chaleurs extrêmes, des incendies de forêt ou des inondations. Les changements climatiques pourront influencer la fréquence, l'intensité, l'imprévisibilité de même que les conséquences globales de plusieurs de ces aléas survenant au Québec et au Canada, même dans le cas d'un scénario de faibles émissions de gaz à effet de serre (GES) (E. Bush et Lemmen, 2019). Ce faisant, le besoin de mieux comprendre les effets et les vulnérabilités associés à ces aléas ainsi que la nécessité de s'y adapter iront en grandissant. Particulièrement, les impacts des aléas sur la santé humaine demeurent préoccupants. Des coups de chaleur aux maladies cardiovasculaires et respiratoires en passant par les impacts psychosociaux, les impacts sanitaires des aléas sont multiples et dépendent de processus complexes engageant des facteurs individuels, sociaux, économiques et environnementaux. Ces impacts s'avèrent de plus en plus reconnus, un nombre important d'études sur le sujet ayant été publiées au Québec et ailleurs. Les connaissances développées permettent graduellement de déterminer et de prioriser les mesures d'adaptation aux changements climatiques en fonction de leur faisabilité et de leur efficacité afin de minimiser les impacts des changements climatiques sur la santé des individus.

Afin de faire état de l'évolution des connaissances sur le sujet, Santé Canada devrait publier en 2021 un rapport intitulé *La santé des Canadiens et des Canadiennes dans un climat en changement : faire progresser nos connaissances pour agir*, auquel collabore l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) (Ressources naturelles Canada, 2020). La structure du chapitre sur les aléas a servi de fondement pour la rédaction du présent document. Il synthétise les connaissances sur les impacts sanitaires, les facteurs de vulnérabilité et les mesures d'adaptation associées aux aléas afin de présenter un portrait global de l'information contenue dans la littérature scientifique. En somme, les objectifs du rapport, et les questions de recherche ayant mené à ces objectifs, vont comme suit :

- Dresser un portrait sommaire de l'évolution historique et projetée des aléas affectés par les changements climatiques au Québec et au Canada;
- Souligner les impacts sanitaires connus et projetés de ces aléas sur la santé physique, mentale et sociale dans la population;
- Déterminer les populations les plus à risque;
- Ressortir des mesures d'adaptation à ces aléas en fonction de leur efficacité;
- Relever les lacunes ou les incertitudes dans la littérature relativement aux changements climatiques et à la santé, principalement dans un contexte québécois.

Cette synthèse des connaissances ne se destine pas à un public en particulier. Elle tâche de concilier rigueur scientifique et lisibilité afin qu'un novice sur le sujet puisse tout de même se retrouver, tout en s'assurant que le contenu revêt une certaine utilité pour un public scientifique. Les informations incluses dans ce document pourront être utiles, entre autres, pour évaluer la vulnérabilité d'une communauté aux changements climatiques et pour faciliter la prise de décision quant aux mesures d'adaptation à implanter pour en atténuer les conséquences. Pour atteindre les objectifs énoncés, une revue exploratoire de la littérature a été réalisée. Le document est divisé en sections en fonction des aléas observés au Québec, dans l'ordre suivant :

- Réchauffement moyen, chaleurs extrêmes et vagues de chaleur;
- Froideur moyenne, froids extrêmes et vagues de froid;
- Tempêtes et précipitations;
- Inondations, submersions côtières et érosion côtière;
- Pollution de l'air ambiant;
- Allergènes;
- Incendies de forêt;
- Sécheresses, improductivité agricole et insécurité alimentaire;
- Pollution de l'eau et insalubrité des aliments;
- Zoonoses;
- Rayons ultraviolets;
- Glissements de terrain, avalanches et dégel du pergélisol.

Chacun de ces aléas fait l'objet d'une section distincte et est traité de manière à aborder, en quatre sous-sections, les effets des changements climatiques sur l'aléa, les effets de l'aléa sur la santé, les populations à risque et les mesures d'adaptation. Finalement, les limites et les lacunes ressorties dans la revue de la littérature et se rapportant aux liens entre la santé et les aléas affectés par les changements climatiques au Québec concluent le document.

1.2 Définition des principaux concepts

Plusieurs concepts doivent être expliqués afin de bien comprendre les notions en lien avec les changements climatiques et les résultats présentés dans ce document. Ces concepts incluent les scénarios climatiques, le risque, la vulnérabilité, l'adaptation de même que les différents types de mesures d'adaptation aux changements climatiques.

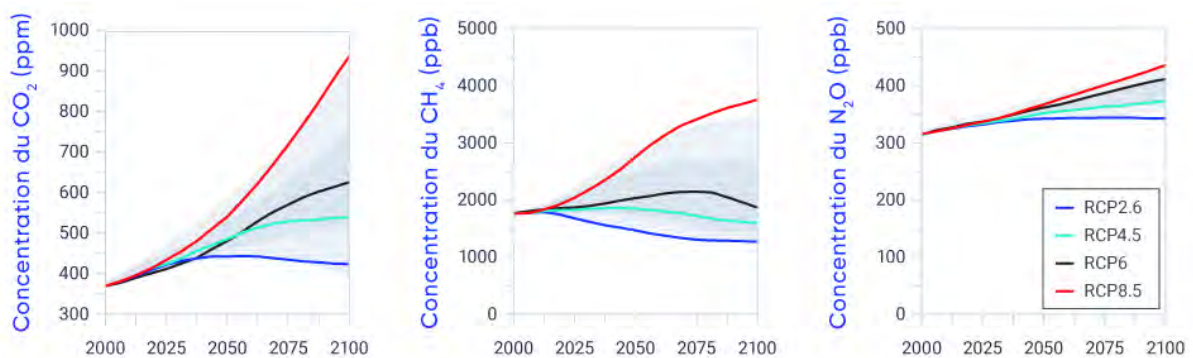
1.2.1 SCÉNARIOS CLIMATIQUES

Pour évaluer les impacts futurs des changements climatiques, les scénarios élaborés par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat sont utilisés (GIEC, 2014). Dans sa cinquième édition (AR5) publiée en 2014, le GIEC propose quatre scénarios de changements climatiques (*Representative Concentration Pathways* ou RCP), soit les scénarios RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 et RCP8.5. Ces scénarios représentent les trajectoires du forçage radiatif (soit la différence entre l'énergie radiative reçue et l'énergie radiative émise dans un système climatique donné) à l'échelle planétaire sur un horizon allant jusqu'à 2100. Les nombres (p. ex., 4.5 et 8.5) dans la dénomination des scénarios représentent l'intensité du forçage radiatif en watt par mètre carré (W/m^2). Plus le forçage radiatif est bas, moins un système se réchauffe. Enfin, ces scénarios sont fondés sur des hypothèses relativement au développement socio-économique, aux projections démographiques, aux changements technologiques et aux types d'énergie utilisée.

Le forçage radiatif est influencé par la quantité de GES émise, dont le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄) et les oxydes d'azote (NO_x). Le RCP2.6 constitue un scénario de diminution rapide des émissions comparativement au niveau actuel (« scénario optimiste »), alors que le RCP8.5 représente un scénario d'émissions élevées (« scénario pessimiste »). Les RCP4.5 et 6.0 représentent quant à eux des scénarios intermédiaires d'émissions. Dans ce document-ci, le scénario RCP4.5 est également nommé « scénario d'émissions modérées ».

La figure 1 présente les concentrations atmosphériques planifiées de CO₂, de CH₄ et de protoxyde d'azote (N₂O), soit les GES les plus prévalents, en fonction des scénarios. Puisque plusieurs études datent d'avant la sortie de l'AR5, publié en 2014, les scénarios du quatrième rapport du GIEC (AR4), sorti en 2007, sont aussi utilisés dans les articles inclus dans la revue. Plusieurs scénarios sont inclus dans l'AR4, mais le scénario A2 est le principal utilisé et le seul de l'AR4 inclus dans ce rapport. Ce scénario correspond approximativement à un entre-deux du RCP6.0 et du RCP8.5 de l'AR5.

Figure 1 Concentrations de CO₂ en fonction des scénarios climatiques du GIEC



Ppb : parties par milliard; ppm : parties par million.
Source : E. Bush *et al.*, 2019.

1.2.2 RISQUE, VULNÉRABILITÉ ET ADAPTATION

Le risque, la vulnérabilité et l'adaptation constituent des concepts clés en changements climatiques qui seront utilisés dans cette revue. La vulnérabilité consiste en la propension ou la prédisposition à subir des dommages, généralement en comparaison avec sa contrepartie (p. ex., hommes par rapport aux femmes, travailleurs extérieurs par rapport aux travailleurs intérieurs, etc.). Selon le GIEC, la vulnérabilité est composée de la sensibilité et de la capacité d'adaptation (voir [Tableau 1](#) pour les définitions) (GIEC, 2014). En la croisant avec le niveau d'exposition et les caractéristiques de l'aléa, elle représente le risque qui correspond aux impacts potentiels sur les systèmes ayant une valeur pour l'humain, incluant les humains eux-mêmes (voir [Figure 2](#)) (Conseil des académies canadiennes [CAC], 2019). Il est ainsi question de populations à risque lorsqu'elles sont plus exposées, plus sensibles ou moins aptes à s'adapter aux aléas affectés par les changements climatiques comparativement à leur contrepartie (p. ex., faible revenu/haut revenu, minorité ethnique/majorité ethnique, personnes de plus de 65 ans/de moins de 65 ans).

1.2.3 TYPES DE MESURES D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Selon le GIEC, l'adaptation est un processus d'ajustement au climat présent ou attendu et à ses effets cherchant à modérer ou à éviter les nuisances et à exploiter les opportunités bénéfiques (voir [Tableau 1](#)) (Agard *et al.*, 2014). L'adaptation peut agir sur la vulnérabilité, l'exposition et l'aléa (voir [Figure 2](#)). Par exemple, les mesures de lutte contre les îlots de chaleur urbains (ICU) (verdissage,

matériaux réfléchissants, etc.) diminuent l'intensité des vagues de chaleur, l'isolation des bâtiments réduit l'exposition à la chaleur, au froid et aux polluants extérieurs, tandis que les campagnes de sensibilisation peuvent augmenter la capacité d'adaptation des individus aux aléas et ainsi réduire leur vulnérabilité. Dans cette revue, les mesures d'adaptation pour chaque aléa (exception faite de la section 14 **Glissements de terrain, avalanches et dégel du pergélisol**) sont divisées en trois catégories, soit les mesures individuelles, les mesures populationnelles et institutionnelles ainsi que les mesures physiques, selon les définitions suivantes :

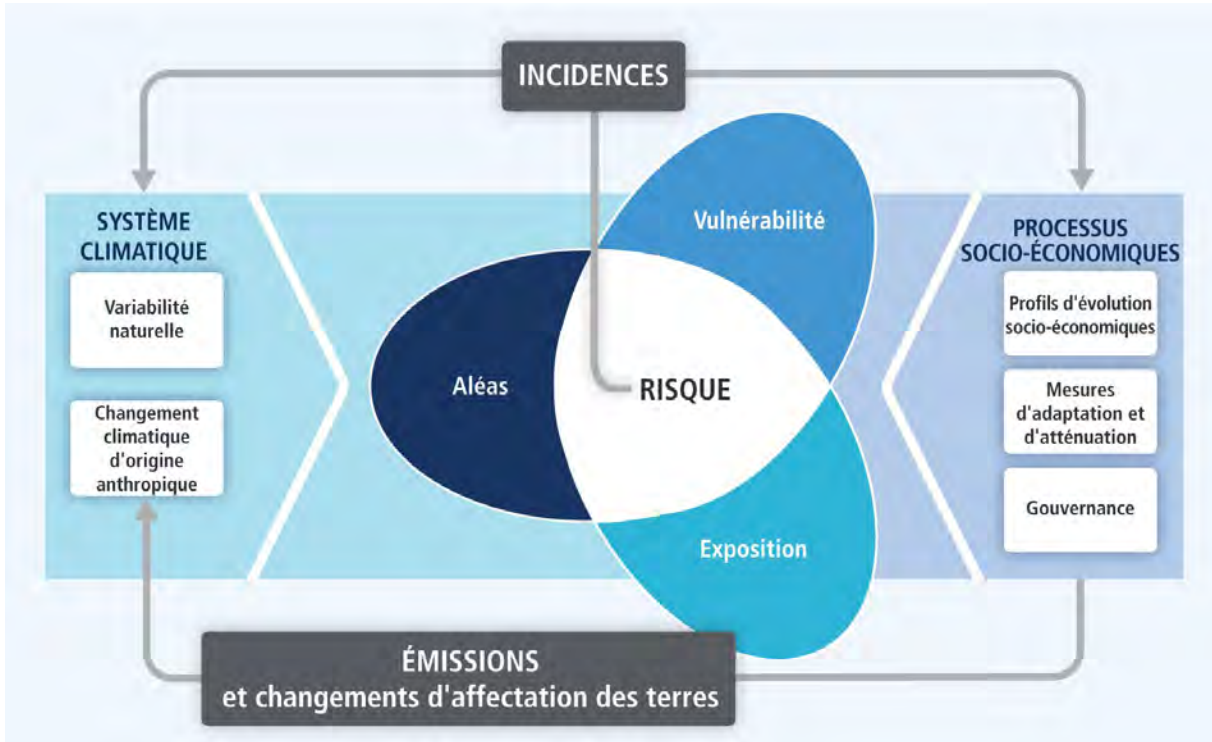
- **Mesures individuelles** : mesures que tout individu peut mettre en place par lui-même et pour lui-même afin de diminuer les effets d'un aléa sur sa santé. Les mesures prises par une entreprise ou une société, même individuelle (p. ex., fermiers, médecins), ne sont pas incluses dans ces mesures. Par exemple, elles peuvent inclure le confinement au domicile, la consommation d'eau, l'ajustement de la médication, le port de certains vêtements, ou encore les modifications au logement et au terrain. Les facteurs individuels (p. ex., connaissances, événements vécus, sensibilisation, perception du risque, etc.) influençant l'adoption de comportements préventifs font généralement partie de ces mesures.
- **Mesures populationnelles et institutionnelles** : mesures mises en place par une ou plusieurs organisations visant à diminuer la vulnérabilité ou à limiter l'exposition à un aléa de l'ensemble ou d'une partie de la population ou des organisations (incluant l'organisation concernée) d'un territoire donné, sans qu'elles exigent de changements permanents dans l'environnement bâti ou naturel. Elles peuvent inclure les campagnes de sensibilisation, les systèmes d'alerte, la surveillance et les évacuations. Elles comprennent aussi les mesures gouvernementales ou à l'échelle de l'organisation, telles que les lois, la réglementation municipale, les programmes de subvention, la planification stratégique, l'éducation du personnel ou les modifications à la structure administrative.
- **Mesures physiques** : mesures pour atténuer les effets des aléas impliquant une modification à l'environnement bâti ou naturel à une échelle autre qu'individuelle. La végétalisation du milieu, la morphologie urbaine, la gestion de l'eau, les mesures de contrôle d'hôtes ou de vecteurs de zoonoses ainsi que les modifications ou le déménagement de bâtiments en sont quelques exemples.

Tableau 1 Définitions de concepts en lien avec les changements climatiques

Concepts	Définition
Adaptation	Démarche d'ajustement au climat actuel ou attendu, ainsi qu'à ses conséquences afin d'atténuer les effets préjudiciables et d'exploiter les effets bénéfiques.
Aléa	Phénomène (d'origine naturelle ou anthropique) susceptible d'occasionner des pertes en vies humaines ou des blessures, des dommages aux biens, des perturbations sociales et économiques ou une dégradation de l'environnement caractérisé par son niveau d'intensité et sa probabilité d'occurrence.
Capacité d'adaptation	Capacité d'un individu, d'une institution ou d'une communauté à réduire les effets défavorables des changements climatiques sur la santé, incluant l'ensemble des efforts mis en place pour s'ajuster et se rétablir des impacts des changements climatiques.
Exposition	Niveau de contact entre un individu et un agent stressant (aléa) affecté par les changements climatiques.
Risque	Conséquences éventuelles lorsque quelque chose ayant une valeur pour l'être humain (les êtres humains eux-mêmes également) est en jeu et qu'il pèse une incertitude sur ces conséquences.
Sensibilité	Degré de susceptibilité d'un individu ou d'une communauté d'être affecté, de façon bénéfique ou néfaste, par la variabilité ou le changement climatique.

Source : Agard *et al.*, 2014.

Figure 2 Schéma conceptuel présentant le risque d'impact et l'adaptation aux changements climatiques



Source : CAC, 2019, inspiré de GIEC, 2014.

2 Méthode

2.1 Stratégie de recherche

Une revue exploratoire de la littérature scientifique a été effectuée pour répondre aux objectifs posés en introduction. Elle est exploratoire plutôt que systématique, entre autres puisque la qualité des études n'a pas été évaluée en détail et que la revue n'a pas été réalisée en binôme (Levac *et al.*, 2010; Munn *et al.*, 2018; Roth, 2020). L'objectif d'une revue exploratoire est généralement de donner un aperçu de l'étendue potentielle de la littérature sur un sujet donné et d'en évaluer sommairement le niveau de preuves scientifiques. Il s'agit de la méthode la plus appropriée lorsque la thématique et l'éventail de littérature en lien avec celle-ci sont particulièrement larges, comme pour les effets des changements climatiques et la santé (Levac *et al.*, 2010; Munn *et al.*, 2018; Roth, 2020). Une revue systématique exige quant à elle une thématique plus circonscrite, étant donné l'évaluation approfondie de la qualité des études et l'exigence d'une synthèse quantifiée et exhaustive des résultats. Quant à la revue narrative, elle n'inclut pas nécessairement de critères d'inclusion, d'exclusion et de priorisation, contrairement à ce qui a été effectué pour cette revue.

Une stratégie de recherche pour répertorier la littérature scientifique et grise³ sur la thématique souhaitée a été construite (voir **Annexe 1**). La stratégie n'incluait pas les effets des changements climatiques sur l'occurrence et la gravité des aléas. Pour cette partie, les informations ont été tirées majoritairement du *Rapport sur le climat changeant* du Canada de Ressources naturelles Canada (E. Bush *et al.*, 2019), de la *Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec* d'Ouranos (Ouranos, 2015) ou du portail donneesclimatiques.ca d'Environnement et Changement climatique Canada (ECCC). La stratégie s'est ainsi concentrée sur les effets sur la santé, les populations à risque et les mesures d'adaptation.

Pour la littérature scientifique, les moteurs de recherche Web of Science et EBSCOHost ont été utilisés. Ceux-ci comprennent 17 bases de données scientifiques et plus de 34 000 journaux scientifiques provenant de différentes disciplines en sciences naturelles, sociales, de la santé et autres (Clarivate Analytics, 2020; EBSCOHost, s. d.). Étant donné la nature multidisciplinaire des changements climatiques, le large éventail de journaux et de disciplines couvert par ces moteurs de recherche a justifié leur sélection par rapport à des moteurs de recherche plus spécialisés. La stratégie comprenait les études publiées de 2008 à 2018 inclusivement.

La stratégie de recherche incluait des mots-clés pour chacun des aléas affectés par les changements climatiques choisis et les effets potentiels sur la santé. Pour concentrer davantage les résultats, l'utilisation de certains mots-clés a également permis de trouver les études traitant de climat. Les mesures d'adaptation n'étaient pas incluses directement dans cette stratégie de recherche puisqu'il était présumé que les mots-clés relatifs aux aléas et aux effets sur la santé suffisaient pour répertorier plus globalement ces mesures. Les mots-clés pour cette partie de la stratégie étaient exclusivement en anglais, limitant ainsi la plupart du temps les résultats à des études rédigées dans cette langue, à l'exception des études avec un résumé en français.

Les premiers résultats ont été filtrés de façon à n'inclure que les journaux scientifiques associés directement ou indirectement à la santé publique (politiques publiques en santé, santé et sécurité au travail, sciences sociales, aménagement du territoire, etc.). Sont ainsi exclues les revues dont le

³ La littérature grise regroupe tous les documents, en version papier ou électronique, qui ne sont pas contrôlés par des maisons d'édition, c'est-à-dire l'information produite par les gouvernements ainsi que les instances d'enseignement et de recherche, du commerce et de l'industrie.

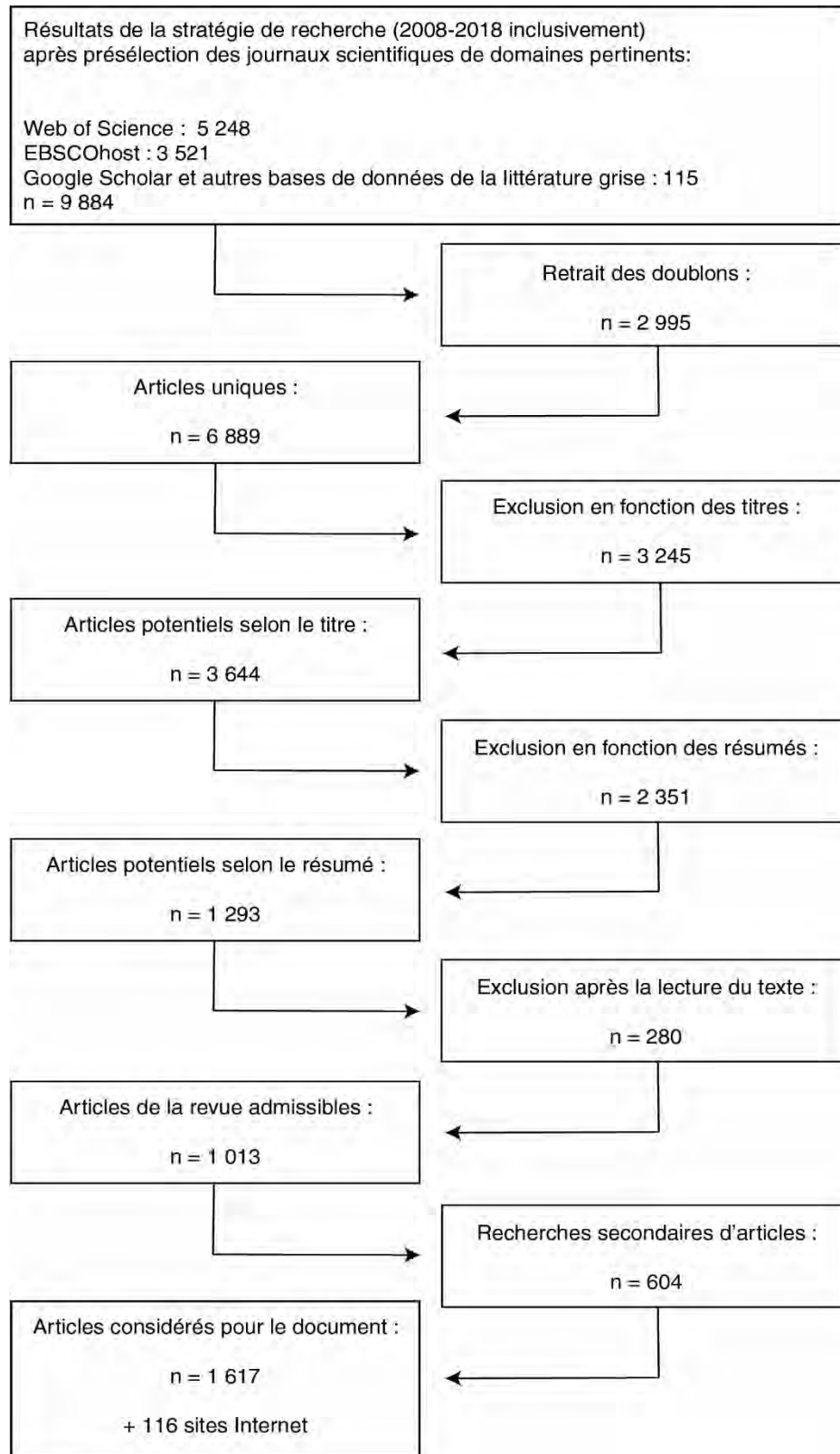
thème principal, par exemple, est l'informatique, les relations internationales, l'éthique ou certaines sciences environnementales telles que la physique et l'énergie. Après ces étapes de présélection, la stratégie de recherche scientifique a rendu 6 774 résultats pour les 2 moteurs de recherche utilisés, après exclusion des doublons (voir **Figure 3**). Concernant les critères de sélection, l'étude devait mettre en évidence les liens entre la santé et un aléa affecté par les changements climatiques, traiter de la vulnérabilité face à un aléa ou démontrer l'efficacité de certaines mesures d'adaptation sur les résultats de santé ou les effets intermédiaires leur étant favorables. L'exclusion s'est effectuée en deux étapes, soit à partir des titres d'abord, puis en fonction des résumés. Étant donné le nombre important de résultats pertinents découlant de la visée globale de la recherche, la lecture complète des articles a été réalisée principalement lorsqu'un doute persistait quant à l'admissibilité de l'article suivant la lecture du titre et du résumé. Les revues de la littérature et les méta-analyses ont toutefois été lues intégralement. La liste exhaustive des critères d'inclusion et d'exclusion peut être consultée à l'**Annexe 1**.

Les moteurs de recherche de Google Scholar, du réseau Santécom, de la Bibliothèque scientifique fédérale du gouvernement du Canada et de l'INRS ont également été utilisés pour compléter la revue des écrits scientifiques avec des documents pertinents de la littérature grise et, dans le cas de Google Scholar, d'autres études pertinentes de la littérature scientifique. Dans ce cas-ci, une stratégie de recherche simplifiée a été construite puisque les résultats étaient plus limités pour les moteurs autres que Google Scholar. Seul le nom de l'aléa, sous deux ou trois formes, accompagné de « santé », formait la stratégie. Pour Google Scholar, les documents ont été consultés jusqu'à ce que 30 documents consécutifs ne répondent plus aux critères d'inclusion. Dans le cas présent, les stratégies incluaient les termes en français, en plus des termes en anglais. Les mêmes critères d'inclusion et d'exclusion ont été employés, sauf la nécessité de comporter un résumé ou d'être revus par les pairs.

En définitive, 898 études scientifiques et 115 documents de la littérature grise ont répondu aux critères d'inclusion. D'autres études pertinentes ont aussi été soulevées à la suite de la revue de la littérature, parfois par recherche « boule de neige » (études citées dans la bibliographie des études trouvées), parfois en consultant d'autres documents hors stratégie. Par conséquent, certaines études plus récentes ou plus anciennes que celles retenues figurent dans le document. En tout, 604 articles scientifiques ou issus de la littérature grise ont été ajoutés aux 1 013 résultats de la revue, auxquels s'adjoignent 116 références à des sites Internet, essentiellement des organisations gouvernementales. Seules les études citées dans le présent document se retrouvent dans la bibliographie (voir section 17 **Bibliographie**). La figure 3 illustre les résultats de la revue exploratoire de la littérature selon les étapes, en excluant les sites Internet.

Le document a également été révisé par plusieurs acteurs externes au projet afin d'évaluer sa qualité méthodologique, scientifique et communicationnelle. Ces réviseurs ont été choisis en fonction de leur expertise sur les aléas abordés dans ce document. Ils ont été invités à remplir une grille de révision. Les commentaires reçus ont par la suite été regroupés dans un tableau afin de documenter s'ils ont été retenus ou non dans la version finale et, le cas échéant, pour quelles raisons. Au moins deux réviseurs ont relu chacune des parties. Certaines références ont été ajoutées à celles obtenues par la revue de la littérature à la suite de certains commentaires.

Figure 3 Diagramme par étape des résultats de la revue exploratoire de la littérature



2.2 Incertitude et priorisation

L'incertitude est prise en considération en soulignant les lacunes dans la littérature scientifique, les limites de certaines études ou les résultats contradictoires. Lorsque des affirmations générales sont avancées, le conditionnel, les verbes « pouvoir » ou « sembler » et certains adverbess modérateurs comme « vraisemblablement » ou « possiblement » mettent en évidence l'émergence de la preuve scientifique. À l'inverse, les temps présent et futur sont utilisés pour signaler la faible incertitude associée à une affirmation ou simplement pour décrire le contenu d'une étude. Pour diminuer l'incertitude, la littérature scientifique revue par les pairs a eu préséance sur la littérature grise pour la rédaction de ce document, cette dernière ayant été utilisée pour compléter la littérature scientifique existante ou mettre en valeur des études de cas pertinentes. Les études réalisées au Québec, au Canada ou aux États-Unis (particulièrement dans le nord-est) ont été priorisées, puisqu'elles s'appliquent davantage au contexte québécois et canadien. Les études d'autres pays similaires (p. ex., pays de l'Organisation de coopération et de développement économiques [OCDE]), particulièrement les pays européens centraux et nordiques, ont été utilisées essentiellement lorsque des informations spécifiques au contexte québécois, canadien ou nord-américain n'étaient pas disponibles. Comme il a été précisé dans la méthodologie, la rigueur méthodologique des articles n'a pas été évaluée en détail. Cependant, la priorisation des références suit la hiérarchie des preuves scientifiques (Murad *et al.*, 2016), soit :

1. Les méta-analyses et les revues systématiques de la littérature;
2. Les essais comparatifs randomisés ou quasi-randomisés;
3. Les études de cohortes;
4. Les études de cas-témoins;
5. Les études écologiques/transversales et les rapports/séries de cas;
6. Les études qualitatives et les opinions d'experts.

Elle a aussi tenu compte, dans une moindre mesure, des variables confondantes considérées. Les opinions d'experts n'ont généralement pas été incluses dans la revue, à part en ce qui concerne les lacunes dans la littérature scientifique. Les études récentes ont aussi préséance, à qualité semblable, en particulier en ce qui a trait aux données projetées. En outre, quelques études peuvent se contredire dans la littérature sur la santé et les changements climatiques; le cas échéant, les contradictions sont soulevées dans le document.

Sur le plan de l'adaptation, cette revue de la littérature met l'accent sur les mesures populationnelles, institutionnelles et physiques plutôt qu'individuelles, puisqu'elles apportent généralement les plus grands bénéfices et les plus complexes. Les mesures gouvernementales (p. ex., tarification ou imposition, changements légaux et politiques publiques) ont généralement été exclues pour se concentrer sur les mesures pouvant être implantées à l'échelle locale ou régionale (municipalités, organisations régionales de santé). Certaines mesures ont été attribuées à une catégorie même si elles pouvaient s'appliquer à une autre (p. ex., réfection de logements pouvant être réalisée à l'échelle individuelle ou à grande échelle par les municipalités). Les sections 4 **Froidure moyenne, froids extrêmes et vagues de froid**, 5 **Tempêtes et précipitations** et 11 **Pollution de l'eau et insalubrité des aliments** ne comprennent pas de sous-sections concernant les mesures individuelles d'adaptation, puisqu'elles se retrouvent dans les deux autres catégories. Cette absence ne signifie donc pas qu'aucune mesure individuelle n'existe pour ces aléas. De plus, les mesures de réduction des émissions de GES (ou « mesures d'atténuation ») n'ont pas été considérées dans la revue, ou très peu, bien qu'elles représentent des mesures d'importance pour diminuer ultimement l'impact des changements climatiques sur la santé.

3 Réchauffement moyen, chaleurs extrêmes et vagues de chaleur

3.1 Les effets des changements climatiques sur les tendances et les projections de chaleurs

3.1.1 RÉCHAUFFEMENT MOYEN

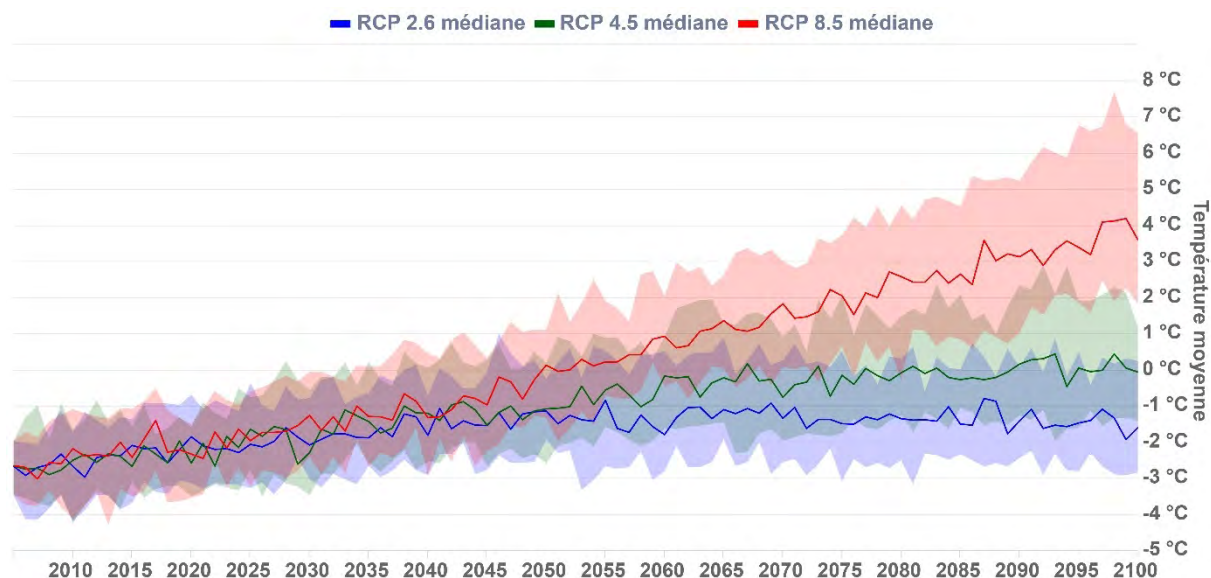
Les conséquences des changements climatiques découlent essentiellement d'un réchauffement des températures moyennes à l'échelle planétaire. Le Canada ne fait pas exception, ayant subi une hausse des températures moyennes de 1,7 degré Celsius (°C) de 1948 à 2016. Les régions nordiques canadiennes sont particulièrement affectées, affichant une hausse de 2,3 °C, surtout en hiver (X. Zhang *et al.*, 2019). Cette augmentation représente environ le double du réchauffement moyen observé mondialement au cours de la même période et est plus prononcée que celle mesurée dans la majorité des pays. Pour le Québec, les tendances historiques suivantes ont été observées pour la période 1948-2016 (X. Zhang *et al.*, 2019) :

- Augmentation de 1,5 °C des températures moyennes estivales;
- Augmentation de 1 °C des températures maximales estivales les plus élevées (95^e percentile);
- Augmentation de 1,8 °C des températures minimales estivales les plus élevées (95^e percentile);
- Augmentation de 6 du nombre de journées chaudes par année (Tmax > 25 °C).

Il est projeté que les températures moyennes augmentent de 2 à 6 °C d'ici la fin du 21^e siècle au Canada, dépendamment du scénario d'émissions de GES. Par corollaire, les températures moyennes estivales grimperont partout au Canada, bien que de grandes variations soient observées en fonction des régions et des scénarios climatiques (Jeong *et al.*, 2016). Dans le cas d'un scénario d'émissions élevées de GES (RCP8.5), des villes comme Alma, Québec et Rimouski pourraient voir leurs températures moyennes estivales s'élever de 3 à 10 °C d'ici la fin du siècle, comparativement aux températures observées de 1976 à 2005 (ECCC, s. d.). Pour l'ensemble du Québec, les projections climatiques considérant le scénario RCP8.5 indiquent une croissance de 2,1 °C de la température annuelle maximale quotidienne la plus élevée pour 2031-2050, et de 5,9 °C pour 2081-2100, comparativement à 1948-2016 (figure 4) (X. Zhang *et al.*, 2019).

Le vent et l'humidité peuvent influencer l'intensité de la chaleur, mais les projections à cet effet ne sont pas disponibles ou peu fiables, étant donné l'importance des facteurs locaux tels que l'environnement bâti et la topographie. Une étude a néanmoins suggéré que la vitesse moyenne des vents estivaux pourrait diminuer pour la période 2079-2099 par rapport à la période 1979-1999 (Ouranos, 2015). Cette diminution éventuelle pourrait accroître la température ressentie.

Figure 4 Températures moyennes annuelles projetées pour la province de Québec



Source : ECCC, s. d.

3.1.2 CHALEURS EXTRÊMES ET VAGUES DE CHALEUR

Pour la période 2049-2070, de 1 à 20 journées de plus de 32 °C s'ajouteraient chaque année à travers le Canada (Jeong *et al.*, 2016), les multipliant de 3 à 5 fois annuellement pour plusieurs villes, dont Montréal. Au Québec, une augmentation de 2,7 du nombre de journées de chaleurs extrêmes ($T_{max}^4 > 30$ °C) pour 2031-2050 et de 14,5 pour 2081-2100, par rapport à la période 1948-2016, pourrait survenir pour le scénario RCP8.5 (X. Zhang *et al.*, 2019). Même les régions plus nordiques ou orientales du Québec ne seraient pas épargnées. De façon concomitante, le nombre de vagues de chaleur⁵ augmentera vraisemblablement dans les régions méridionales, où se retrouve la quasi-totalité de la population canadienne. Certaines régions des basses-terres du Saint-Laurent pourraient observer 2 ou 3 vagues de chaleur supplémentaires par été pour la période 2049-2070 en comparaison avec la période 1970-1999 (Jeong *et al.*, 2016). Il est également projeté que l'intensité et la durée de ces vagues de chaleur s'accroîtront, et de plusieurs jours dans certains cas (Sillmann *et al.*, 2013). Dans une région comme l'Outaouais, selon le scénario RCP8.5, le nombre de jours de vagues de chaleur (critères pour cette région : $T_{max} > 18$ °C, $T_{min}^6 > 31$ °C) passerait de 1 à 3 en moyenne par année en 2050, et à 26 en 2100. Pour le scénario RCP4.5, ce nombre serait de 3 en 2100 (Ouranos, s. d.).

⁴ Température maximale.

⁵ Il n'y a pas de définition commune de ce qu'est une vague de chaleur au Canada ou au Québec, ni dans les études scientifiques. Généralement, il est question de vague de chaleur lorsque la température dépasse un certain seuil le jour et la nuit, et ce, pendant 3 jours consécutifs. Plusieurs études scientifiques utilisent des mesures relatives telles que les percentiles de la distribution annuelle des températures (p. ex., au-dessus du 95^e percentile). Le réseau de la santé et des services sociaux au Québec emploie plutôt des seuils de température absolue variant selon les régions. Le jour, les seuils sont de 31 ou de 33 °C, alors qu'ils fluctuent de 16 à 20 °C la nuit. Les régions plus au sud (p. ex., Montréal, Laval, Montérégie) affichent des seuils plus élevés comparativement aux régions du nord et de l'est du Québec (p. ex., Côte-Nord, Bas-Saint-Laurent, Nord-du-Québec). Pour plus de détails, consulter le site du MSSS : <https://www.msss.gouv.qc.ca/professionnels/sante-environnementale/chaleur-extreme/systemes-d-alerte-et-de-surveillance>.

⁶ Température minimale.

3.2 Les effets de la chaleur sur la santé

Plusieurs processus corporels peuvent expliquer l'effet direct de la chaleur sur la santé. En particulier, la chaleur accroît le flux sanguin vers la peau aux dépens des organes, limite le rejet de toxines au profit de la sudation et augmente la viscosité sanguine en favorisant la déshydratation (Gronlund *et al.*, 2018; C. Liu *et al.*, 2015; K. Parsons, 2014). De plus, les chaleurs extrêmes ont été associées à travers le monde à une augmentation de la mortalité toutes causes (Gasparrini, Guo, Hashizume, Lavigne, *et al.*, 2015; Xu *et al.*, 2016) et au risque d'être hospitalisé pour des maladies cardiovasculaires et pulmonaires (Basu *et al.*, 2012; Gronlund *et al.*, 2018; E. Lavigne *et al.*, 2014; Moghadamnia *et al.*, 2017; Z. Sun *et al.*, 2018; L. R. Turner *et al.*, 2012). Au Canada et au Québec, les vagues de chaleur et les chaleurs extrêmes demeurent les aléas pour lesquels les conséquences sanitaires sont les mieux répertoriées.

3.2.1 MORTALITÉ

De 1986 à 2010, le pourcentage moyen de décès toutes causes attribuables à la chaleur s'élevait à 0,53 % au Canada (variant de 0,18 % à 0,72 % selon la région) (Gasparrini, Guo, Hashizume, Lavigne, *et al.*, 2015). Dans 26 villes canadiennes où le risque a été évalué, une vague de chaleur augmentait en moyenne de 2 à 13 % le risque de mortalité, Saint-Jean (Nouveau-Brunswick) affichant la hausse la moins forte et Montréal la plus importante (Guo *et al.*, 2018). Toujours pour les vagues de chaleur, une méta-analyse a évalué également qu'elles élevaient de 3 à 16 % le risque de mortalité, dépendamment de la définition de vague de chaleur utilisée (Xu *et al.*, 2016).

Au Québec, en 2010, une vague de chaleur de près de 5 jours a augmenté le taux de mortalité quotidien de 33 % et le taux de visites à l'urgence de 4 %, en comparaison avec des périodes similaires (Bustinza *et al.*, 2013). Cependant, aucun impact significatif n'a été détecté lors des chaleurs extrêmes subséquentes de 2011 à 2015 au Québec, exception faite de la région de Montréal, en 2011 (Lebel *et al.*, 2017). À ce titre, le risque de mortalité associée à la chaleur diminuerait avec l'avancement de la saison. Une méta-analyse a conclu que le risque relatif de décéder à des chaleurs extrêmes (99^e percentile, en comparaison avec la température de mortalité minimale) était de 1,15 à 2 au début de la saison estivale, comparativement à un risque relatif allant de 1 à 1,4 à la fin de la saison (Gasparrini *et al.*, 2016). Cette réduction pourrait être attribuable à une acclimatation physique, à une adoption accrue de comportements adaptatifs, ou à un effet de récolte (c.-à-d. la diminution du nombre de personnes susceptibles de mourir de la chaleur en raison des premières vagues).

D'autres études réalisées au Canada ont démontré les effets de la chaleur sur le nombre de décès. Entre autres, une augmentation de 5 % de la mortalité a été associée en Colombie-Britannique à des prévisions de températures de 29 à 35 °C le jour et de 14 à 18 °C la nuit, dépendamment de la région (K. E. McLean *et al.*, 2018). Toujours en Colombie-Britannique, 815 décès ont pu être attribués à des chaleurs extrêmes étant survenues de 1986 à 2010. Ces décès représentaient une hausse du taux de mortalité de 4 à 19 % le lendemain de l'événement et de 2 à 19 % dans un délai d'une semaine (Henderson *et al.*, 2013). En Ontario, chaque hausse de 5 °C au cours des étés 1996 à 2010 a été associée à un accroissement de 2,5 % du nombre de décès, surtout en lien avec les maladies cardiovasculaires (H. Chen, Wang, *et al.*, 2016).

En définitive, la mortalité associée à la chaleur devrait augmenter avec le réchauffement des températures. En comparaison avec la période 1971-2020, la surmortalité associée aux vagues de chaleur dans l'ensemble du Canada augmenterait de 155 (RCP2.6) à 390 % (RCP8.5) d'ici la fin du siècle pour un scénario moyen de croissance démographique. Pour un scénario de forte croissance

démographique, ces pourcentages varient de 188 à 455 % (Guo *et al.*, 2018). Cependant, ces données ne tiennent pas compte de certains facteurs comme l'acclimatation physique et l'adaptation du milieu ou des personnes. Au Canada, le risque de mortalité associée à la chaleur a semblé diminuer de 1993 à 2006, bien que l'association statistique n'était pas significative contrairement à d'autres pays comme les États-Unis, le Japon et l'Espagne (Gasparrini, Guo, Hashizume, Kinney, *et al.*, 2015). En présumant une forte adaptation dans la population, l'excès projeté de mortalité associée aux vagues de chaleur augmenterait plutôt de 64 (RCP2.6) à 69 % (RCP8.5) pour un scénario de croissance démographique normale, et de 86 (RCP2.6) à 92 % (RCP8.5) pour un scénario de forte croissance démographique (Guo *et al.*, 2018). Une forte adaptation éliminerait pratiquement la différence de mortalité associée à la chaleur entre les différents scénarios d'émissions de GES.

3.2.2 EFFETS DE L'HUMIDITÉ SUR LA SANTÉ

L'humidité (intérieure et extérieure) peut amplifier la conservation de la chaleur corporelle en restreignant la transpiration et exacerber ainsi les problèmes de santé associés à la chaleur (Barreca, 2012; Ho *et al.*, 2016; K. Parsons, 2014; Xu *et al.*, 2012; Zeng *et al.*, 2017). Quelques résultats contradictoires sur l'effet de l'humidité sur la mortalité ont été observés. Entre autres, les auteurs d'une étude menée dans 107 villes états-uniennes n'a pas relevé de différence sur le plan de la mortalité entre la température ressentie, l'humidex ainsi que les températures minimales, moyennes et maximales avec ou sans humidité (Barnett *et al.*, 2010). À l'inverse, une autre étude réalisée dans l'ensemble des États-Unis a indiqué que l'humidité a influencé le taux de mortalité de 1973 à 2002 à des taux bas et élevés d'humidité, la relation avec la mortalité suivant ainsi une forme de « U » (Barreca, 2012). D'autres auteurs ont plutôt estimé dans 445 villes de 24 pays, dont le Canada, que la température ressentie n'améliorait pas la prédiction de la mortalité attribuable à la chaleur (B. Armstrong *et al.*, 2019). Ils ont néanmoins souligné que l'humidité relative semblait diminuer le risque de mortalité la journée même pour le diminuer légèrement par la suite (1 à 3 jours de délai), avec une tendance négative globalement.

Ces effets contradictoires sur la mortalité pourraient s'expliquer par des changements de comportement en fonction du niveau d'humidité. L'exacerbation de la sensation de chaleur lorsque le temps est humide pourrait pousser les individus à adopter davantage de comportements préventifs, tels que le confinement au domicile, qui éviteraient ainsi les conséquences les plus graves associées à la chaleur. Les différentes variables utilisées pour l'humidité (p. ex., humidité relative, humidité absolue, pression de vapeur, humidex) peuvent aussi contribuer à ces résultats disparates (R. E. Davis *et al.*, 2016).

Outre la mortalité, l'humidité semble avoir un effet sur la santé respiratoire, entre autres en influençant les mouvements des polluants ambiants, de même que l'inhalation et l'inflammation des voies respiratoires (C. Chen *et al.*, 2019; R. E. Davis *et al.*, 2016; Delamater *et al.*, 2012; Lepeule *et al.*, 2018). L'humidité peut aussi contribuer à la prolifération de moisissures et d'autres agents allergènes non polliniques, et ainsi causer des problèmes allergiques. Elle peut influencer la survie d'autres agents pathogènes comme les bactéries ou les virus. Dans le cas des virus, les études tendent à démontrer que l'humidité diminue leur propagation dans les climats tempérés en favorisant la déposition au sol des particules pouvant les contenir (Paynter, 2015; Peci *et al.*, 2019; Wolkoff, 2018).

Au sujet de la santé mentale, l'humidité pourrait éroder plus facilement la résilience des individus en amplifiant l'effet d'épuisement associé à la chaleur, et affecter conséquemment la santé psychologique dans la population (Berry *et al.*, 2010; R. Thompson *et al.*, 2018). Les auteurs d'une étude menée au Québec ont estimé que les admissions à l'urgence pour des problèmes de santé

mentale s'accroissaient avec l'humidité relative chez les 65 ans et moins, mais pas chez les aînés (Vida *et al.*, 2012). Du côté de l'Australie, une étude auprès de 53 144 personnes a indiqué que l'humidité amplifiait l'effet de la chaleur sur le risque de subir un niveau élevé ou très élevé de détresse psychologique (Ding *et al.*, 2016). Dans cette étude, il a été évalué que les extrêmes d'humidité (99^e percentile ou plus) doubleraient l'effet de la chaleur sur le niveau de détresse psychologique.

3.2.3 MORBIDITÉ PHYSIQUE

Une méta-analyse a démontré que l'association entre les hospitalisations pour maladies cardiovasculaires et les journées ponctuelles de chaleurs extrêmes est plus ambiguë que celle avec les vagues de chaleur (Phung *et al.*, 2016). Ces résultats corroborent ceux d'une précédente méta-analyse (L. R. Turner *et al.*, 2012). Néanmoins, elles n'incluaient pas ou très peu d'études canadiennes. Certaines études ont indiqué que la chaleur extrême ponctuelle peut agir sur la mortalité cardiovasculaire jusqu'à une semaine après l'événement, bien que les résultats varient largement (Huang *et al.*, 2011; Huynen et Martens, 2015; S. L. Martin *et al.*, 2012; Ye *et al.*, 2012). Par exemple, en Ontario, les journées les plus chaudes (99^e percentile) de 1986 à 2013 ont accru le nombre d'hospitalisations pour maladies cardiovasculaires de 6 % en comparaison avec les températures optimales où le taux de mortalité est à son plus bas (Bai *et al.*, 2017). Quelque 1,2 % des hospitalisations globales pour maladies cardiovasculaires était attribuable à la chaleur pour cette période, la majorité découlant de chaleurs modérées plutôt qu'extrêmes. Cependant, toujours en Ontario, la chaleur n'aurait pas d'incidence sur les hospitalisations liées à l'hypertension et à l'arythmie cardiaque (Bai *et al.*, 2016). En fait, la chaleur tendrait plutôt à diminuer la pression sanguine en favorisant la vasodilatation, contrairement au froid (Jayarajah et Seneviratne, 2019; Modesti, 2013). L'acclimatation physiologique à la chaleur semble jouer un rôle, puisqu'il a été estimé que les hospitalisations pour cardiopathie ischémique au Québec étaient plus importantes chez les personnes âgées en début d'été de 1989 à 2006, pour décroître avec l'avancement de la saison (Bayentin *et al.*, 2010).

En plus des hospitalisations pour maladies cardiovasculaires, la chaleur affecte le système de santé plus généralement. Des augmentations du nombre d'hospitalisations potentiellement liées à la chaleur et du nombre d'admissions à l'urgence ont également été observées lors de vagues de chaleur régionales dans certaines régions du Québec de 2010 à 2015 (Lebel *et al.*, 2017). En 2018, la vague de chaleur survenue au Québec a augmenté de 11 à 23 % le nombre de transports en ambulance dans l'ensemble des régions touchées, certaines ayant aussi observé une hausse du nombre d'admissions à l'urgence et d'hospitalisations (Lebel *et al.*, 2019). À Toronto, plus précisément, le nombre d'appels attribuables à la chaleur pour une ambulance était 12,3 % plus élevé pendant les épisodes de chaleurs extrêmes de 2005, de 2006 et de 2010 que la semaine précédant et suivant l'épisode (D. A. Graham *et al.*, 2016). En plus de ces effets, les chaleurs extrêmes intensifient les complications associées au diabète et aux problèmes rénaux (S. Hajat *et al.*, 2017; Lim *et al.*, 2018), en plus d'augmenter le risque de blessure non intentionnelle (Kampe *et al.*, 2016), de colique néphrétique (Ordon *et al.*, 2016), de détachement de la rétine (Auger, Rhéaume, Bilodeau-Bertrand, *et al.*, 2017) et de surdose de cocaïne (Auger, Bilodeau-Bertrand, *et al.*, 2017). Au sujet des problèmes rénaux, les auteurs d'une étude réalisée en Ontario ont estimé que les vagues de chaleur (3 jours consécutifs avec une température au-delà du 95^e percentile) augmentaient le risque d'insuffisance rénale aiguë chez les personnes âgées (OR⁷, IC 95 %⁸ : 1,0 – 1,23 ou 182 cas par 100 000 personnes-années) (McTavish *et al.*, 2018).

⁷ Odds ratio.

⁸ Intervalle de confiance à 95 %.

L'augmentation de la demande pour les services sociaux et les soins dans les établissements de santé découlant des effets de la chaleur accroît le fardeau de ces institutions, qui pourraient ne plus être en mesure d'y répondre (Curtis *et al.*, 2017). Une sursollicitation entraîne un stress supplémentaire chez le personnel en accroissant sa charge de travail, et peut ainsi dégrader la qualité et la rapidité des soins (Curtis *et al.*, 2017). Cette situation pourrait exacerber les problèmes de santé des bénéficiaires de ces soins. Par exemple, les coûts attribuables au réchauffement des températures ont été évalués à 33 milliards (en dollars canadiens de 2012) pour la période 2015-2065 au Québec. Ces estimations incluent les frais liés aux plans d'urgence, aux interventions, à l'utilisation du système de santé, aux pertes de productivité et à la mortalité, cette dernière étant le principal contributeur à ces coûts (Larrivée *et al.*, 2015).

3.2.4 SANTÉ PÉRINATALE

Plusieurs complications à la naissance ont également été associées à la chaleur. Quelques études menées au Québec ont déterminé que la chaleur pouvait contribuer à la prématurité et à l'accouchement précoce en cas d'exposition lors du troisième trimestre (Auger *et al.*, 2014), à l'avortement spontané (Auger, Fraser, Smargiassi, *et al.*, 2017) ou aux complications congénitales comme les malformations du cœur ou du tube neural en cas d'exposition durant le premier trimestre (Auger, Fraser, Arbour, *et al.*, 2017; Auger, Fraser, Sauvé, *et al.*, 2017). Aux États-Unis, certains auteurs ont démontré que les risques d'avortement spontané et d'accouchement prématuré augmentaient respectivement de 6 % par hausse de 1 °C une semaine avant l'accouchement, et de 11,6 % par hausse de 5,6 °C de la température ressentie les 2 à 6 jours suivants (Bekkar *et al.*, 2020). Pour les chaleurs extrêmes, une étude réalisée dans l'ensemble des États-Unis a conclu que les chaleurs extrêmes (> 95^e percentile) accroissaient de 2,5 % le risque (OR, IC 95 % : 1,02 – 1,04) d'accouchement prématuré (S. Sun, Weinberger, *et al.*, 2019). Seulement 154 accouchements prématurés sur un million étaient attribuables à la chaleur extrême selon cette étude. Dans une autre étude incluant près de 30 millions de naissances de 1989 à 2002 à travers 403 comtés états-uniens, les chaleurs extrêmes (> 95^e percentile) ont été associées à un risque 4 % (OR, IC 95 % : 1,03 – 1,05) plus élevé de faible poids à la naissance et à une diminution moyenne de 15 grammes (OR, IC 95 % : -17 g à -13 g) du poids du nourrisson à la 40^e semaine de gestation (S. Sun, Spangler, *et al.*, 2019).

3.2.5 SANTÉ PSYCHOSOCIALE

Les températures chaudes ont également des impacts sur la santé psychologique et sociale. Elles augmentent entre autres le stress et la propension aux comportements agressifs, comme il a été observé dans certaines villes américaines par une augmentation du taux de criminalité et de crimes violents, particulièrement dans les quartiers défavorisés (Heilmann et Kahn, 2019; Mares, 2013; Ranson, 2014). Par exemple, dans une ville comme Saint-Louis, chaque hausse d'un degré au-dessus de la température mensuelle moyenne historique augmenterait d'environ 1 % le nombre de crimes violents dans les quartiers défavorisés (Mares, 2013). Près de 20 % des quartiers les plus socialement défavorisés de la ville accuseraient la moitié de la hausse en criminalité provoquée par le réchauffement des températures. À Los Angeles, des auteurs ont observé une augmentation de 2,2 % des actes criminels commis et de 5,7 % des crimes violents lorsque la température quotidienne maximale dépassait 29,4 °C (Heilmann *et al.*, 2019). Encore ici, l'effet était plus prononcé dans les quartiers avec un taux de pauvreté plus élevé. Dans l'ensemble des États-Unis, une étude a projeté qu'un scénario d'émissions modérées ajouterait 22 000 meurtres, 180 000 viols et 1,2 million de voies de fait graves de 2010 à 2099 (Ranson, 2014).

Les chaleurs extrêmes peuvent pousser à l'isolement au domicile et décourager la pratique d'activités extérieures comme les activités sportives et récréatives (Zivin et Neidell, 2014), ce qui peut ainsi réduire les interactions sociales et l'activité physique. Cet isolement peut aussi mettre en danger la santé des individus qui dépendent de leur réseau social pour faire face aux aléas, en particulier les personnes âgées, avec des incapacités, issues de minorités ou à faible revenu (Bolitho et Miller, 2017; S. Williams *et al.*, 2017).

Une revue de la littérature a conclu que les chaleurs extrêmes pourraient également favoriser l'écllosion de problèmes psychologiques et comportementaux, bien que les preuves scientifiques soient encore limitées (R. Thompson *et al.*, 2018). Les preuves seraient plus cohérentes concernant la mortalité et la morbidité liées au suicide, à la schizophrénie et à la démence comparativement à la dépression, aux troubles bipolaires et aux abus de substances. Pour citer un exemple canadien, les températures les plus chaudes (99^e percentile) de 2002 à 2010 ont accru de 29 % les admissions à l'urgence à Toronto pour la schizophrénie, les troubles de l'humeur et les troubles névrotiques sur une période de 7 jours, en comparaison avec des températures moyennes (X. Wang *et al.*, 2014). Une tendance similaire a été établie dans la région méridionale du Québec pour les problèmes psychosociaux et de santé mentale globalement (Vida *et al.*, 2012).

Les températures ambiantes élevées ont aussi été associées positivement au taux de suicides. Il s'agirait en fait de l'effet le plus constant de la chaleur sur la santé mentale selon l'état actuel des connaissances scientifiques (R. Thompson *et al.*, 2018). Les auteurs d'une méta-analyse incluant 15 études de différents pays ont estimé que l'augmentation du risque relatif de suicide grimperait en moyenne de 1 à 37 % pour chaque augmentation d'un degré au-delà de la température où le taux de suicides est à son minimum (R. Thompson *et al.*, 2018). Une étude portant sur 12 pays a quant à elle soulevé que la température à laquelle le risque de suicide est le plus élevé au Canada est de 24 °C, soit un risque 1,46 fois plus élevé qu'à -15 °C (Y. Kim *et al.*, 2019).

3.2.6 EFFETS LIÉS AU TEMPS PASSÉ À L'EXTÉRIEUR ET À L'INTÉRIEUR

Le réchauffement des températures aura un impact sur la température intérieure et le temps passé à l'extérieur. La chaleur entraînera entre autres des effets sur le confort thermique des résidents, avec des effets sur la santé similaires à l'exposition extérieure à la chaleur (Gervais et Laliberté, 2016). En revanche, les effets sur la qualité du sommeil et la capacité à se thermoréguler pourraient mener à des impacts plus importants sur la santé, d'autant plus que les gens passent la plupart de leur temps à l'intérieur (Kenny *et al.*, 2019).

L'augmentation des températures moyennes et des chaleurs non extrêmes pourrait également amener quelques impacts positifs. Le prolongement de la saison estivale et l'augmentation probable de journées propices aux activités extérieures pourraient inciter les populations à effectuer davantage d'activité physique ou à participer à un plus grand nombre d'événements sociaux (Baert *et al.*, 2011; Remmers *et al.*, 2017; Witham *et al.*, 2014). Cet effet sera toutefois partiellement ou totalement compensé par l'effet dissuasif des chaleurs accablantes. Le temps consacré aux activités extérieures plafonne et décroît lorsque les températures dépassent la trentaine de degrés (Zivin *et al.*, 2014). De plus, certaines personnes pourraient s'exposer davantage aux effets délétères des rayons ultraviolets (UV) et des polluants atmosphériques de cette façon. Inversement, les occupants d'un logement de mauvaise qualité – souvent caractérisé par une qualité moindre de l'air intérieur – pourraient profiter des températures clémentes pour sortir davantage et diminuer leur exposition aux polluants ambiants intérieurs.

3.3 Les populations à risque par rapport à la chaleur

3.3.1 ÂGE

Personnes âgées

Les personnes âgées sont plus susceptibles d'éprouver les effets de la chaleur du fait qu'elles ont une plus faible capacité d'adaptation physique, qu'elles adoptent moins de comportements préventifs et qu'elles affichent un niveau d'isolement social et de dépendance plus élevé (Bélanger, Gosselin, *et al.*, 2015c; Laverdière *et al.*, 2015, 2016; Valois, Talbot, Carrier, *et al.*, 2016; Valois, Talbot, Renaud, *et al.*, 2016). Les maladies chroniques préexistantes, comme les maladies cardiovasculaires, les problèmes rénaux, l'hypertension et le diabète, davantage prévalentes chez les personnes âgées, constituent également des facteurs de risque (S. Hajat *et al.*, 2017; Laverdière *et al.*, 2015, 2016; McTavish *et al.*, 2018). De plus, les personnes âgées de 70 ans et plus ne se perçoivent pas toujours comme étant vulnérables, une croyance qui peut diminuer leur prédisposition à adopter des comportements préventifs (Boeckmann et Rohn, 2014; Valois *et al.*, 2018; Valois, Talbot, Carrier, *et al.*, 2016). Avec le vieillissement de la population, et en assumant le statu quo sur le plan du niveau d'adaptation, il faut prévoir que l'ampleur des impacts de la chaleur sur la santé soit de plus de plus importante.

Néanmoins, la vulnérabilité au sein même de ce groupe d'âge varie grandement en fonction des facteurs de risque préexistants (faible revenu, maladies préexistantes, proximité d'îlots de chaleur, vivre seul, etc.). Par exemple, les aînés du Québec méridional présentant 6 facteurs de risque ou plus ont 8 fois plus de chance de se présenter à l'urgence et 7 fois plus de chance de décéder ou d'être hospitalisés lors de chaleurs extrêmes en comparaison avec ceux ne présentant aucun ou qu'un seul facteur de risque (Laverdière *et al.*, 2016). La prise en compte de l'effet cumulé des facteurs de risque est ainsi essentielle pour cibler les personnes âgées les plus vulnérables.

Le risque sanitaire pour les personnes âgées semble également modulé par l'augmentation des températures ou leur variation entre la nuit et le jour. Les personnes âgées québécoises ont été respectivement admises à l'urgence et hospitalisées 2,7 et 1,7 fois plus fréquemment lors des jours de canicule de 2006 à 2010 comparativement aux jours estivaux normaux (Laverdière *et al.*, 2016). Selon la littérature, chaque hausse d'un degré au-dessus des températures de mortalité minimale accroissait en moyenne chez les aînés les taux de mortalité toutes causes (2 à 5 %), cardiovasculaire (3,4 %), respiratoire (3,6 %) et cérébrovasculaire (1,4 %). À cela s'ajoutent les risques de complications diabétique, rénale, génito-urinaire et infectieuse (Bunker *et al.*, 2016; McTavish *et al.*, 2018; W. Yu *et al.*, 2012). Une autre méta-analyse incluant 15 études a conclu qu'un accroissement de la température d'un degré en été augmentait en moyenne de 2 à 5 % le taux de mortalité chez les personnes âgées de plus de 65 ans (W. Yu *et al.*, 2012). Les variations dans les températures diurnes affectaient également la mortalité des aînés en partie à cause de leurs plus faibles capacités d'adaptation physique. À Montréal, de 1984 à 2007, un changement de température de 6 à 11 °C sur 30 jours a augmenté la mortalité quotidienne de 5 % chez les personnes âgées, ce pourcentage s'élevant à 11 % pour une variation allant de 11 à 17,5 °C (Vutcovici *et al.*, 2014).

La majorité des études disponibles offrent peu de comparaisons avec les autres groupes d'âge, ce qui ne permet pas d'affirmer avec certitude que les personnes âgées sont plus affectées. Selon une méta-analyse comparant les personnes âgées (65 ans et plus) aux plus jeunes (15-64), le risque de décès lié à la chaleur est plus élevé de seulement 2 % (Benmarhnia *et al.*, 2015). Une étude réalisée dans 22 pays, dont 26 villes canadiennes incluant Montréal, a pour sa part indiqué que le pourcentage de personnes âgées de 65 ans et plus dans une communauté métropolitaine n'influait pas significativement la mortalité associée à la chaleur (Sera *et al.*, 2019).

D'autres données ont montré que les adultes de moins de 65 ans étaient parfois les plus affectés, puisqu'ils passent davantage de temps à l'extérieur (Alberini *et al.*, 2011; Song *et al.*, 2017). Ainsi, même si la sensibilité des aînés à la chaleur tend à s'intensifier avec l'âge, l'exposition peut diminuer. Par exemple, à Vancouver, les personnes de 65 à 74 ans présentaient un risque plus élevé de décès que les 85 ans et plus lors de la semaine la plus chaude de 2009, le risque étant plus élevé pour les personnes hors institutions (résidences pour personnes âgées, hôpitaux, cliniques) (Kosatsky *et al.*, 2012). Cette situation peut être expliquée par le fait que les personnes âgées sont moins mobiles avec l'âge et, par conséquent, sortent moins de leur logement et s'exposent moins à la chaleur lorsque leur domicile est bien isolé, ventilé ou climatisé.

Enfants

Les enfants risquent davantage de subir les contrecoups des chaleurs extrêmes compte tenu de leur capacité d'acclimatation physique limitée et de leurs aptitudes restreintes à réagir adéquatement au stress. Par exemple, la chaleur semble affecter davantage les admissions dans le réseau de la santé et des services sociaux pour des traumatismes physiques (incluant les fractures) chez les enfants que chez les adultes (A. M. Ali et Willett, 2015). Également, l'incidence de problèmes rénaux, de fièvre, de déséquilibre électrolytique et de maladies respiratoires (p. ex., asthme) s'accroît de façon importante chez les enfants pendant les vagues de chaleur (Xu, Sheffield, *et al.*, 2014). La mortalité serait plus grande chez les enfants âgés de 0 à 4 ans que chez les enfants âgés de 5 à 14 ans, et encore plus importante chez les enfants de moins d'un an, même si elle demeure basse (Xu, Sheffield, *et al.*, 2014). Enfin, les enfants résidant en milieu urbain sont plus à risque en raison de l'effet d'îlot de chaleur et des concentrations plus élevées de polluants atmosphériques (Vanos, 2015).

Au Québec, des températures au-dessus de 29 °C ont été associées à un risque presque 3 fois plus élevé de mort subite du nourrisson (Auger *et al.*, 2015). La femme enceinte, dans le cas d'une grossesse à terme, présenterait également un risque croissant avec la chaleur de décollement placentaire, lequel peut être fatal autant pour la mère que pour le fœtus (He *et al.*, 2018). Néanmoins, une revue systématique spécifique aux vagues de chaleur a conclu que la littérature existante demeure ambiguë sur les liens entre la mortalité chez les enfants et les vagues de chaleur (Xu, Sheffield, *et al.*, 2014).

3.3.2 SEXE ET GENRE

Les hommes semblent plus à risque relativement aux impacts de la chaleur, mais les causes ne sont pas bien caractérisées. Au Québec, les hommes de 45 à 64 ans avaient un risque plus élevé d'être hospitalisés en raison d'une maladie ischémique du cœur lors de chaleurs accablantes de 1989 à 2006 (Bayentin *et al.*, 2010). De plus, les hommes de 40 à 69 ans risqueraient davantage de développer une colique néphrétique lors de chaleurs extrêmes (Ordon *et al.*, 2016). Le fait que les hommes occupent davantage les emplois avec un risque élevé d'exposition pourrait expliquer cette disparité. Cependant, une méta-analyse a indiqué que le risque de décès lié à la chaleur n'était pas significativement différent entre les femmes et les hommes (Benmarhnia *et al.*, 2015).

3.3.3 MALADIES CHRONIQUES

Les personnes avec certaines maladies préexistantes ou à mobilité réduite constituent un autre groupe de population vulnérable aux effets de la chaleur. Par exemple, à Fredericton, à Winnipeg, à Windsor, à Regina et à Sarnia, les personnes atteintes de maladies cardiovasculaires ou pulmonaires ont déclaré plus souvent s'être mal senties lors de la dernière vague de chaleur (Alberini *et al.*, 2011). À Toronto, le diabète a été reconnu comme étant un facteur accentuant la probabilité de consulter ou

d'être admis à l'urgence pour un problème cardiovasculaire lors d'épisodes de chaleur, bien que d'autres facteurs (hypertension, problèmes rénaux, cancers, etc.) étaient soulignés, sans être significatifs (E. Lavigne *et al.*, 2014). Les admissions à l'urgence pour maladies respiratoires, de même que la préexistence d'un cancer ou d'une maladie chronique respiratoire, représentaient également un facteur de comorbidité.

L'âge peut aussi influencer la relation entre la chaleur et la comorbidité. Au Québec, les personnes âgées de 65 ans et moins habitant les quartiers les plus défavorisés souffrant d'au moins 2 maladies chroniques et percevant leur santé comme étant passable ou faible ont rapporté 4,2 fois (OR, IC 95 % : 2,9 à 6,2) plus de problèmes de santé reliés à la chaleur lors de températures extrêmement chaudes et humides en comparaison avec les personnes âgées sans maladies chroniques (Bélanger *et al.*, 2014). Chez les personnes âgées de 65 ans et moins, le risque était plutôt 5,6 fois (OR, IC 95 % : 3,8 – 8,0) plus élevé. De 2006 à 2010, les personnes âgées du sud du Québec ayant une incapacité importante avaient 2,5 fois et 2,7 fois plus de risque d'être admises à l'urgence et de subir physiquement les contrecoups de la chaleur, respectivement (Laverdière *et al.*, 2016).

3.3.4 PRISE DE MÉDICAMENTS ET ABUS DE SUBSTANCES

La prise de médicaments peut accroître la vulnérabilité d'un individu lors de chaleurs extrêmes en accélérant la déshydratation et la production de chaleur corporelle. Entre autres, les diurétiques, les immunosuppresseurs, les interférons et certains anticoagulants ont le potentiel d'accroître le risque d'hyperthermie (Bélanger, Bustinza, *et al.*, 2015; Health Canada, 2011). La consommation excessive de drogues ou d'alcool peut également vulnérabiliser les individus aux effets de la chaleur et diminuer leur capacité d'adaptation. En Angleterre, les personnes ayant des problèmes de toxicomanie présentaient un risque plus élevé de décès lors des températures au-delà du 93^e centile de la distribution annuelle des températures (Page *et al.*, 2012). Au Québec, une étude a indiqué que le risque de surdose de cocaïne s'accroissait à mesure que la température quotidienne maximale augmentait en été, mais que le risque toutes drogues confondues n'était pas significatif (Auger, Bilodeau-Bertrand, *et al.*, 2017). De plus, les auteurs d'une analyse sur les liens entre plusieurs facteurs de vulnérabilité chez les personnes âgées de 65 ans et plus du Québec méridional n'ont observé que deux associations entre les effets autorapportés sur la santé pendant les chaleurs extrêmes et la prise de médicaments, sur les 9 médicaments considérés (Laverdière *et al.*, 2016). Dans cette étude, les diurétiques augmentaient le risque d'admission à l'urgence pour un problème de santé associé à la chaleur (OR : 2,39; IC 95 % : 1,04 – 5,46), alors que l'utilisation de médicaments pour le système nerveux central le diminuait (OR : 0,08; IC 95 % : 0,02 – 0,38).

Itinérance

Leur prévalence de maladies chroniques étant particulièrement élevée, les personnes en situation d'itinérance sont également davantage affectées par les chaleurs extrêmes, qui exacerbent leurs problèmes de santé ou en provoquent de nouveaux (Cusack *et al.*, 2013; Pendrey *et al.*, 2014; Ramin et Svoboda, 2009). Elles affichent également, dans une grande proportion, des problèmes de santé mentale et de dépendance à l'alcool ou à la drogue. Les personnes autochtones demeurent particulièrement concernées, étant donné qu'elles représentent une part disproportionnée des personnes en situation d'itinérance dans les villes canadiennes (C. Patrick, 2014).

3.3.5 DÉFAVORISATION MATÉRIELLE ET SOCIALE

En plus de présenter davantage de maladies préexistantes, les personnes à faible revenu habitent souvent des logements mal isolés, mal ventilés et peu climatisés dans une plus grande proportion que la population dans son ensemble (Bélanger *et al.*, 2014, 2016; Kosatsky *et al.*, 2009). À Vancouver, les quartiers avec plus de 20 % d'habitants sous le seuil de la pauvreté affichaient un taux de mortalité 23 % supérieur aux autres quartiers lors de la vague de chaleur de 2009 (Kosatsky *et al.*, 2012). Les régions du Québec affichant un niveau de défavorisation matérielle et sociale élevé ont quant à elles affiché un taux d'hospitalisations pour cardiopathie ischémique supérieur aux régions plus favorisées lors des chaleurs extrêmes survenues de 1989 à 2006 (Bayentin *et al.*, 2010). Cependant, une méta-analyse a conclu que le risque de décès lié à la chaleur ne différait pas entre les résidents des régions défavorisées et favorisées (Benmarhnia *et al.*, 2015). Ce constat a également été observé au Québec, entre les aires de diffusion défavorisées et très défavorisées, pour les vagues de chaleur de 2010 et de 2011 (Lebel *et al.*, 2015). Or, si l'impact du statut socio-économique sur les décès en période de chaleur est plutôt mitigé, l'impact sur les consultations médicales ou hospitalières est plus clair. Au Québec, les personnes dans le quintile de revenu inférieur étaient 20 % plus susceptibles de consulter un médecin en période de chaleurs extrêmes du fait qu'elles en subissaient davantage les conséquences sanitaires (Bélanger *et al.*, 2014). De 2006 à 2010, les personnes âgées du Québec méridional dont le revenu du ménage était inférieur à 20 000 \$ avaient presque 3 fois plus de chance d'aller à l'urgence, d'être hospitalisées ou de décéder à cause de la chaleur lorsque les températures dépassaient 30 °C (Laverdière *et al.*, 2016). Une étude réalisée dans 106 villes états-uniennes a également suggéré que les villes avec une population plus défavorisée sur le plan socio-économique affichaient une proportion plus élevée de décès cardiorespiratoires attribuables à la chaleur (Yunquan Zhang *et al.*, 2019).

3.3.6 ETHNICITÉ

Les effets de la chaleur sur la santé des minorités ethniques sont peu étudiés au Canada, les études sur le sujet ayant été effectuées essentiellement aux États-Unis. Les personnes noires présentaient un risque plus élevé d'être hospitalisées lors des chaleurs extrêmes survenues de 2001 à 2010 aux États-Unis (Schmeltz *et al.*, 2015). Par contre, les liens entre la chaleur et la mortalité chez les minorités raciales s'avèrent plutôt mitigés d'après la littérature actuelle. Les études soulignent autant des baisses que des hausses, ou une absence d'effets, dont la mortalité, chez les minorités hispaniques, noires ou asiatiques (Gronlund, 2014). Des facteurs structurels (faible revenu, résidence dans un îlot de chaleur, type de travail, etc.) ou culturels (isolement linguistique, perception du risque, etc.) plutôt que génétiques seraient en cause.

Pour les populations autochtones du sud du Canada, la chaleur pourrait causer des problèmes de santé importants en raison de la multiplicité de certains facteurs de vulnérabilité présents chez ces populations. Elles affichent généralement une prévalence plus élevée de certaines maladies, de faible revenu et de logements mal adaptés, tous des facteurs associés à une aggravation des effets subis lors de chaleurs importantes (Administrateur en chef de la santé publique du Canada, 2016).

3.3.7 TRAVAIL ET SPORT

Les travailleurs extérieurs, dans le domaine de la construction, de l'agriculture ou de la foresterie, entre autres, sont particulièrement exposés à la chaleur et à ses risques sanitaires. Certains milieux de travail intérieurs, telles les industries et la restauration, peuvent également être propices à l'hyperthermie. Le risque de blessure, de malaise ou de maladie au travail augmente lors des chaleurs accablantes, alors que la productivité des travailleurs décroît (Acharya *et al.*, 2018; Adam-Poupart *et al.*, 2013; Levi *et al.*, 2018). De 2004 à 2010, en Ontario, chaque degré au-dessus de 22 °C

a augmenté de 75 % le nombre médian d'hospitalisations pour des malaises et des maladies au travail liés à la chaleur (Fortune *et al.*, 2014). D'autres résultats ont également démontré que l'exposition à des stress thermiques intenses en milieu de travail, conjuguée à une déshydratation persistante, pouvait accroître le risque d'insuffisance rénale jusqu'à provoquer des problèmes chroniques (Nerbass *et al.*, 2017). Les auteurs d'une méta-analyse ont d'ailleurs estimé que 15 % des 21 721 travailleurs inclus dans les études répertoriées ont eu des maladies rénales, dont des insuffisances rénales aiguës, lorsqu'ils travaillaient par temps chaud⁹ un minimum de 6 heures à raison de 5 jours par semaine pour une durée d'au moins 2 mois dans une année (Flouris *et al.*, 2018). Dans cette même méta-analyse, il a aussi été évalué que les individus (n = 11 582) travaillant dans un environnement chaud⁹ avaient 4 fois plus de chance de souffrir de malaises liés à la chaleur que les individus travaillant dans un environnement thermoneutre, et que leur température corporelle grimpeait de 0,7 °C.

Au Québec, chaque augmentation d'un degré de la température estivale quotidienne maximale a accru d'environ 40 % le nombre de réclamations quotidiennes en lien avec la chaleur auprès des organismes de compensation en santé et en sécurité du travail de 1998 à 2010 (Adam-Poupart, Smargiassi, *et al.*, 2014). Le risque d'accident reste similaire entre les travailleurs effectuant des tâches manuelles ou non (Adam-Poupart, Smargiassi, *et al.*, 2015). Les emplois exigeant de travailler à l'extérieur ou dans des milieux propices à l'accumulation thermique étant principalement occupés par des hommes, ceux-ci sont également plus à risque que les femmes (Acharya *et al.*, 2018; Adam-Poupart, Smargiassi, *et al.*, 2015; Varghese *et al.*, 2018). Il en va de même pour les jeunes et les travailleurs plus âgés ainsi que les travailleurs payés à la pièce plutôt qu'à l'heure (Varghese *et al.*, 2018; J. Xiang *et al.*, 2014).

Les sportifs ou toute autre personne pratiquant une activité physique pour le plaisir peuvent aussi s'exposer aux conséquences de la chaleur. Faire de l'exercice par temps chaud exerce un stress supplémentaire sur le corps; l'exercice physique peut mener à une production de chaleur corporelle 10 fois plus importante qu'au repos, et à une augmentation encore plus grande du rythme cardiaque (Leyk *et al.*, 2019). Le stress peut être non négligeable lorsque l'exercice excède 30 minutes (Macartney *et al.*, 2020).

3.3.8 ZONES D'ÎLOTS DE CHALEUR ET URBANITÉ

Les ICU représentent la différence de température observée entre les milieux urbains et les zones rurales environnantes, et aussi entre les zones d'une ville donnée, par exemple entre un parc et un stationnement adjacent (îlots intra-urbains). L'imperméabilité et le faible albédo (niveau de réflectance solaire) des espaces urbains, combinés à un faible niveau de végétation, causent la formation de ces îlots de chaleur intra-urbains (M. Beaudoin et Gosselin, 2016; M. Beaudoin et Lavoie, 2017). L'albédo de villes comme Toronto et Montréal tourne autour de 0,2 sur un maximum de 1, indiquant que les matériaux et les couleurs utilisés, tels que l'asphalte et les toits foncés, absorbent beaucoup de chaleur le jour et en relâchent la nuit (D. A. Graham *et al.*, 2016; Touchaei et Akbari, 2015). Ces caractéristiques, auxquelles s'ajoute la chaleur produite par les véhicules automobiles, l'industrie, les appareils ménagers et la climatisation, élèvent artificiellement la température ambiante.

Le taux de mortalité associée à la chaleur est ainsi généralement plus élevé en milieu urbain qu'en milieu rural (Gabriel et Endlicher, 2011; Tan *et al.*, 2010; Wouters *et al.*, 2017). Une étude menée dans le nord-est des États-Unis a montré qu'une hausse de la température de 21 à 32 °C accroissait de 8,9 % (PI¹⁰ 95 % : 7,4 – 10,4) le taux de mortalité dans les comtés urbains comparativement à 8,1 %

⁹ Au-delà de 24,8 °C pour un travail physiquement exigeant et de 22 °C pour un travail requérant un effort modéré.

¹⁰ Prediction interval.

(PI 95 % : 6,1 – 10) dans les comtés non urbains, bien que la différence ne soit pas statistiquement significative (Madrigano *et al.*, 2015). Les conséquences sanitaires associées à la chaleur suivent également le gradient d'intensité des îlots de chaleur intra-urbains. À Montréal, par exemple, le taux de mortalité et de maladies respiratoires de 1990 à 2003 était plus élevé dans les îlots de chaleur d'intensité élevée que dans les endroits plus frais (différence de 6 à 8 °C), le rapport de cotes étant de 1,4 à 14 fois plus élevé, dépendamment de l'intensité de l'îlot et des concentrations d'ozone (Smargiassi *et al.*, 2009). De plus, la valeur foncière de l'habitation était négativement associée à la mortalité, une valeur plus élevée étant généralement représentative de la qualité du logement et d'une meilleure isolation, ventilation et climatisation. De surcroît, les ICU aggravent les inégalités de santé. Les personnes défavorisées, déjà plus vulnérables à la chaleur, habitent communément des quartiers à forte intensité d'îlots de chaleur, où la prévalence d'espaces verts est faible (Bélanger *et al.*, 2014; Ngom *et al.*, 2016).

3.4 Les mesures d'adaptation à la chaleur

3.4.1 LES MESURES INDIVIDUELLES D'ADAPTATION À LA CHALEUR

Climatisation

La climatisation est souvent citée comme une mesure d'adaptation à la chaleur à prioriser. Dans les immeubles sans climatisation, la température intérieure peut atteindre 1,5 fois la température extérieure (Lundgren Kownacki *et al.*, 2019). Des auteurs ont estimé que la climatisation pourrait expliquer 16,7 % de la diminution de 43 % de l'excès de mortalité liée à la chaleur observée au Canada pour la période 1972-2009, soit une proportion semblable au Japon, à l'Espagne et aux États-Unis (Sera *et al.*, 2020). Pour ce dernier, une autre étude a conclu que le risque de décès lié à la chaleur était réduit par l'utilisation de climatiseurs (Nordio *et al.*, 2015). De plus, le risque d'hospitalisation due à un coup de chaleur serait moindre dans les comtés états-uniens avec une prévalence plus élevée de climatisation centrale pendant une vague de chaleur (Yan Wang *et al.*, 2016).

Au Québec, en 2017, la proportion des ménages disposant de l'un des différents types de climatiseurs était de 56 %, dont 31 % équipés de climatiseurs centraux (Statistique Canada, 2019). Dans les quartiers les plus défavorisés des villes les plus peuplées de la province, les personnes avec un système de climatisation intérieur étaient moins nombreuses à déclarer des effets néfastes lors de chaleurs extrêmes (Bélanger, Gosselin, *et al.*, 2015b, 2015c). De plus, la climatisation a indirectement comme effet de limiter l'entrée de polluants extérieurs puisqu'elle est généralement jumelée à la fermeture des fenêtres, bien qu'elle puisse également diminuer la ventilation dans les milieux intérieurs avec une qualité de l'air néfaste (L.-Y. Lin *et al.*, 2013).

Néanmoins, certaines études nord-américaines semblent également démontrer des effets non significatifs ou une absence d'association entre la climatisation et une diminution des impacts sur la santé (Alberini *et al.*, 2011; Arbuthnott *et al.*, 2016; Bélanger, Gosselin, *et al.*, 2015a; Bobb *et al.*, 2014). Entre autres, des auteurs d'une étude réalisée dans 105 villes américaines ont trouvé des réductions non significatives de la mortalité associée à la chaleur dans les villes avec une progression importante de la prévalence de climatisation centrale (Bobb *et al.*, 2014). Un sondage mené dans 5 villes canadiennes (Regina, Winnipeg, Windsor, Sarnia, Fredericton) a également indiqué que la prévalence de personnes déclarant avoir subi des effets néfastes liés à la chaleur n'était pas associée à la climatisation du logement (Alberini *et al.*, 2011).

Une utilisation généralisée de la climatisation peut aussi accroître la température extérieure à cause de la demande accrue en électricité et du rejet de l'air chaud à l'extérieur du logement (L.-Y. Lin *et al.*, 2013; Lundgren et Kjellstrom, 2013). Des simulations à Paris et à Houston ont montré qu'une généralisation de la climatisation pourrait mener à une augmentation de la température extérieure de 2 °C dans les milieux urbains denses (de Munck *et al.*, 2013; Salamanca *et al.*, 2014). En ce qui concerne les personnes à faible revenu, une climatisation soutenue du logement peut augmenter de façon importante la facture d'électricité (F. Ng *et al.*, 2015). L'accès aux lieux climatisés ou permettant de se rafraîchir (piscines publiques, jeux d'eau, parcs) pourrait être préférable pour ces populations.

De plus, la climatisation intérieure sensibilise davantage les individus aux chaleurs extérieures en raison du contraste de température. Certains problèmes de santé (p. ex., aggravation de l'arthrite et des problèmes cutanés, apparition de pneumopathie) ainsi que la prolifération de bactéries nuisibles ont été associés à l'utilisation de la climatisation lorsque le système était mal entretenu (M. N. Khan *et al.*, 2018). L'utilisation modérée de la climatisation, combinée à d'autres mesures (p. ex., modifications structurales au toit et aux fenêtres, utilisation de matériaux réfléchissants, verdissement du logement ou du quartier) pourrait limiter ses effets négatifs tout en maximisant ses effets positifs (Fisk, 2015; Mavrogianni *et al.*, 2012; Raji *et al.*, 2015).

Ventilation mécanique

Plusieurs organisations de santé publique déconseillent l'utilisation de ventilateurs, notamment en raison de l'augmentation potentielle du taux de sudation qui pourrait accroître la déshydratation (Ravanelli et Jay, 2016). Pourtant, une revue de la littérature a indiqué qu'il n'y avait aucune preuve scientifique pour proscrire ou recommander l'usage de la ventilation à des seuils de chaleur élevés (Saurabh Gupta *et al.*, 2012). Les seuils au-dessus desquels apparaît l'effet de déshydratation lié à la ventilation varient toutefois en fonction des critères, des mesures et des populations. Des études ont évalué que ce seuil se situait aux alentours de 35 à 40 °C, et était plus élevé avec un faible taux d'humidité (Saurabh Gupta *et al.*, 2012; Jay *et al.*, 2015; Ravanelli *et al.*, 2015). Selon une étude, un ventilateur pourrait aider un occupant à endurer physiquement des températures de 3 à 4 °C supérieures à la normale, indépendamment du taux d'humidité (Jay *et al.*, 2015). Par contre, une étude similaire sur des personnes âgées a indiqué que la ventilation pouvait entraîner des résultats neutres ou négatifs à partir de 42 °C (D. Gagnon *et al.*, 2016). Cette contradiction peut être expliquée par le plus faible taux de sudation des personnes âgées, lequel diminue l'efficacité de l'évaporation thermique du ventilateur.

En somme, même si la ventilation était inefficace lors de températures trop élevées ou en présence d'un taux d'humidité élevé, elle pourrait être bénéfique à des seuils de température observés lors de chaleurs extrêmes au Canada (de 31 à 33 °C) pour les individus qui s'hydratent bien (D. Gagnon *et al.*, 2016; Saurabh Gupta *et al.*, 2012; Jay *et al.*, 2015; Ravanelli *et al.*, 2015).

Comportements et habitudes de vie

Plusieurs autres mesures préventives peuvent être adoptées à l'échelle individuelle pour réduire les risques liés à la chaleur extrême, entre autres (Bustinza et Demers-Bouffard, à paraître) :

- Prendre des douches ou des bains additionnels;
- Consommer davantage d'eau;
- Fréquenter des endroits frais ou à l'ombre comme les endroits climatisés (p. ex., centres d'achat), les espaces verts et les espaces bleus (p. ex., piscines, jeux d'eau, lacs, etc.);
- Diminuer la durée et l'intensité de l'activité physique pratiquée;

- Planifier la visite de proches;
- Surveiller et protéger les enfants;
- Surveiller les alertes de chaleur et les conditions météorologiques;
- Porter des vêtements plus amples, plus courts, respirants et de couleurs claires;
- Diminuer l'utilisation de certains appareils électriques (p. ex., ordinateur, sècheuse, four, etc.);
- Ouvrir les fenêtres et les portes (lorsque la qualité de l'air le permet), ou encore fermer les volets, les rideaux et les stores;
- Éviter l'alcool, la caféine et le tabac;
- Adopter généralement de saines habitudes de vie (p. ex., activité physique, sommeil, nutrition), car une meilleure forme physique diminue la vulnérabilité à la chaleur.

La fréquence de ces comportements varie fortement d'un groupe de personnes à un autre. Par exemple, une étude canadienne basée sur des sondages menés dans 5 villes non québécoises a relevé que 53 % des parents amèneraient leurs enfants à une piscine ou à un autre bassin d'eau lors d'une vague de chaleur, 14 % iraient eux-mêmes, et seulement 3 % des personnes s'occupant des personnes âgées s'y rendraient (Alberini *et al.*, 2011). Les perceptions du risque, de contrôle et de sa propre vulnérabilité influencent en somme la prédisposition des individus à adopter des mesures préventives contre la chaleur (Valois *et al.*, 2018; Valois, Talbot, Renaud, *et al.*, 2016). L'adoption ou non de comportements préventifs pourrait expliquer l'association ambiguë du risque de maladie cardiovasculaire avec les chaleurs extrêmes ponctuelles de courte durée (Phung *et al.*, 2016). À l'opposé, la relation avec l'état de santé est plus claire pour les vagues de chaleur, puisque les personnes peuvent plus aisément éviter ou absorber les effets de la chaleur une seule journée que pendant plusieurs jours. Au Québec, un indice d'adaptation à la chaleur, incluant 18 mesures d'adaptation et considérant différentes variables comme le revenu, l'âge, le sexe et la perception, a été développé afin de surveiller ces comportements dans le temps (Valois, Talbot, Renaud, *et al.*, 2016).

3.4.2 LES MESURES POPULATIONNELLES ET INSTITUTIONNELLES D'ADAPTATION À LA CHALEUR

Plans d'action

Les plans d'action régionaux en cas de chaleur extrême peuvent en réduire les effets sur la santé, particulièrement s'ils prévoient des dispositions afin d'appuyer les personnes les plus isolées socialement et celles dont l'état de santé les rend plus à risque. Au Québec, l'Observatoire québécois de l'adaptation aux changements climatiques (OQACC) a mené un sondage en 2015 afin de déterminer le niveau d'adaptation du réseau de la santé et des services sociaux. Les résultats de ce sondage ont démontré que les deux tiers des établissements de santé avaient un plan de prévention et de protection en cas de chaleur extrême et que les trois quarts des directions de santé publique (DSPublique) avaient élaboré un plan de prévention et de protection en cas de chaleur extrême (Valois, Jacob, *et al.*, 2017a). Le tableau 2 présente des exemples de mesures implantées par ces deux types d'organisation. Pour la sécurité civile municipale, un autre sondage réalisé la même année auprès de 110 services de sécurité civile municipaux a indiqué que 50 % d'entre eux mettaient en place des mesures de sécurité civile (p. ex., mobiliser le personnel d'urgence pour intervenir, distribuer des bouteilles d'eau à la population, prolonger les heures d'ouverture des aires aquatiques publiques, etc.) lors de vagues de chaleur (Valois, Jacob, *et al.*, 2017b).

Tableau 2 Exemples de mesures mises en place par le réseau de la santé et des services sociaux pour les chaleurs extrêmes et les vagues de chaleur

Préparation	Intervention	Post-événement
Établissements de santé		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rappeler au personnel les signes précoces, les manifestations cliniques et les soins en cas de maladie liée à la chaleur ▪ Indiquer les pièces/zones les plus fraîches et les plus difficiles à rafraîchir ▪ Permettre à son personnel de participer à des séances de formation offertes par la DSPublique 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Identifier les usagers à risque ▪ Inciter le personnel à boire plus d'eau ▪ Distribuer plus d'eau froide et de boissons rafraîchissantes ▪ Ajuster les horaires de travail ou faire des rotations de personnel plus fréquentes ▪ Effectuer une évaluation médicale supplémentaire au début de l'été auprès des usagers à risque 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Non comptabilisé
Direction de santé publique		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Consulter le Système de surveillance et de prévention des impacts sanitaires des événements météorologiques extrêmes (SUPREME) ▪ Produire des analyses sur les impacts sanitaires des vagues de chaleur ▪ Offrir de la formation aux intervenants du réseau de la santé et des services sociaux 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Émettre un avis sur le module Info-Santé ▪ Donner des entrevues aux médias ▪ Ordonner des mesures pour contrer une menace réelle à la santé de la population ▪ Effectuer une enquête épidémiologique 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Réviser les interventions de la DSPublique (amélioration continue) ▪ Participer à des activités de communication publique ▪ Délimiter les zones présentant un risque élevé de mortalité pour orienter d'éventuelles interventions préventives

Source : Valois, Jacob, *et al.*, 2017a.

Dans la région de Montréal, les autorités sanitaires et municipales ont instauré un plan d'action pour les chaleurs accablantes, lequel inclut des campagnes de sensibilisation ciblant les quartiers les plus à risque, la mise à disposition de refuges climatisés, l'extension des heures d'ouverture des piscines publiques ainsi que le porte-à-porte en phase ultime. Lorsque comparées aux chaleurs extrêmes précédant l'implantation, ces mesures ont diminué de 5 fois le nombre de décès quotidiens, l'effet étant plus marqué chez les personnes âgées (Benmarhnia *et al.*, 2016). En ciblant les quartiers les plus défavorisés, le plan a également permis de réduire l'écart de mortalité associée à la chaleur entre les communautés les plus favorisées et les plus défavorisées. À Rome, la proportion d'augmentation des décès toutes causes des personnes de 75 ans et plus était 50 % moins élevée pendant l'été de 2015 en comparaison avec celle de 2014 dans les quartiers où un programme d'intervention sociale avait été implanté et dont l'objectif était d'améliorer l'appui social des personnes isolées ou malades (Liotta *et al.*, 2018).

Une méta-analyse incluant 17 études a indiqué qu'une diminution de la mortalité et de la morbidité était constatée après l'implantation de plans d'action contre la chaleur extrême, accompagnés la plupart du temps de systèmes d'alertes préventives (Boeckmann *et al.*, 2014). Elle a toutefois souligné plusieurs défis et contraintes méthodologiques, entre autres la difficulté de pouvoir attribuer des effets sur la santé à un ensemble d'actions, particulièrement à long terme, et l'absence de situations contrefactuelles en guise de comparaison.

De surcroît, plusieurs études ont démontré une diminution des indemnisations pour accidents de travail lors de chaleurs extrêmes et de vagues de chaleur dans plusieurs pays (Varghese *et al.*, 2018; J. Xiang *et al.*, 2014). Ce résultat semble indiquer que les mesures d'adaptation obligatoires à mettre en place au-delà d'un certain seuil (p. ex., accroissement des périodes de repos, plus grand roulement des travailleurs, meilleur suivi de leur hydratation ou diminution de leur effort physique) s'avèrent efficaces pour diminuer les effets de la chaleur sur les travailleurs.

Systèmes d'alertes populationnelles et seuils de température

Des alertes téléphoniques indiquant les mesures préventives à adopter avant et pendant les chaleurs extrêmes sont une façon de rejoindre et d'informer rapidement les personnes vulnérables à la chaleur. La littérature actuelle démontre que ce type de système peut diminuer la mortalité et le nombre de personnes transportées en ambulance, et que son absence pourrait l'augmenter (Boeckmann *et al.*, 2014; Toloo *et al.*, 2013). Dans la région de la Montérégie, au Québec, ce type de système destiné aux personnes âgées ou ayant certaines maladies préexistantes aurait augmenté l'intention de fréquenter des endroits frais et de rester à l'intérieur chez les participants qui adoptaient aussi davantage de mesures de rafraîchissement à la maison (Mehiriz *et al.*, 2018; Mehiri et Gosselin, 2017). Il a aussi été démontré dans cette étude que les femmes consultaient 2 fois moins un spécialiste de la santé par rapport au groupe contrôle. Toutefois, la difficulté pour ces systèmes d'alertes est de rejoindre les personnes les plus vulnérables, telles que les personnes isolées, les personnes en situation d'itinérance, ou encore les personnes sans moyens de communication électronique ou téléphonique. De surcroît, puisque la majorité des recommandations (p. ex., consommation d'eau, fréquentation d'endroits frais) sont souvent instinctives et qu'un individu peut aisément percevoir la survenue d'une chaleur extrême, il est difficile d'estimer à quel point les campagnes de sensibilisation et les alertes non personnalisées ont une influence sur les comportements (Boeckmann *et al.*, 2014).

Au Québec, des avertissements de chaleur extrême sont émis par le système de surveillance et de prévention des impacts sanitaires des événements météorologiques extrêmes (SUPREME), mis en place dès 2010, ce qui pourrait expliquer partiellement la diminution importante de la mortalité observée entre la vague de chaleur de 2010 et celle de 2018, en plus des plans d'action régionaux mis en œuvre depuis (Lebel *et al.*, 2019). Néanmoins, les auteurs d'une étude réalisée dans 20 villes états-uniennes n'ont soulevé aucune diminution significative (RR¹¹, IC 95 % : -2,8 à 1,9) de la mortalité à la suite de la mise en place d'un système d'alertes préventives en cas de chaleur extrême, exception faite de Philadelphie (Weinberger, Zanobetti, *et al.*, 2018).

Pour assurer leur mise en œuvre optimale, il est suggéré que les plans d'action et les systèmes d'alertes se fondent sur la détermination de seuils météo à partir desquels les risques sanitaires graves augmentent. Différents guides canadiens sont disponibles sur ce sujet, dont un sur la détermination des seuils d'alertes pour les vagues de chaleur développés afin d'assister les organisations de santé, les municipalités ou tous autres acteurs dans la mise en œuvre de systèmes d'alertes (Gachon *et al.*, 2016). D'autres guides sont destinés aux professionnels des soins de santé afin qu'ils soient en mesure de répondre adéquatement aux chaleurs extrêmes. Un sur les meilleures pratiques pour implanter un système d'alertes et un plan d'intervention en cas d'épisode de chaleur accablante (Health Canada, 2012) et un autre sur les lignes directrices entre autres quant à la médication, aux facteurs de risque de même qu'aux symptômes reliés aux stress thermiques intenses (Santé Canada, 2011), en font partie. Dans tous les cas, une réévaluation du système de surveillance et des seuils chaque 5 ans est avisée étant donné les changements à travers le temps dans la relation entre la chaleur et les effets sur la santé (p. ex., acclimatation à la chaleur,

¹¹ Risque relatif.

vieillesse de la population, distribution des vagues de chaleur, évolution des ICU) (Hess et Ebi, 2016).

La littérature scientifique n'est pas concluante quant au seuil de température intérieure au-dessus duquel les effets sur la santé peuvent se manifester (Ormandy et Ezratty, 2012; A. Paradis *et al.*, 2019). Tout comme pour la température extérieure, ce seuil variera grandement en fonction des populations et du temps de survenue dans l'année. Même si l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) recommande une température intérieure se situant entre 18 et 24 °C, les revues de la littérature réalisées pour soutenir cette recommandation ne permettent pas d'affirmer avec certitude qu'une température au-dessus de 24 °C occasionne des effets néfastes sur la santé (Ormandy *et al.*, 2012; WHO, 2018). Pour maximiser le confort thermique à l'intérieur du logement en été, certains auteurs proposent une température maximale se situant entre 24 et 26,5 °C et une humidité relative maintenue entre 30 et 50 % (Levasseur *et al.*, 2020).

3.4.3 LES MESURES PHYSIQUES D'ADAPTATION À LA CHALEUR

Verdissement

Le verdissement est une mesure d'adaptation pouvant combattre le phénomène des ICU, étant donné ses répercussions sur la chaleur ambiante. Au Québec, un sondage réalisé en 2016 auprès de 84 municipalités a souligné que seulement 39 % d'entre elles ont implanté des mesures de lutte contre les ICU, dont le verdissement (Valois, Jacob, *et al.*, 2017b). Selon une simulation effectuée dans un quartier fortement densifié de 90 000 mètres carrés (m²) de Montréal, une implantation généralisée d'arbres le long des rues diminuerait de 0,6 à 2,1 °C la température physiologique équivalente le jour et seulement de 0,1 à 0,4 °C la nuit (Yupeng Wang et Akbari, 2016). Dans une autre simulation menée à Toronto, un accroissement de 10 % de la végétation aurait refroidi les températures de 0,5 à 0,8 °C pendant le jour en été (Yupeng Wang *et al.*, 2015). Une étude conduite dans 3 villes néerlandaises a pour sa part démontré que la température physiologique équivalente et la température ambiante dans les parcs et les espaces verts urbains étaient respectivement inférieures de 1,9 °C et de 0,8 °C en moyenne, en comparaison avec le centre de la ville (Klemm *et al.*, 2015). Le niveau de canopée et la localisation des parcs en amont du vent constituaient des facteurs contribuant à réduire la température. Les toits végétalisés font également partie des mesures potentielles de verdissement, particulièrement en milieu urbain. Pendant une journée ensoleillée de 26 °C, un toit foncé peut atteindre jusqu'à 80 °C, comparativement à 29 °C pour un toit végétal (K. Liu et Bass, 2005). Leur capacité à réduire la chaleur ambiante dépend de plusieurs facteurs, notamment la hauteur des plantes et du bâtiment ainsi que l'indice de surface foliaire et la profondeur du substrat (Akbari *et al.*, 2016; Berardi, 2016; Sailor *et al.*, 2012; Taleghani, 2018). Les toits végétalisés intensifs (végétation haute avec un feuillage dense) peuvent avoir un effet deux fois plus important sur la chaleur ressentie à l'échelle piétonne que les toits végétalisés extensifs (végétation basse telle que le gazon) (Berardi, 2016). Ces toits perdent généralement leur capacité à réduire la température ambiante près du sol lorsqu'ils s'élèvent de 6 à 10 mètres (m) de hauteur, dépendamment de la morphologie urbaine (Akbari *et al.*, 2016; Taleghani, 2018).

Les bénéfices de la végétation peuvent mener à une réduction du taux d'hospitalisations et de mortalité en lien avec la chaleur chez les résidents à proximité. Une étude réalisée à partir de données de 22 pays (incluant 26 villes canadiennes, dont Montréal) a souligné que la mortalité associée à la chaleur diminuait en fonction de la superficie d'espaces verts (Sera *et al.*, 2019). À Toronto, lors d'épisodes de chaleurs extrêmes, le nombre d'appels pour une ambulance attribuables à la chaleur était 5 fois plus élevé dans les quartiers ayant moins de 5 % de canopée comparativement aux autres (D. A. Graham *et al.*, 2016). Cette différence s'élevait à 18 fois pour les quartiers avec une superficie arborescente excédant 70 %. Une étude menée dans 135 villes états-

uniennes a conclu que les quartiers les moins végétalisés présentaient un taux de mortalité plus élevé que les quartiers plus végétalisés (Zanobetti *et al.*, 2013). Plus précisément, la mortalité estivale était 3 % supérieure par augmentation de 7,7 °C dans les quartiers les moins verdés. Au Canada, une augmentation d'un quartile du niveau de végétation à moins de 500 m du lieu de résidence diminuait de 8 à 12 % le taux de mortalité en lien avec le diabète ou les systèmes cardiovasculaire et respiratoire, selon une importante étude sur 11 ans menée dans 30 villes (Crouse *et al.*, 2017). Cela signifie que les personnes habitant les quartiers les plus verdés pourraient afficher un taux de mortalité pour le diabète et les maladies cardiovasculaires de 24 à 36 % inférieur aux personnes habitant les quartiers les moins verdés. Une méta-analyse comprenant 9 études de cohorte a indiqué que chaque augmentation de 0,1 de l'indice différentiel de végétation normalisé¹² diminuait de 4 % le risque de mortalité (Rojas-Rueda *et al.*, 2019). D'autres facteurs que la végétation pourraient néanmoins expliquer cette relation, ou y contribuer.

Outre la réduction de l'inconfort thermique et des impacts sanitaires de la chaleur, les mesures de verdissement apportent de nombreux co-bénéfices, comme l'amélioration de certains problèmes de santé mentale et de la cohésion sociale, la réduction du bruit et des concentrations de particules fines dans l'air, une meilleure gestion de l'eau et la réduction des inégalités sociales de santé (voir sections 7.4.3 **Les mesures physiques d'adaptation à la pollution de l'air ambiant** et 5.4.2 **Les mesures physiques d'adaptation aux tempêtes et aux précipitations**) (M. Beaudoin *et al.*, 2017; Dadvand et Nieuwenhuijsen, 2019; Nowak *et al.*, 2013; Tallis *et al.*, 2011). Plusieurs dizaines de projets de verdissement et de perméabilisation du sol ont été implantés au Québec pour combattre les ICU dans des quartiers défavorisés. Les personnes exposées à ces mesures ont signalé une amélioration de leur qualité de vie par un accroissement du sentiment de sécurité, de la cohésion sociale et de l'autonomie des communautés touchées (M. Beaudoin *et al.*, 2016).

Le verdissement du milieu peut néanmoins accroître l'exposition aux pollens allergènes (voir section 8.4.3 **Les mesures physiques d'adaptation aux allergènes**) et les valeurs foncières, tout en diminuant l'effet rafraîchissant du vent dans certains cas. Les grands espaces verts peuvent accroître l'étalement dans les milieux urbains (Wolch *et al.*, 2014). Les toits et les murs végétalisés coûtent également plus chers à installer que les structures traditionnelles ou réfléchissantes, ce qui risque de gonfler les coûts des logements, bien qu'ils puissent les diminuer à moyen et à long termes en raison des économies d'énergie (Kats et Glassbrook, 2018; Perini et Rosasco, 2013; Sailor *et al.*, 2012). De plus, certaines espèces étant vulnérables à certaines maladies (p. ex., agrile du frêne, maladie hollandaise de l'orme), le choix des essences et la distribution sur le territoire de la végétation sont ainsi importantes à prendre en compte.

Espaces bleus

Les espaces bleus, c'est-à-dire les plans d'eau tels que les lacs, les rivières et même les piscines, présentent également des propriétés refroidissantes. Une méta-analyse incluant 27 études a suggéré que les espaces bleus de grandeur appréciable affichaient une température moins élevée de 2,5 °C en moyenne comparativement aux alentours (Völker *et al.*, 2013). Les cours d'eau peuvent transporter la chaleur en amont des milieux bâtis vers les milieux en aval, ou inversement, dépendamment de la direction de leur courant (Z. Yu *et al.*, 2020). Plus généralement, la proximité des milieux naturels, incluant les espaces bleus, est la plupart du temps associée à une meilleure santé, bien que les effets soient relativement mineurs, sans compter la possibilité de confusion avec d'autres facteurs (Kabisch *et al.*, 2017). Une étude réalisée à Vancouver n'a pas montré d'association

¹² -1 = plans d'eau; -0,1 à 0,2 = milieux désertiques (roche, sable ou neige); 0,2 à 0,4 = arbustes, pelouse ou prés; 0,4 à 0,6 = végétation modérément dense; 0,6 à 1 = forêts ou cultures très denses et matures.

entre la présence d'espaces bleus dans un rayon de 400 ou de 1000 m de la résidence et la santé mentale ou le sentiment d'appartenance à la communauté (Rugel *et al.*, 2019).

Tout comme pour les espaces verts, la capacité refroidissante de l'espace bleu dépend de sa situation (p. ex., îlot de chaleur urbain, parc, lieu ombragé), de sa grandeur et d'autres caractéristiques (p. ex., courant, niveau de pollution) (Gober *et al.*, 2009; Z. Yu *et al.*, 2020). Les piscines, les jeux d'eau et autres lieux de baignade sont également des lieux essentiels donnant l'opportunité de se refroidir, en particulier pour les personnes vulnérables (Alberini *et al.*, 2011; Benmarhnia *et al.*, 2016). Les heures d'ouverture des infrastructures publiques devraient donc correspondre aux heures de chaleur pour accroître l'efficacité de la mesure (Bustanza *et al.*, à paraître). Elles doivent aussi être entretenues pour éviter, par exemple, la transmission de maladies d'origine hydrique (voir section 11 **Pollution de l'eau et insalubrité des aliments**).

Réflectance des matériaux (albédo)

L'augmentation des capacités des villes à se rafraîchir par temps chaud est optimisée lorsque le verdissement des milieux urbains est combiné à la pose de revêtements et à l'utilisation de matériaux à albédo¹³ élevé. En général, une augmentation de 0,1 de l'albédo peut réduire d'approximativement 1 °C la température ambiante lors de grandes chaleurs (Santamouris, 2014). Selon une simulation, l'augmentation de l'albédo au sol de 0,2 à 0,4, des toits de 0,3 à 0,7, ainsi qu'un accroissement de 10 % de la végétation dans la ville de Toronto pourraient diminuer la température ressentie de 3,3 à 4,6 °C pendant les jours estivaux (Yupeng Wang *et al.*, 2015). À Montréal, une augmentation de l'albédo de 0,2 à 0,65 diminuerait les températures annuelles de 0,2 °C, et jusqu'à 4 °C lors des journées chaudes (Touchaei *et al.*, 2015). Cet impact sur la température ambiante a un effet direct sur la santé. Dans 3 régions métropolitaines américaines (Atlanta, Philadelphie, Phoenix), le verdissement substantiel (au moins 50 % de la superficie urbaine) ou une augmentation importante de l'albédo (au-dessus de 0,45) pourrait réduire de 40 à 99 % les hausses projetées de mortalité liée à la chaleur d'ici 2050 (Stone *et al.*, 2014). En Californie, l'implantation généralisée de toits réfléchissants pourrait réduire de 51 à 100 % l'accroissement de l'exposition à la chaleur causée par les changements climatiques en 2050, selon le scénario d'émissions (Vahmani *et al.*, 2019). Les milieux avec des bâtiments en hauteur demeurent moins affectés que ceux avec des bâtiments plus bas, puisqu'ils sont moins exposés au soleil (Akbari *et al.*, 2016; Taleghani *et al.*, 2016).

Ces mesures de lutte contre les ICU ne diminuent pas de façon notable les températures en hiver, entre autres parce que la neige recouvre les toits, que la durée d'ensoleillement est plus courte et que les arbres n'évapotranspirent pas lorsqu'ils ont perdu leur feuillage. La cartographie des ICU et du niveau de défavorisation des populations permet également de mieux cibler les interventions (Bouffroy *et al.*, 2013; I. D. Stewart, 2011; Yupeng Wang *et al.*, 2015). En revanche, une augmentation de la réflectance solaire au sol peut également diminuer le confort thermique des piétons et accroître l'effet d'éblouissement en réfléchissant les rayons solaires vers les individus (Erell *et al.*, 2014; Lynn *et al.*, 2009; Mohegh *et al.*, 2017; Taleghani *et al.*, 2016). La diminution de la température de l'air peut ainsi ne pas compenser l'augmentation de l'irradiance solaire pour les personnes se promenant sur des surfaces réfléchissantes lors de journées estivales ensoleillées. Cet effet a été observé pour une augmentation de 0,3 et de 0,35 de l'albédo jusqu'à 5 m de distance entre la surface réfléchissante et un individu (Lynn *et al.*, 2009; Taleghani *et al.*, 2016).

¹³ L'albédo constitue la capacité à refléter l'énergie lumineuse; c'est une grandeur sans dimension variant de 0 (absorption totale de l'énergie, comme les surfaces noires) à 1 (réflexion totale, comme un miroir).

Aménagement du territoire et bâtiments

La forme urbaine peut également influencer les effets sur la santé découlant des chaleurs extrêmes. La densité de logements ou de population, entre autres, est associée à l'effet des ICU (Yupeng Wang *et al.*, 2015, 2016; Ying Zhang et Sun, 2019). Une étude réalisée à partir de données de 22 pays industrialisés (incluant 26 villes du Canada, dont Montréal) a démontré une association plus forte entre la densité de population (ou les milieux urbains) et la mortalité associée à la chaleur comparativement aux milieux plus ruraux (Sera *et al.*, 2019). Cependant, les associations avec la mortalité liée à la chaleur pour les pourcentages d'urbanisation du territoire ou de population habitant au centre-ville n'étaient pas significatives sur le plan statistique. À Vancouver, une étude a conclu que le risque de décès dans les zones denses (1 000 personnes par kilomètre carré [km²]) était plus élevé (43 %) que dans les zones moins denses (Kosatsky *et al.*, 2012). Cet effet était néanmoins majoritairement expliqué par la faible climatisation résidentielle et la défavorisation élevée de ces quartiers.

En revanche, au Massachusetts, le risque de mortalité associée à la chaleur de 1990 à 2008 n'était pas associé aux mesures d'urbanisation (Hattis *et al.*, 2012). Même si la densité de la population est associée au phénomène d'ICU, l'étalement urbain augmente quant à lui la superficie minéralisée et nécessite une diminution des aires végétalisées dans l'ensemble. Par exemple, les villes américaines plus étalées ont subi une augmentation plus importante du nombre de chaleurs extrêmes de 1956 à 2005 (Stone *et al.*, 2010). À Philadelphie et à Phoenix, le nombre d'appels d'urgence par personne a diminué en fonction de la densité de logements lors d'une vague de chaleur survenue en 1999 (Uejio *et al.*, 2011). D'un autre côté, l'étalement urbain ne semblait pas associé à la mortalité liée à la chaleur dans une étude menée dans 22 pays (Sera *et al.*, 2019), contrairement à la présence de milieux ruraux ou semi-ruraux autour de la municipalité. Dans tous les cas, afin de diminuer le potentiel d'emménagement de la chaleur et la mortalité associée, la densification des milieux doit être combinée à des mesures de positionnement des bâtiments, de verdissement, d'ombrage et de réflectivité solaire (voir sections précédentes) (Stone *et al.*, 2014; Yupeng Wang *et al.*, 2015, 2016).

La qualité du logement a également une incidence sur les effets sur la santé subis. Combinés à l'utilisation de matériaux réfléchissants, l'amélioration de l'isolation et de la ventilation des logements vétustes des quartiers défavorisés ainsi que l'ajout de protection solaire aux fenêtres (volets, rideaux, etc.) sont des mesures pouvant réduire de façon substantielle l'exposition à la chaleur des résidents tout en étant rentables à moyen et à long termes sur le plan de la consommation d'énergie (Bélanger *et al.*, 2014; Mavrogianni *et al.*, 2012; Ngom *et al.*, 2016; Porritt *et al.*, 2012).

4 Froideur moyenne, froids extrêmes et vagues de froid

4.1 Les effets des changements climatiques sur les tendances et les projections de froids

Le réchauffement des températures atténuera les ardeurs de l'hiver à travers le Canada et le Québec en réduisant la durée de la saison froide et l'intensité des froids extrêmes. Pour la période de 1948 à 2016, les données météorologiques historiques pour les températures hivernales ont affiché les tendances suivantes (X. Zhang *et al.*, 2019) :

- Augmentation de 1,4 °C des températures moyennes hivernales;
- Diminution de 16,7 des jours dont la température minimale est en dessous de 0 °C;
- Diminution de 16,4 des jours consécutifs en dessous de 0 °C;
- Diminution de 13,5 du nombre de jours dont la température maximale est en dessous de 0 °C.

Comparativement à la même période, le nombre de jours de froids extrêmes ($T_{min} < -25$ °C) diminuera fort probablement avec les changements climatiques pour l'horizon 2051-2080. Le nombre annuel de jours de froids extrêmes serait réduit de 15 à 35 jours pour un scénario de fortes émissions (RCP8.5). Il s'abaisserait ainsi à près de 0 dans la vallée du Saint-Laurent dans des régions comme l'Estrie, la Montérégie et Chaudière-Appalaches (ECCC, s. d.). Par exemple, il est projeté que le nombre de jours de froids extrêmes pour la période 2041-2070 passe de 10 (historique : 1948-2016) à 0 (RCP8.5) ou 2 (RCP4.5) à Trois-Rivières et à Saint-Jérôme. Pour l'intensité des froids extrêmes, les projections indiquent une augmentation de 4,2 °C de la température annuelle minimale quotidienne la moins élevée pour 2031-2050 et de 12,6 °C pour 2081-2100 comparativement à la période 1948-2016 pour le Québec (X. Zhang *et al.*, 2019).

Malgré la réduction substantielle attendue du nombre de jours de froids extrêmes, la durée des vagues de froid¹⁴ pourrait ne diminuer que faiblement. Des auteurs ont estimé entre autres que la durée agrégée des vagues de froid dans une saison s'abaisserait d'un seul jour en moyenne au Québec pour l'horizon 2081-2100, avec de fortes variations en fonction des régions, mais peu en fonction des scénarios (Sillmann *et al.*, 2013). L'humidité et le vent influencent aussi le froid ressenti, mais les tendances historiques et les projections correspondantes pour les valeurs moyennes demeurent incertaines (Ouranos, 2015). Une étude a suggéré néanmoins que la vitesse moyenne des vents hivernaux pourrait augmenter pour la période 2079-2099 par rapport à la période 1979-1999 (Ouranos, 2015).

¹⁴ La définition d'une vague de froid ne fait pas consensus chez les auteurs, mais il s'agit généralement de 3 jours consécutifs où la température dépasse un certain seuil. Les études scientifiques utilisent la plupart du temps une mesure relative, en particulier un percentile de la distribution annuelle des températures (p. ex., en dessous du 5^e percentile).

4.2 Les effets du froid sur la santé

4.2.1 EFFETS GÉNÉRAUX

Le froid a plusieurs effets sur les fonctions corporelles. Le corps réagit face au froid en augmentant le rythme cardiaque et respiratoire, la vaso- et la broncho-constriction ainsi que la contraction musculaire afin de produire davantage de chaleur et de la redistribuer aux organes vitaux (Conlon *et al.*, 2011; Gronlund *et al.*, 2018). En conséquence, les températures froides, extrêmes et non extrêmes augmentent le risque de maladie et de mortalité cardiovasculaire, respiratoire, cérébrovasculaire (Gill *et al.*, 2013; Moghadamnia *et al.*, 2017; Phung *et al.*, 2016; Ryti *et al.*, 2016; Z. Sun *et al.*, 2018; L. R. Turner *et al.*, 2012) et générale (Gasparrini, Guo, Hashizume, Lavigne, *et al.*, 2015; S. Hajat, 2017; Liddell *et al.*, 2016; Song *et al.*, 2017).

Une méta-analyse a estimé que le risque d'être hospitalisé augmentait en moyenne de 2,8 % pour chaque degré de diminution en dessous de la température de mortalité minimale (Phung *et al.*, 2016). Pour les hospitalisations, les températures les plus froides de 1989 à 2006 ont été associées au Québec à un excédent d'admissions à l'hôpital pour maladies cardiaques ischémiques allant jusqu'à 12 % en hiver (Bayentin *et al.*, 2010). Toujours au Québec, les admissions à l'urgence pour cardiopathies ischémiques ont été plus nombreuses en début d'hiver et ont diminué plus la saison avançait, mettant ainsi en évidence un effet d'acclimatation physique et sociale (Bayentin *et al.*, 2010). Cet effet a également été observé en Chine pour la mortalité (L. Wang *et al.*, 2016). À New York, des auteurs ont observé une hausse du nombre d'hospitalisations pour les maladies du cœur, en particulier les infarctus, jusqu'à 6 jours après une journée froide (S. Lin *et al.*, 2016). Toutefois, le froid ne semblait pas avoir d'effet particulier sur les problèmes rénaux et les troubles de santé mentale (Lim *et al.*, 2018; X. Wang *et al.*, 2014). Entre autres, aucune relation n'a été trouvée à Toronto entre les froids extrêmes (1^{er} percentile de température) et les admissions à l'urgence pour des troubles psychologiques ou de comportement (X. Wang *et al.*, 2014).

La durée d'exposition individuelle au froid pour que ces différents effets sur la santé puissent se manifester n'est toutefois pas bien connue (Ryti *et al.*, 2016). Ils peuvent néanmoins être observés jusqu'à 2 semaines après un froid extrême, parfois davantage (Kinney *et al.*, 2015; Liddell *et al.*, 2016; Phung *et al.*, 2016; Ryti *et al.*, 2016). L'humidité peut également influencer les conséquences du froid sur la santé, les deux extrêmes (faible et forte) semblant exacerber la mortalité et la morbidité rattachées au froid (Barreca, 2012; R. E. Davis *et al.*, 2016; Mäkinen *et al.*, 2009). Bien que l'hiver soit associé à l'anxiété, à la dépression, aux troubles de l'humeur et à d'autres troubles psychologiques, ces derniers sont causés principalement par le raccourcissement des heures d'ensoleillement plutôt que par les températures froides, bien qu'elles puissent les aggraver en incitant à l'isolement (Berry *et al.*, 2010). Les épisodes de smog hivernaux pourraient également exacerber les effets du froid (S. Lin *et al.*, 2016).

4.2.2 MORTALITÉ

Le pourcentage de décès toutes causes attribuables au froid a été calculé pour 21 villes canadiennes et variait de 1,96 % à 5,53 % de 1986 à 2012, selon la ville (Gasparrini, Guo, Hashizume, Lavigne, *et al.*, 2015). L'hypothermie ne représentait qu'une faible proportion des décès associés au froid, comparativement aux maladies cardiovasculaires ou respiratoires. Le réchauffement global des températures devrait atténuer certains effets néfastes du froid sur la mortalité au Canada. Des projections selon un scénario d'émissions modérées pour 15 villes canadiennes ont d'ailleurs montré que le nombre de décès pourrait diminuer de 2 à 19 par 100 000 habitants selon la ville pour la période 2031-2050, en comparaison avec la période 1981-2000 (S. L. Martin *et al.*, 2012). Le risque

de mortalité associée aux températures les plus froides (5^e percentile et moins) à Vancouver, à Ottawa, à Edmonton et à Montréal était de 19 à 72 % plus élevé en comparaison avec la température de mortalité minimale (environ 75^e percentile) (S. L. Martin *et al.*, 2012). Une autre étude considérant un délai de 30 jours n'a toutefois pas trouvé de relation entre les températures froides et la mortalité à Montréal (Goldberg *et al.*, 2011). Au Québec, la mortalité toutes causes n'est pas associée aux températures moyennes en dessous de 18 °C lorsque la saison et l'influenza sont prises en compte (Doyon *et al.*, 2008). En Ontario, chaque réduction de 5 °C pendant la saison hivernale correspondait à un accroissement moyen de 2,5 % du nombre de décès pour la période 1996-2010 (H. Chen, Wang, *et al.*, 2016). Aux États-Unis, une étude réalisée dans 106 communautés métropolitaines a montré que le pourcentage de décès cardiorespiratoires attribuables au froid était plus élevé dans les villes avec un niveau modéré d'humidité pour la période 1987-2000 (Yunquan Zhang *et al.*, 2019).

4.2.3 INFECTIONS

Les individus changent également leur comportement lors d'épisodes de froid, particulièrement en passant plus de temps à l'intérieur. Les températures froides coïncident ainsi avec l'incidence maximale de grippe et d'infections respiratoires telles que la pneumonie et la bronchite (Bunker *et al.*, 2016; Mäkinen *et al.*, 2009; WHO, 2013b; Xu, Liu, *et al.*, 2014). Cette association s'expliquerait par le fait que le froid favorise la promiscuité, affaiblit le système immunitaire et accroît l'inflammation de même que l'assèchement des muqueuses du système respiratoire. D'autres maladies infectieuses peuvent être plus facilement transmises de cette façon, bien que le froid soit aussi associé à une diminution de la prolifération de maladies d'origine hydrique (Bruce *et al.*, 2016; Hedlund *et al.*, 2014; Herrador *et al.*, 2015). L'humidité serait inversement associée à l'incidence de la grippe puisqu'un climat sec favorise la transmission du virus par les voies aériennes en suspendant pour une plus longue période les particules rejetées par un hôte infecté (Shaman et Kohn, 2009). L'importance de l'humidité serait moindre dans les milieux densément peuplés étant donné la grande proximité des individus (Dalziel *et al.*, 2018).

4.2.4 AUTRES IMPACTS

Des températures hivernales plus clémentes incitent les individus à attribuer davantage de temps aux activités extérieures pour ainsi promouvoir l'activité physique et les liens sociaux. Cette augmentation du temps passé à l'extérieur pourrait également réduire le risque de propagation de maladies infectieuses comme le rhume, la grippe et les infections pulmonaires, même si elle pourrait accroître l'exposition aux polluants de l'air extérieur (Bunker *et al.*, 2016; Mäkinen *et al.*, 2009). Cependant, le réchauffement des températures hivernales risque d'accroître le nombre de fractures puisque les températures près du point de congélation et les épisodes de pluie suivis d'une baisse importante de la température ont été associés à un risque plus élevé de chute à Montréal (Morency *et al.*, 2012). Le froid accroîtrait aussi la probabilité de survenue d'effets indésirables à la naissance ou au cours de la grossesse tels que la prééclampsie, l'éclampsie, un faible poids à la naissance et la prématurité de l'enfant, en particulier lors d'une exposition lors du troisième trimestre (Poursafa *et al.*, 2015; Strand *et al.*, 2011). Outre ces impacts, les froids extrêmes entraînent une consommation accrue d'électricité de même que l'utilisation de poêles à bois, de foyers et d'autres sources de chaleur qui peuvent contribuer à une détérioration de la qualité de l'air (extérieur et intérieur), en plus d'accroître le risque de brûlure. Au Québec, des températures de moins de 30 °C de 1989 à 2014 ont accru de 51 % le risque d'être admis à l'hôpital pour une brûlure en comparaison avec le point de congélation (Ayoub *et al.*, 2017). Finalement, les grandes variations de température (20 °C et plus) pendant un ou deux jours consécutifs pourraient favoriser la survenue de crise vaso-occlusive chez les personnes atteintes de [drépanocytose](#) (ou « anémie falciforme »), mais pas nécessairement les températures minimales (Wachnian *et al.*, 2020).

4.3 Les effets du froid comparativement aux effets de la chaleur

4.3.1 DIFFÉRENCES HISTORIQUES ET GÉOGRAPHIQUES

Mondialement et au Canada, les décès attribuables aux températures froides en hiver sont actuellement plus nombreux que les décès en lien avec la chaleur en été (Gasparrini, Guo, Hashizume, Lavigne, *et al.*, 2015; S. L. Martin *et al.*, 2012). De 1985 à 2012, 4,5 % des décès toutes causes au Canada auraient été attribuables au froid contre seulement 0,5 % pour la chaleur (Gasparrini, Guo, Hashizume, Lavigne, *et al.*, 2015). Pour l'ensemble du Canada, ces 2 pourcentages augmentent respectivement à 6,2 % (froid) et à 0,7 % (chaleur) pour la période 2010-2019 (Gasparrini *et al.*, 2017), partiellement en raison du vieillissement. En Ontario, chaque variation de 5 °C vers les extrêmes de température a été associée à un excès de décès quotidiens de 7 en hiver et de 4 en été (H. Chen, Wang, *et al.*, 2016). Des auteurs ont calculé également que le froid était responsable de 7,15 % des décès cardiorespiratoires dans 106 communautés métropolitaines aux États-Unis (de 1987 à 2000), comparativement à 0,43 % pour la chaleur (Yunquan Zhang *et al.*, 2019).

L'effet du froid ou de la chaleur est souvent calculé en fonction des centiles de température moyenne dans une année (5^e centile et moins ou 1^{er} centile pour le froid; 95^e centile et plus ou 99^e centile pour la chaleur), permettant d'estimer l'effet des températures extrêmes. Pour observer les effets de la température sur la santé, les scientifiques emploient généralement la température où les impacts sur la santé sont à leur plus bas (p. ex., température de mortalité minimale). Cette température d'impact minimal s'approche généralement des températures plus chaudes. Par conséquent, le nombre de jours sous cette température minimale est plus élevé que le nombre au-dessus de cette valeur, ce qui peut partiellement expliquer pourquoi le froid se voit souvent attribuer davantage de décès (en proportion du nombre total) que la chaleur dans certaines études.

Une augmentation de la mortalité associée aux basses températures est observée autant dans les pays tempérés comme le Canada que dans les pays tropicaux comme le Brésil (Gasparrini, Guo, Hashizume, Lavigne, *et al.*, 2015). Cet effet sur la mortalité serait observable du fait que le corps s'acclimata à une certaine température et que toute déviation par rapport à cette température optimale accroît le risque de mortalité. Les variations de température sur une année pourraient ainsi être plus dangereuses que les températures en termes absolus. Certaines études semblent aussi démontrer que les personnes vivant dans des climats plus tempérés sont plus susceptibles de subir les effets des températures extrêmes (Gasparrini, Guo, Hashizume, Lavigne, *et al.*, 2015; S. Stewart *et al.*, 2017; Yunquan Zhang *et al.*, 2019), bien que d'autres réfutent cette affirmation (Kinney *et al.*, 2015). Dans les deux cas, l'effet du froid et de la chaleur sur la santé s'intensifie plus les températures s'éloignent de la température de mortalité minimale, jusqu'à atteindre un plateau d'adaptation naturelle où les personnes s'isolent.

Contrairement à la chaleur, qui affecte davantage les villes à cause de l'effet des ICU, le froid semble avoir un impact plus considérable en milieu rural (Bayentin *et al.*, 2010; Conlon *et al.*, 2011). Les effets du froid sur la santé peuvent s'observer des semaines après une journée de froid extrême ou une vague de froid, alors que la durée est généralement au maximum d'une semaine pour la chaleur (journée ponctuelle ou vague) (Bunker *et al.*, 2016; Moghadamnia *et al.*, 2017; Ryti *et al.*, 2016; Z. Sun *et al.*, 2018; L. R. Turner *et al.*, 2012). Dans les deux cas, autant les variations des températures quotidienne, hebdomadaire que mensuelle coïncident avec l'augmentation de la mortalité et de la morbidité, surtout cardiaque et respiratoire (J. Cheng *et al.*, 2014; Lim *et al.*, 2012; Vanasse, Talbot, *et al.*, 2016; Vutcovici *et al.*, 2014).

4.3.2 PROJECTION DE LA MORTALITÉ D'ICI 2100

Quelques études se sont penchées sur l'effet net projeté des changements climatiques au Canada sur la mortalité associée aux températures ambiantes. Ces études semblent indiquer que l'accroissement de la mortalité en lien avec la chaleur devrait surpasser la réduction de la mortalité en lien avec le froid dans la plupart – sinon l'ensemble – des régions. Au Québec, une hausse nette de 3 % de la mortalité annuelle a été projetée pour 2080 en comparaison avec la période 1981-1999 (Doyon *et al.*, 2006, 2008). À l'inverse, une étude réalisée dans 15 villes canadiennes a conclu que seulement 4 verraient un accroissement net de leur mortalité, soit London, Hamilton, Régina et Montréal (S. L. Martin *et al.*, 2012). La surmortalité¹⁵ associée aux températures de 2090 à 2099 au Canada augmenterait en comparaison avec la période 2010-2019 pour les scénarios RCP 4.5, 6.0 et 8.5 de changements climatiques (Gasparrini *et al.*, 2017) (voir **Tableau 3**). Selon ce dernier scénario, la surmortalité annuelle augmenterait de 1,9 point de pourcentage (IC 95 % : -0,6 à 4,8) (Gasparrini *et al.*, 2017). En revanche, l'effet serait presque nul dans les scénarios de réchauffement moyen (RCP4.5 et RCP6.0) pour l'horizon 2050-2059, même si une hausse de 0,2 (IC 95 % : -0,7 à 1,4) à 0,4 point (IC 95 % : -0,8 à 1,7) est observée pour 2090-2099. Le pourcentage de décès toutes causes attribuables à la chaleur serait quant à lui inférieur aux décès attribuables au froid, peu importe le scénario utilisé, quoiqu'ils soient presque égaux à la fin du siècle pour le scénario RCP8.5.

Tableau 3 Surmortalité associée à la chaleur et au froid ainsi que l'effet net sur la surmortalité au Canada en comparaison avec l'horizon temporel 2010-2019 selon les scénarios de changements climatiques

Scénarios	Horizon temporel	Chaleur (%)	Froid (%)	Effet net (%)
RCP2.6	2010-2019	0,7 (0,2 à 1,2)	6,2 (3,4 à 9,0)	-
	2050-2059	0,9 (0,2 à 1,8)	5,9 (3,1 à 8,5)	-0,1 (-0,4 à +0,2)
	2090-2099	0,9 (0,2 à 1,7)	5,9 (3,1 à 8,6)	-0,1 (-0,3 à +0,3)
RCP4.5	2010-2019	0,7 (0,2 à 1,3)	6,3 (3,4 à 9,0)	-
	2050-2059	1,3 (0,4 à 2,6)	5,7 (3 à 8,3)	+0,1 (-0,4 à +0,7)
	2090-2099	1,8 (0,4 à 3,7)	5,4 (2,8 à 8)	+0,2 (-0,7 à +1,4)
RCP6.0	2010-2019	0,6 (0,2 à 1,0)	6,4 (3,4 à 9,1)	-
	2050-2059	1,1 (0,3 à 1,9)	5,8 (3,1 à 8,5)	0,0 (-0,8 à +0,6)
	2090-2099	2,1 (0,6 à 3,8)	5,2 (2,7 à 7,7)	+0,4 (-0,8 à + 1,7)
RCP8.5	2010-2019	0,7 (0,2 à 1,2)	6,2 (3,4 à 9,0)	-
	2050-2059	1,8 (0,6 à 3,0)	5,5 (2,9 à 9,0)	+0,3 (-0,5 à +1,2)
	2090-2099	4,3 (1,2 à 7,9)	4,5 (2,2 à 6,9)	+1,9 (-0,6 à +4,8)

Note : intervalles de confiance à 95 %.

Source : Gasparrini *et al.*, 2017.

¹⁵ La surmortalité est généralement définie comme étant la mortalité toutes causes attribuable à des températures non optimales, la température optimale étant celle où le minimum de mortalité est observé.

4.4 Les populations à risque par rapport au froid

4.4.1 ÂGE, SEXE ET GENRE

Globalement, les personnes âgées présentent un risque plus élevé de ressentir les effets du froid (Ryti *et al.*, 2016). Une méta-analyse incluant 18 études réalisées dans des pays industrialisés a calculé que la mortalité cardiovasculaire et respiratoire chez les personnes âgées de 65 ans et plus augmentait en moyenne de 1,7 % (RR, IC 95 % : 1,2 – 2,1) et de 2,9 % (RR, IC 95 % : 1,8 – 4,0) respectivement par réduction de 1 °C en dessous de la température de mortalité minimale (Bunker *et al.*, 2016). D'un autre côté, certains résultats au Canada ont soulevé que les moins de 65 ans seraient plus à risque que les aînés. Entre autres, une étude menée en Ontario a conclu que chaque diminution de 5 °C de 1996 à 2010 avait accru de 8 % (IC 95 % : 3 – 13 %) le risque de décéder d'une maladie cardiovasculaire chez les moins de 65 ans jusqu'à 6 jours après l'exposition au froid, tandis que l'augmentation de ce risque dans l'ensemble de la population était plutôt de 4,1 % (IC 95 % : 2,3 – 5,9 %) (H. Chen, Wang, *et al.*, 2016). Une étude réalisée dans 22 pays, dont 26 villes canadiennes, a suggéré que le pourcentage de personnes âgées de 65 ans et plus dans une communauté métropolitaine n'affectait pas significativement la mortalité associée au froid (Sera *et al.*, 2019). Néanmoins, une autre étude menée dans 106 communautés métropolitaines aux États-Unis a plutôt indiqué que les villes avec une moyenne d'âge plus élevée affichaient un pourcentage plus important de décès cardiorespiratoires attribuables au froid (Yunquan Zhang *et al.*, 2019).

Les auteurs d'une étude menée au Québec ont estimé que les hommes de moins de 65 ans, particulièrement de 45 à 64 ans, affichaient un risque plus élevé que les 65 ans et plus de souffrir de cardiopathie ischémique ou d'en mourir pendant les périodes de froids intenses étant survenues de 1989 à 2006 (Bayentin *et al.*, 2010). Une autre étude, réalisée dans l'État de New York, a aussi montré un risque plus élevé d'être hospitalisé pour des raisons cardiaques par temps froid chez les personnes âgées et les hommes (S. Lin *et al.*, 2016). Cette situation pourrait s'expliquer par le fait que les hommes de ce groupe d'âge passent généralement plus de temps à l'extérieur, pour le travail ou le déneigement, les exposant ainsi davantage à des conditions météorologiques défavorables et à un effort cardiovasculaire accru (A. M. Ali *et al.*, 2015; Auger, Potter, Smargiassi, *et al.*, 2017). Par exemple, en Ontario, chaque réduction d'un degré en dessous de 0 °C de 2004 à 2010 a mené à une augmentation médiane de 15 % du nombre médian d'admissions à l'urgence (RR, IC 95 % : 1,09 – 1,2) en lien avec le travail extérieur (p. ex., engelures ou hypothermie) (Fortune *et al.*, 2014). Dans tous ces cas, les précipitations de neige pourraient confondre la relation. Néanmoins, les femmes, les personnes âgées et les jeunes de moins de 25 ans seraient plus susceptibles d'être hospitalisés pour des brûlures liées au feu lors de froids extrêmes (Ayoub *et al.*, 2017).

Autrement, peu d'études se sont penchées sur les effets du froid sur la santé des enfants pour avancer des constats solides (Song *et al.*, 2017; Xu *et al.*, 2012). Quelques études semblent suggérer une augmentation de la mortalité et de maladies infectieuses chez les enfants par temps froid, mais elles ont été réalisées pour la plupart dans des pays équatoriaux où les seuils de froid et la situation démographique diffèrent largement du contexte québécois (Song *et al.*, 2017; Xu *et al.*, 2012). Bien que les enfants de moins de 10 ans n'affichent pas une prévalence plus élevée d'asthme au Québec, ils peuvent en ressentir des effets aigus à la suite d'une exposition au froid, avec des conséquences potentielles sur leur bon développement (Doucet *et al.*, 2020). Une méta-analyse (26 études de 14 pays différents) a conclu que les enfants de 12 ans et moins avaient un risque 7 % (IC 95% : 1,03 – 1,15) plus élevé d'être admis à l'urgence pour de l'asthme par diminution de 1 °C de la température alors qu'aucune association significative n'a été décelée chez les adultes (Cong *et al.*, 2017). Les adolescents et les jeunes adultes, qui présentent une prévalence plus élevée d'asthme au Québec, semblent aussi plus susceptibles d'en subir les contrecoups lorsqu'ils s'exposent au froid (Cong *et*

al., 2017; Doucet *et al.*, 2020). Dans cette méta-analyse, le risque était plus prononcé en hiver et en Amérique, mais moins dans les latitudes nordiques. L'effet des vagues de froid pourrait néanmoins différer puisque les enfants, et les adultes responsables, tendraient davantage à adopter des comportements préventifs lors de températures extrêmes (Fitzgerald *et al.*, 2014; Xu *et al.*, 2013).

4.4.2 MALADIES PRÉEXISTANTES

Certaines maladies préexistantes peuvent également prédisposer les individus aux effets du froid. Au Québec, une étude a suggéré que les régions avec une prévalence de tabagisme plus élevée chez les 45-64 ans affichaient un taux d'hospitalisations pour cardiopathies ischémiques plus important pendant l'hiver (Bayentin *et al.*, 2010). Cette augmentation a également été observée chez les fumeurs et buveurs d'alcool au Royaume-Uni (Sartini *et al.*, 2016). À Toronto, les personnes avec des problèmes rénaux ou cardiaques préexistants affichaient une probabilité plus élevée d'admission à l'urgence pour des raisons cardiovasculaires lors de froids extrêmes, comparativement aux personnes n'ayant pas ce type de problème (E. Lavigne *et al.*, 2014). Ce constat a été corroboré en Chine pour les personnes avec des maladies respiratoires préexistantes (L. Wang *et al.*, 2016). Cette vulnérabilité au froid en raison de maladies préexistantes semble changer en fonction de l'âge. En Suède, il a été évalué que les abus de substances et les troubles mentaux augmenteraient le risque de mortalité par temps froid chez les personnes de moins de 65 ans, alors qu'un historique d'infarctus du myocarde accroîtrait ce même risque chez les personnes âgées de 65 ans et plus (Rocklöv *et al.*, 2014).

4.4.3 STATUT SOCIO-ÉCONOMIQUE

L'impact du froid sur les personnes défavorisées reste peu étudié. Au Québec, les effets du froid sur les admissions à l'urgence pour cardiopathies ischémiques sont plus importants dans les régions affichant un niveau de défavorisation matérielle et sociale plus élevé (Bayentin *et al.*, 2010). Une étude réalisée dans une centaine de villes états-uniennes a également suggéré que les villes avec une population plus défavorisée sur le plan socio-économique présentaient une fraction plus élevée de décès cardiorespiratoires attribuables au froid (Yunquan Zhang *et al.*, 2019). Au Portugal, la défavorisation matérielle et sociale a été associée à la mortalité hivernale, le risque relatif étant 1,7 fois (IC 95 % : 1,5 – 2,0) plus élevé chez les personnes très défavorisées en comparaison avec les personnes très favorisées (Almendra *et al.*, 2017).

Le coût du chauffage en hiver peut pousser les personnes à faible revenu, et même de la classe moyenne, à diminuer l'intensité du chauffage afin de subvenir à d'autres besoins (loyer, nourriture, etc.) et les forcer ainsi à habiter des logements froids (Howden-Chapman *et al.*, 2012; Liddell et Morris, 2010; Rezaei, 2017). La précarité énergétique au Canada, soit lorsqu'un individu dépense plus de 10 % de ses revenus à la consommation d'énergie au domicile, s'établissait à 8 % en moyenne en 2015 (Régie de l'Énergie du Canada, 2017). Ce taux est de 3 à 4 fois plus élevé que celui des pays scandinaves (H. Thomson *et al.*, 2017). De plus, les ménages défavorisés sont généralement exposés à des concentrations plus élevées de polluants ambiants intérieurs et affichent un taux de tabagisme plus élevé (Corsi *et al.*, 2014; L. Ferguson *et al.*, 2020). Le froid peut les pousser à rester davantage au domicile, à fumer à l'intérieur, à utiliser des poêles à bois et à limiter l'ouverture des fenêtres, tous des facteurs contribuant à détériorer la qualité de l'air intérieur (QAI) (T. Brown *et al.*, 2015; Fugler, 2008).

Un logement froid représente les mêmes risques que l'exposition aux froids extérieurs, en plus d'influer sur le bien-être mental perçu et la résilience émotionnelle des résidents (Marmot Review Team, 2011). Par exemple, une étude a souligné que les adolescents auraient un risque 5 fois plus important de développer certains troubles mentaux ou du comportement lorsqu'ils habitaient un

logement froid (Marmot Review Team, 2011). Les enfants auraient un risque plus élevé de développer des problèmes respiratoires, mangeraient moins de calories et passeraient plus de temps à l'intérieur lorsque le logement est froid en raison du développement d'une plus grande sensibilité au froid extérieur (Liddell *et al.*, 2010; Marmot Review Team, 2011). Ces conséquences peuvent affecter négativement leur développement physique et cognitif. De plus, dans 11 pays d'Europe, il a été estimé que chaque diminution de 1 °C en dessous de la température intérieure optimale augmentait la mortalité de 0,15 % (Braubach *et al.*, 2011).

4.4.4 ITINÉRANCE

Les personnes en situation d'itinérance sont fortement exposées au froid et affichent plusieurs facteurs de vulnérabilité. Une enquête réalisée au début des années 2000 a soulevé que de 30 à 50 % des personnes en situation d'itinérance ont développé des problèmes de santé mentale et que 10 % étaient atteintes d'un trouble mental grave et persistant (p. ex., psychose, schizophrénie, troubles de la personnalité) (Ministère de la Santé et des Services sociaux [MSSS], 2008). De plus, près de la moitié présenterait des problèmes liés à la consommation d'alcool ou de drogues. Les drogues seraient consommées de façon abusive, dans des conditions insalubres ou de façon non sécuritaire (p. ex., par injection) (Faulkner *et al.*, 2011). L'une des conséquences est une prévalence plus élevée de VIH/sida et d'hépatite C chez les personnes en situation d'itinérance. Ces problèmes peuvent augmenter la sensibilité physique au froid (p. ex., la consommation d'alcool accroît la perte de chaleur) ou diminuer la capacité de ces personnes à y faire face. L'abus de substances constitue d'ailleurs un facteur de risque pour l'hypothermie (Centers for Disease Control and Prevention [CDC], 2006).

En plus d'avoir moins accès aux services de santé (p. ex., mobilité réduite, distance géographique, pas de dossier médical ou de carte d'assurance maladie valide), les personnes en situation d'itinérance sont moins susceptibles d'adopter des comportements préventifs, en raison de leurs connaissances, de leurs capacités physiques et de leur perception du risque souvent réduites (Craig *et al.*, 2014; Cusack *et al.*, 2013). Les personnes en situation d'itinérance extérieure sont aussi plus susceptibles de présenter et de développer des maladies infectieuses, en raison des conditions de promiscuité dans les refuges, ainsi que de certaines maladies respiratoires. Par exemple, une étude réalisée à Salt Lake City aux États-Unis a montré que le risque de pneumonie était multiplié par 6 pour les personnes en situation d'itinérance comparativement à la population générale (Jones *et al.*, 2013). Finalement, les populations autochtones représentent de 10 à 90 % des personnes en situation d'itinérance dans 18 villes canadiennes, soit une représentativité plus forte que dans la population en général, en plus d'habiter des logements souvent mal adaptés au froid (C. Patrick, 2014). Elles sont donc affectées de façon disproportionnée par les effets du froid.

Au Québec, toutes saisons confondues, 56 % des personnes en situation d'itinérance ont rapporté avoir visité l'urgence au moins une fois au cours de l'année précédente, et 35 % avoir été hospitalisées (Latimer et Bordeleau, 2019). Les auteurs d'une étude réalisée à Paris ont estimé qu'elles représentaient 62 % des personnes admises à l'urgence pour une hypothermie ou une engelure lors des hivers de 2005 à 2009 (Rouquette *et al.*, 2011). Une étude réalisée à New York a conclu que les personnes en situation d'itinérance extérieure constituaient environ 50 % des admissions à l'urgence et des hospitalisations pour des maladies directement liées au froid (p. ex., hypothermie, engelures) pour la période 2005-2014 (Lane *et al.*, 2018). Néanmoins, des auteurs anglais n'ont pas détecté de risque plus élevé d'admission, sur un total d'environ 528 000, chez les personnes en situation d'itinérance (Brown *et al.*, 2010).

Selon une étude réalisée en France, les personnes en situation d'itinérance affichaient un risque 6,4 fois plus élevé de décéder d'hypothermie comparativement à la population en général (Vuillermoz *et al.*, 2016). Les auteurs de cette étude ont aussi estimé qu'elles décédaient en moyenne à 49 ans plutôt qu'à 77 ans pour l'ensemble de la population. D'autres auteurs ont aussi estimé dans la ville de Boston aux États-Unis qu'une personne en situation d'itinérance avait un risque 8 fois plus élevé de décéder si elle avait souffert d'une blessure liée au froid par le passé (Hwang *et al.*, 1998). Des auteurs ont aussi trouvé un risque plus élevé de blessure liée au froid chez les personnes en situation d'itinérance comparativement aux personnes à faible revenu, en particulier chez les hommes (Zhang, Bassil, *et al.*, 2019).

Une étude réalisée à Toronto pour la période 2004-2015 a montré que les personnes en situation d'itinérance étaient 1,6 fois plus susceptibles de souffrir d'hypothermie par réduction de 5 °C de la température minimale (Zhang, Wiens, *et al.*, 2019). Les précipitations par temps froid constituent un autre problème. Il peut être difficile de sécher ses vêtements pour les personnes en situation d'itinérance vivant à l'extérieur, puisqu'elles ne peuvent s'abriter et retirer leurs vêtements (Cusack *et al.*, 2013). Des vêtements mouillés exacerbent les effets du froid et peuvent créer d'autres problèmes connexes de santé (p. ex. pieds de tranchée) (Zhang, Bassil, *et al.*, 2019). Dans l'étude citée précédemment et menée à Toronto, chaque hausse d'un millimètre (mm) de précipitations (pluie ou neige) augmentait en moyenne de 10 % les chances qu'une personne en situation d'itinérance se rende à l'urgence pour une hypothermie ou en meure (Zhang, Wiens, *et al.*, 2019).

4.5 Les mesures d'adaptation au froid

4.5.1 LES MESURES POPULATIONNELLES ET INSTITUTIONNELLES D'ADAPTATION AU FROID

Systemes d'alertes populationnelles

Les systèmes d'alertes devraient prendre en compte le facteur éolien et la température ressentie dans l'établissement des seuils, puisque ces variables sont associées aux effets cardiovasculaires du froid sur la santé (S. Lin *et al.*, 2018). Par contre, les seuils de froid sont difficiles à opérationnaliser pour les systèmes d'alertes préventives, en raison du manque de précision des prévisions relatives au vent et à l'humidité (Laaidi *et al.*, 2013). Par exemple, la température ressentie (incluant le facteur éolien) représenterait un indicateur plus pertinent pour évaluer les effets sur les maladies cardiovasculaires, mais les prévisions sont moins fiables (S. Lin *et al.*, 2018). Néanmoins, des modèles prévisionnels existent. À Toronto, par exemple, un seuil de -10 °C correspondait la moitié du temps à un facteur éolien équivalent à -15 °C ou moins (Gough *et al.*, 2014).

Les seuils peuvent également être établis en fonction d'un système de surveillance syndromique qui permettrait de faire correspondre un seuil de température à un taux anormal d'admissions à l'urgence. Les seuils utilisés devraient aussi tenir compte des particularités climatiques et anthropiques des différentes régions. En Ontario, le seuil de température en dessous duquel le taux d'admissions à l'urgence devient anormal est plus bas au nord qu'au sud (VanStone *et al.*, 2017).

De plus, les organisations de santé devraient prendre en considération que les froids intenses peuvent avoir un effet sur le volume d'admissions à l'urgence pendant au moins une semaine et devraient ajuster leurs capacités en conséquence (S. Lin *et al.*, 2018; Ryti *et al.*, 2016; Z. Sun *et al.*, 2018). Au Québec, une étude a conclu que les seuils où une surmortalité de 25 à 30 % est observée se situent à une température quotidienne maximale de -15 °C à -20 °C, combinée à une température minimale de -23 °C à -29 °C, dépendamment des régions climatiques (B. Yan *et al.*, 2020). Les auteurs de cette étude ont proposé d'autres seuils pour les hospitalisations (voir [Tableau 4](#)).

Tableau 4 Seuils de surmortalité ou de surhospitalisation associés aux températures froides

Région*		Seuil de mortalité (°C)	Seuil d'hospitalisation (°C)
Région classe 1 (RSS 05, 06, 13, 16)	Tmax	-15	-14
	Tmin	-23	-24
Région classe 2 (RSS 03, 04, 07, 12, 14, 15)	Tmax	-16	-13
	Tmin	-28	-26
Région classe 3 (RSS 01, 09, 11)	Tmax	-20	-17
	Tmin	-29	-30
Région classe 4 (RSS 02, 08, 10)	Tmax	-15	-13
	Tmin	-23	-23

* RSS : région sociosanitaire. Les numéros correspondent généralement à ceux des régions administratives : 01 Bas-Saint-Laurent; 02 Saguenay-Lac-Saint-Jean; 03 Capitale-Nationale; 04 Mauricie-et-Centre-du-Québec; 05 Estrie; 06 Montréal; 07 Outaouais; 08 Abitibi-Témiscamingue; 09 Côte-Nord; 10 Nord-du-Québec; 11 Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine; 12 Chaudière-Appalaches; 13 Laval; 14 Lanaudière; 15 Laurentides; 16 Montérégie.

Source : B. Yan *et al.*, 2020.

Ces seuils ont été calculés en fonction de valeurs minimales d'hospitalisations, signifiant que des températures inférieures aux seuils déterminés peuvent tout de même être délétères. À ce titre, des auteurs ont estimé dans plusieurs pays que plus de 90 % des décès attribuables au froid se produisaient à des températures non extrêmes (au-dessus du 2,5^e percentile) (Gasparrini, Guo, Hashizume, Lavigne, *et al.*, 2015). Une étude réalisée à New York a montré que des températures aussi hautes que -4 °C pouvaient se refléter sur les admissions à l'urgence pour des causes cardiovasculaires (S. Lin *et al.*, 2018). Pour les personnes en situation d'itinérance, une étude a soulevé que 72 % des 97 cas d'hypothermie répertoriés à Toronto dans cette population (période 2004-2015) s'étaient produits à des températures au-dessus de -15 °C, même si elle soulignait aussi que le risque d'hypothermie augmentait plus la température descendait (Zhang, Wiens, *et al.*, 2019). Les seuils extrêmes ne couvrent donc pas ces températures potentiellement dommageables. Ils n'incluent pas non plus le niveau de précipitation qui pourrait se répercuter sur l'effet du froid, en particulier des personnes en situation d'itinérance extérieure. Les seuils d'effets sanitaires pourraient également varier en fonction des mois en raison de l'acclimatation physique plus tard dans la saison hivernale (S. Lin *et al.*, 2018).

Programme d'aide aux personnes exposées au froid

Un programme de conscientisation et d'autonomisation des personnes en situation d'itinérance, en collaboration avec les organismes travaillant auprès de cette population, pourrait s'avérer profitable. Ce type d'approche collaborative a le potentiel de diminuer la méfiance envers les organismes publics ou communautaires, et de faciliter la communication et l'identification des besoins (Cusack *et al.*, 2013). En Australie, un tel programme a été implanté et incluait la distribution des trousse d'urgence pour se protéger du froid (Every *et al.*, 2020). Cette trousse comprenait des objets considérés essentiels par les bénéficiaires potentiels, tels qu'une tuque, un poncho imperméable, un thermos, un sac étanche, une trousse de premiers soins ainsi que des chauffe-mains et chauffe-pieds. Des entrevues auprès des personnes en situation d'itinérance ayant bénéficié du programme ont mis en lumière que ce type d'approche permettrait de renforcer leur capacité d'adaptation aux extrêmes de température (Cusack *et al.*, 2013; Every *et al.*, 2020). Les personnes défavorisées ou habitant des logements froids pourraient également faire partie des populations visées par un tel programme. Des fiches d'information, des services-conseils (p. ex., pour limiter les pertes de chaleur dans le logement) ou d'autres fournitures (p. ex., outils de calfeutrage, couvertures) pourraient leur

être distribués pour améliorer leur capacité à se protéger du froid (Howden-Chapman *et al.*, 2012; Liddell *et al.*, 2010).

Santé et sécurité au travail

Le [Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail](#) (CCHST) propose des seuils de température acceptable pour le travail en fonction des variables hydrométéorologiques et du type de travail. L'ensemble des provinces et des territoires a adopté ces seuils de température comme limites légales ou lignes directrices en la matière. Également, plusieurs normes internationales relatives aux meilleures pratiques d'évaluation et de prévention des risques par temps froid sont disponibles ([ISO 11079:2007](#), [ISO 15743:2008](#), etc.) (Holmer, 2009; Mäkinen *et al.*, 2009).

4.5.2 LES MESURES PHYSIQUES D'ADAPTATION AU FROID

Logements

Les mesures d'adaptation au froid les plus courantes sur le plan individuel sont le port de vêtements chauds et l'augmentation du temps passé à l'intérieur, mais les personnes vivant dans des logements froids demeurent tout de même affectées en restant à l'intérieur. Les personnes moins fortunées vont parfois opter pour un appareil de chauffage d'appoint ou la cuisinière pour se réchauffer (Bélanger *et al.*, 2006).

L'isolation du logement permet de diminuer les coûts d'énergie et de faciliter ainsi le maintien d'une température optimale à l'intérieur. Les personnes ayant profité d'un programme d'isolation du logement ont rapporté un état de santé général et de bien-être mental supérieur après ces rénovations (Howden-Chapman *et al.*, 2012; Liddell *et al.*, 2010). Par exemple, en Nouvelle-Zélande, les personnes âgées de 65 ans et plus ayant déjà été hospitalisées pour des raisons cardiovasculaires ou respiratoires présentaient un risque moins important de mortalité à la suite d'une amélioration de l'isolation de leur logement en comparaison avec le groupe contrôle (Preval *et al.*, 2017). Le calfeutrage des fenêtres et le chauffage au bois peuvent également accroître le confort thermique à moindre coût, bien que le chauffage au bois augmente les émissions de polluants atmosphériques et la probabilité de smog.

L'interdiction de couper le courant aux abonnés pendant les mois hivernaux, comme le fait Hydro-Québec, a le potentiel de diminuer les effets sur la santé associés au phénomène. D'un autre côté, le paiement des factures à une date ultérieure peut seulement contraindre la satisfaction de besoins primaires à un moment différé.

Refuges

Les refuges chauffés pourraient diminuer les effets du froid sur la santé, particulièrement pour les personnes en situation d'itinérance, mais peu d'études se sont penchées sur leur effet isolé ou traitent plutôt de refuges climatisés lors de chaleurs extrêmes (Cusack *et al.*, 2013; Gronlund *et al.*, 2018; Pendrey *et al.*, 2014). Les barrières pour l'accès aux refuges climatisés pourraient correspondre à celles retrouvées pour les refuges chauffés. Ces barrières comprennent la distance entre le domicile de la personne et le refuge, la perception que ces installations sont accessibles seulement aux personnes en situation d'itinérance, l'ennui ressenti lors de l'utilisation de ces installations, l'offre d'activités ou de nourriture inadéquates et les interrogations sur le statut d'immigrant (Sampson *et al.*, 2013).

Aménagement du territoire

Une étude réalisée dans 22 pays, dont 26 villes canadiennes (incluant Montréal), a tâché de trouver les relations entre les caractéristiques urbaines et la mortalité liée au froid (Sera *et al.*, 2019). Les auteurs ont conclu que l'étalement urbain, la densité de population, le pourcentage d'urbanisation du territoire ou de population habitant au centre-ville, la proximité de la ville aux milieux ruraux et les espaces verts ne semblaient avoir aucun effet sur celle-ci. Cependant, le positionnement des bâtiments pourrait influencer le froid ressenti en modifiant les corridors de vent, l'ombrage et l'emmagasinement de la chaleur. De plus, la végétation peut couper à la fois le vent et les rayons du soleil, alors que les toits réfléchissants devraient se répercuter très peu ou aucunement sur la chaleur extérieure ou intérieure, puisque les toits sont recouverts de neige en hiver et que les heures d'ensoleillement sont réduites à ce moment (voir section 3.4.3 **Les mesures physiques d'adaptation à la chaleur**).

5 Tempêtes et précipitations

5.1 Les effets des changements climatiques sur les tendances et les projections de tempêtes et de précipitations

Une tempête se définit dans cette section comme un phénomène météorologique violent caractérisé par des vents forts, souvent combinés à des précipitations intenses, pouvant survenir à toute saison. Elle peut être accompagnée de foudre ou de tornades. Il s'agit d'un terme englobant entre autres les orages, les blizzards, les tempêtes de neige et les ouragans.

5.1.1 TEMPÊTES

Les données historiques ne semblent pas démontrer de tendances quant à l'intensité, à la prévalence et à la direction des vents et des tornades (Ouranos, 2015). De 1985 à 2018, le Québec a subi minimalement 181 tornades, soit une moyenne de 5,3 tornades par année (Climat-Québec, 2014; Wikipedia, 2020). Elles surviennent principalement d'avril à septembre dans le sud du Québec, autour du fleuve Saint-Laurent et de la rivière Ottawa, mais des régions comme le Bas-Saint-Laurent, le Saguenay-Lac-Saint-Jean et les Îles-de-la-Madeleine ont aussi déjà été atteintes par ce type d'événement. Environ 85 % de ces tornades sont d'intensité F0 (64 à 116 km/h) ou F1 (117 à 180 km/h), aucune n'ayant atteint le niveau F4 (332 à 418 km/h) ou F5 (419 à 512 km/h) (Climat-Québec, 2014; Sécurité publique Canada, 2015). De 1968 à 2018, une dizaine de tornades ont causé des dommages notables (Sécurité publique Canada, 2019a). Aucune tendance claire ne s'affiche cependant quant à la fréquence des tornades, d'autant plus qu'une augmentation pourrait être due à un meilleur recensement des tornades au fil des années (p. ex., radar, communication de masse, expansion urbaine, etc.). L'effet des changements climatiques sur les vents et les tornades demeure incertain étant donné la plus petite échelle de ces événements et l'importance de facteurs locaux dans leur caractérisation (Ouranos, 2015).

Le nombre d'orages (c.-à-d. la combinaison de pluies fortes, de foudre et de vents violents) pourrait augmenter d'ici la fin du siècle, en raison d'une augmentation du gradient d'humidité dans l'air sur l'ensemble du territoire québécois qui accroîtra, quant à elle, l'énergie convective potentielle disponible (Guinard *et al.*, 2015; D. Paquin *et al.*, 2014). Cet effet sera partiellement compensé par une diminution du cisaillement vertical (c.-à-d. la différence de la vitesse ou de la direction du vent entre deux points suffisamment proches) découlant d'un plus faible contraste nord-sud des températures. Les orages pourraient ainsi être caractérisés par une intensification des précipitations, mais une réduction des conditions propices à la formation de vents violents et de tornades qui accompagnent souvent les orages (Ouranos, 2015). Le niveau de certitude de ces projections reste cependant faible.

Quant aux tempêtes tropicales (queues d'ouragan), leurs trajectoires devraient continuer à progresser vers le nord et pourraient conséquemment toucher davantage l'est du Québec, même si le réchauffement des températures pourrait avoir un effet atténuateur sur l'intensité de ces tempêtes (vitesse des vents et hauteur des vagues) (Greenan *et al.*, 2019). Les projections suggèrent également une augmentation de la fréquence des tempêtes extrêmes automnales survenues de 1958 à 2010 dans le Canada atlantique et arctique, mais le niveau de certitude quant à la continuité de cette tendance est faible (Greenan *et al.*, 2019).

5.1.2 PRÉCIPITATIONS

Les précipitations moyennes annuelles au Canada et au Québec ont augmenté de 18 % et de 10,5 % de 1948 à 2012, le nord ayant subi une hausse plus importante (X. Zhang *et al.*, 2019). Le printemps et l'automne affichaient des hausses plus substantielles d'environ 20 % pour la même période au Québec. Les tendances historiques (1948-2012) pour les précipitations au Québec sont les suivantes :

- Augmentation de 4,8 du nombre de jours avec au moins 1 mm de pluie;
- Diminution de 5 à 10 % du manteau neigeux (1981-2015);
- Augmentation de 2,1 du nombre de jours de précipitations extrêmes de pluie (90^e percentile et plus);
- Aucun changement dans le nombre de jours de précipitations extrêmes de neige (90^e percentile et plus);
- Augmentation vraisemblable des jours de précipitations non hivernales suivis de gel dans les dernières décennies.

Les prévisions ont indiqué avec un niveau de confiance élevé qu'autant les précipitations moyennes annuelles que les épisodes de précipitations extrêmes devraient s'accroître au cours du siècle, peu importe le scénario d'émissions de GES (X. Zhang *et al.*, 2019). Comparativement à la période 1981-2010, les tendances projetées pour le Québec sont les suivantes :

- Augmentation de 9,4 % du volume annuel moyen de précipitations pour 2031-2050 et de 22,5 % pour 2081-2100;
- Augmentation possible de 10 à 11 % des précipitations annuelles maximales en 24 heures, qui se produisent en moyenne tous les 10, 20 et 50 ans pour 2031-2050 et de 26 à 27 % pour 2081-2100;
- Diminution variable des quantités annuelles de neige dans le sud du Québec et augmentation dans le nord;
- Augmentation vraisemblable du nombre de jours de précipitations non hivernales suivis de gel.

Les changements aux régimes pluviométriques diffèrent en fonction des saisons. Entre autres, les précipitations hivernales sous forme de pluie ont augmenté, une tendance qui devrait se maintenir. La hausse projetée des quantités annuelles de précipitations s'avère essentiellement causée par la hausse du volume des précipitations en période non estivale dans l'ensemble des régions québécoises et canadiennes, tout particulièrement dans les régions nordiques. Pour les précipitations atypiques, comme le verglas et le grésil, les données historiques et les projections sont moins certaines. Ce type de précipitations se forme à la fois par l'intermédiaire de processus microphysiques à petite échelle et de grands systèmes météorologiques, alors que la résolution des modèles climatiques actuels est encore trop grossière pour estimer les conditions à petite échelle (Ouranos, 2015). De plus, l'historique du verglas au Québec et au Canada n'est pas disponible, mais une moyenne de 1,2 jour de grêle a été observée dans l'ouest du Québec de mai à septembre pour la période 1977-2007 (Etkin, 2018).

5.2 Les effets des tempêtes et des précipitations sur la santé

Les effets des tempêtes et des précipitations sur les maladies d'origine hydrique peuvent être consultés la section 12 **Zoonoses**.

5.2.1 EFFETS SUR LA SANTÉ DES TEMPÊTES

Les tornades au Québec auraient causé une douzaine de décès et 163 blessés depuis 1971, en plus de forcer l'évacuation de quelques milliers de personnes (Sécurité publique Canada, 2019a). Concernant les tempêtes et les orages, elles auraient entraîné le décès de 130 personnes de 1975 à 2016, souvent des personnes circulant sur les eaux du Saint-Laurent (golfe et fleuve). La crise du verglas à elle seule a fait 35 morts, 945 blessés, 17 800 évacués, et causé près de 4,6 milliards de dommages matériels, sans compter les effets indirects sur la santé (Sécurité publique Canada, 2019a).

Le vent représente la principale composante d'une tempête. Malgré son effet déstabilisateur, sa vitesse moyenne ne semble pas significativement associée à une augmentation du nombre de blessures à un niveau d'intensité inférieur au seuil de tempête (A. M. Ali *et al.*, 2015). En revanche, des rafales de vent de plus de 70 km/h et plus augmenteraient le risque de blessure et de traumatisme (Saulnier *et al.*, 2017). À cette vitesse, le vent transporte une quantité importante de débris, soulève facilement les personnes et endommage substantiellement les infrastructures et les arbres qui peuvent s'écrouler (Goldman *et al.*, 2014). Une augmentation des blessures est observée lors de l'effort de rétablissement suivant une tempête où des lacérations, des perforations, des électrocutions et des chutes peuvent survenir à cause de la fragilité et de l'insécurité des infrastructures à remettre en état (Goldman *et al.*, 2014). L'utilisation inadéquate de scies mécaniques pour traiter des arbres tombés ou abîmés est souvent en cause (E. G. Marshall *et al.*, 2018). Lorsque de forts vents détruisent les nids d'insectes, le nombre de piqûres peut également augmenter et représenter un danger pour les personnes qui y sont allergiques (Goldman *et al.*, 2014). Les tempêtes et les précipitations extrêmes peuvent aussi soulever les pollens dans l'air par choc osmotique et en accroître ainsi l'exposition (voir section 8.1.1 **Croissance, expansion et allergénicité des plantes allergènes**). Des vents forts peuvent de même transporter sur plusieurs kilomètres des particules fines infectées par des virus ou des bactéries pouvant causer la grippe ou la pneumonie (Schweitzer *et al.*, 2018). De plus, le stress (p. ex., évacuation, cassure avec le réseau social, pertes monétaires, etc.) découlant des tempêtes peut se répercuter sur la santé psychosociale des communautés touchées (S. A. Bell et Folkerth, 2016; Clayton *et al.*, 2014). Le stress prénatal, par exemple, peut entraîner des conséquences à long terme pour l'enfant en devenir (voir section 5.3.2 **Sexe et genre**). Quelques études sur les communautés sinistrées à la suite d'ouragans démontrent également une hausse des cas de violence conjugale pendant et après l'événement (S. A. Bell *et al.*, 2016).

5.2.2 EFFETS SUR LA SANTÉ DES PRÉCIPITATIONS

La neige, la pluie et la pluie verglaçante accroissent le risque de chute à l'extérieur en diminuant l'adhérence des surfaces ou en ajoutant des obstacles lors des déplacements. Une revue de la littérature incluant 28 études a mis en lumière que les précipitations augmentaient particulièrement le risque de fracture à la hanche et au poignet, de même que les admissions à l'hôpital pour des traumatismes (A. M. Ali *et al.*, 2015). À Montréal, seulement 3 événements de pluie verglaçante ou de pluie suivis de baisses importantes de la température ont causé près de la moitié des chutes survenues pendant les mois de décembre et de janvier de l'hiver 2008-2009 (Morency *et al.*, 2012). Une autre étude sur les populations de 40 ans et plus à Montréal a indiqué que les précipitations de neige auraient une incidence plus importante sur les fractures à la hanche que les précipitations

pluviales (Modarres *et al.*, 2014). Le risque de fracture à la hanche en lien avec les variables météorologiques accroît de façon exponentielle lors de conditions extrêmes. En Angleterre, les admissions pour blessures accidentelles de 1996 à 2006 ont augmenté de 2,2 % par accumulation de 10 mm de pluie et de 7,9 % lors des journées enneigées (N. Parsons *et al.*, 2011). Parmi tous les types de précipitations, le verglas aurait le plus d'incidence sur les blessures (Modarres *et al.*, 2014). Lors de la tempête de verglas qui a balayé l'Ontario en décembre 2013, il était 2,5 fois plus probable que les habitants d'Ottawa et de Toronto soient hospitalisés pour des causes environnementales comparativement aux années antérieures (Rajaram *et al.*, 2016). Outre les blessures, la neige peut accroître indirectement le risque de crise cardiaque, puisque le déneigement et les déplacements dans la neige accroissent le rythme cardiovasculaire, sans oublier le froid qui favorise la vasoconstriction (Auger, Potter, Smargiassi, *et al.*, 2017).

5.2.3 EFFETS SUR LA SANTÉ DE LA Foudre

Au Canada, le nombre moyen de décès par année causés par la foudre est passé de 9-10 décès de 1994 à 2003 à 2-3 décès de 2002 à 2017, avec une moyenne de 172 blessures reliées pour la dernière période. Plus de 75 % de ces décès et de ces blessures sont survenus dans les mois de juin, de juillet et d'août (ECCC, 2020). Au Canada, le taux de mortalité est passé de 2,4 par million de 1931 à 1935 à 0,11 de 1999 à 2003, montrant ainsi une diminution substantielle du taux de décès associés à la foudre avec les années (Mills *et al.*, 2008). Cette dernière pourrait être attribuable à une diminution du temps passé à l'extérieur et du nombre de travailleurs agricoles ou aux efforts de sensibilisation (Elsom et Webb, 2017; Holle, 2016; Mainwaring et Friczka, 2016; Mills *et al.*, 2008). Seulement de 3 à 5 % des personnes décédées ou blessées par la foudre ont été atteintes directement, puisque l'exposition à la foudre se fait principalement par les courants telluriques (par le sol) (40 à 50 %), les éclairs latéraux (20 à 30 %) et le contact par des objets conducteurs (15 à 25 %) (ECCC, 2018; Mainwaring *et al.*, 2016).

Lorsqu'elle n'est pas mortelle, la foudre peut engendrer de multiples conséquences sur la santé humaine, l'ampleur dépendant des organes traversés par le courant électrique. En plus de causer des brûlures, elle peut endommager les systèmes nerveux, cardiaque, auditif et visuel. Les personnes frappées par la foudre peuvent ainsi souffrir de ruptures du tympan, de lésions oculaires, de troubles musculaires et rénaux de même que d'atteintes neurologiques, cardiaques et cutanées de toutes sortes (Bustinza *et al.*, 2010). Les orages plus sévères (multi ou supercellulaires) ne sont pas nécessairement plus dangereux puisque les individus tendent à s'isoler et que les alertes sont plus fréquentes lors de ces événements comparativement aux orages moins puissants (mono- ou unicellulaires) (W. S. Ashley et Gilson, 2009). En dollars courants de 2010, les coûts sanitaires associés à la foudre au Canada se situeraient entre 3,6 et 79,3 millions, le Québec étant la troisième province la plus touchée après l'Ontario et l'Alberta (Mills *et al.*, 2010).

5.2.4 ACCIDENTS DE LA ROUTE

Les précipitations accroissent le risque de blessure sur la route en rendant la chaussée glissante (A. M. Ali *et al.*, 2015; Koetse et Rietveld, 2009). Dans la région du grand Vancouver, une hausse de 17 à 28 % du nombre de collisions liées aux augmentations des précipitations maximales et totales devrait survenir d'ici 2055, l'effet étant plus prononcé lors d'épisodes de précipitations abondantes (Hambly *et al.*, 2013). Toutefois, elles réduisent également le risque de mortalité routière, puisque les automobilistes adaptent leur conduite sur des routes enneigées, glacées ou mouillées, entre autres en réduisant leur vitesse (A. M. Ali *et al.*, 2015; Koetse *et al.*, 2009). Dans l'ensemble du Canada, le risque relatif de mortalité associée aux précipitations pluviales a diminué dans 10 villes canadiennes de 1984 à 2002, alors qu'il n'a pas changé pour les précipitations nivales (Andrey, 2010). Cette tendance pourrait s'accroître en fonction des régimes de précipitations et des améliorations dans la

sécurité des véhicules et des routes. Par contre, l'accroissement des cycles gel-dégel et des redoux hivernaux pourrait rendre les déplacements moins sécuritaires du fait qu'une surface glacée recouverte d'une couche d'eau est plus glissante et que les pneus d'hiver sont moins efficaces dans ces conditions (Traffic Injury Research Foundation, 2012). Des vents plus forts pourraient aussi intensifier la poudrerie, diminuer la visibilité sur les routes et balayer les conducteurs hors trajectoire (Goldman *et al.*, 2014). Par conséquent, l'effet net des changements climatiques sur les risques liés aux déplacements routiers reste encore à déterminer.

5.2.5 ACTIVITÉ PHYSIQUE

L'augmentation des précipitations en été pourrait également influencer l'activité physique pratiquée. Au Canada, il a été estimé auprès de 8 125 participants que le nombre de pas diminuait de 8,3 % lorsque les accumulations de pluie atteignaient 14 mm (Chan *et al.*, 2006). Les enfants pouvaient allouer quotidiennement jusqu'à 15 minutes de moins à la pratique d'activité physique d'intensité modérée ou élevée lors des jours de pluie comparativement aux journées sèches (Harrison *et al.*, 2015). La quantité de pluie n'affectait plus le niveau d'activité physique pratiquée passé un certain seuil. Une augmentation des épisodes de pluies abondantes plutôt que du nombre de jours de pluie pourrait ainsi ne pas avoir beaucoup d'impact sur cet aspect. Néanmoins, les pluies abondantes tendaient à décourager les activités extérieures les jours suivants à cause des sols et des surfaces toujours humides.

5.2.6 EFFETS SUR LA SANTÉ DES PANNES ÉLECTRIQUES

Les vents forts, la foudre et les précipitations telles que le verglas peuvent causer des pannes d'électricité (Fant *et al.*, 2020; Mills *et al.*, 2009). En dollars de 2010, des auteurs ont évalué que les coûts pour les consommateurs (p. ex., perte de productivité) reliés aux interruptions de courant causées par la foudre variaient de 266,9 à 444,9 millions (Mills *et al.*, 2010). En plus des effets sur la sécurité financière, une panne prolongée et étendue peut entraîner des perturbations sociales importantes et affecter la santé psychosociale des personnes touchées (Silver et Grek-Martin, 2015). Même les individus indirectement affectés par les tempêtes peuvent subir des impacts psychosociaux, notamment s'ils se sentent coupables d'avoir subi moins de dommages que des amis ou des voisins (Silver *et al.*, 2015).

Les pannes d'électricité peuvent également forcer certaines personnes à résider dans un logement froid ou chaud et à en subir les conséquences sanitaires. De plus, lors de pannes d'électricité hivernales, le risque d'intoxication au monoxyde de carbone demeure élevé en raison de l'utilisation de génératrices portatives et d'appareils de chauffage ou de cuisson (Goldman *et al.*, 2014; Johnson-Arbor *et al.*, 2014). Une intoxication peut aussi survenir lorsque le tuyau d'échappement d'une voiture en marche est obstrué par la neige (Johnson-Arbor *et al.*, 2014). Les intoxications au monoxyde de carbone causées par l'obstruction du tuyau d'échappement surviennent en majorité le jour même d'une tempête de neige, tandis que celles occasionnées par l'utilisation d'appareils de chauffage ou de cuisson se produisent 2 à 3 jours après une panne d'électricité (Johnson-Arbor *et al.*, 2014). Le recours à ce type d'appareils ou à des chandelles augmente aussi le risque de brûlure. Enfin, une panne d'électricité peut causer des intoxications alimentaires en diminuant la comestibilité de la nourriture au réfrigérateur ou au congélateur (Goldman *et al.*, 2014).

5.3 Les populations à risque par rapport aux tempêtes et aux précipitations

Les facteurs de vulnérabilité aux précipitations en lien avec les maladies d'origine hydrique peuvent être consultés à la section 11 **Pollution de l'eau et insalubrité des aliments**.

5.3.1 ÂGE

Les enfants et les personnes plus âgées sont principalement susceptibles de chuter lors de précipitations et d'en subir des blessures à cause de la précarité de leur équilibre et de la fragilité de leur squelette. À Montréal, la pluie verglaçante a été identifiée comme étant un facteur météorologique plus important que la neige et la température moyenne pour expliquer le nombre de chutes chez les personnes âgées de 50 ans et plus, bien que d'autres études aient indiqué un risque décroissant passé 75 ans puisqu'ils sortent moins (A. M. Ali *et al.*, 2015; Morency *et al.*, 2012). Entre autres, une étude réalisée au Québec a suggéré que les personnes âgées de 40 à 74 risquaient davantage de subir des blessures liées aux conditions météorologiques que les 75 ans et plus (Martel *et al.*, 2010). En Finlande, les enfants avaient 50 % plus de chance de se blesser au poignet lors des journées de pluie que lors des journées sèches (A. M. Ali *et al.*, 2015).

Dans un autre ordre d'idées, les enfants seraient prédisposés à souffrir d'un état de stress post-traumatique à la suite de tempêtes, particulièrement ceux affichant déjà des symptômes anxieux ou dépressifs (Furr *et al.*, 2010). Les enfants seraient néanmoins peu susceptibles d'être touchés par la foudre, avec seulement 19 cas répertoriés au Canada de 1997 à 2010 (Böhrer *et al.*, 2018). Les personnes âgées sont également plus affectées par les tornades et les vents violents, notamment en raison des chutes qu'ils peuvent provoquer. Les tornades de 2011 aux États-Unis, par exemple, ont augmenté le nombre d'hospitalisations et d'admissions aux soins intensifs de 4 à 9 % chez les aînés dans les 30 jours ayant suivi les événements (S. A. Bell *et al.*, 2018).

Certains groupes de la population subissent davantage les perturbations sociales amenées par les tempêtes. Puisqu'il pourra être plus difficile de se procurer des médicaments pendant et à la suite d'une tempête, les personnes dont la santé physique ou mentale en dépend pourront être négativement affectées (McClelland *et al.*, 2017). De même, les personnes affichant un niveau élevé de dépendance, âgées de plus de 80 ans, souffrant de maladies chroniques, ou étant de sexe masculin subissent davantage les contrecoups d'une évacuation (Willoughby *et al.*, 2017).

5.3.2 SEXE ET GENRE

De 1981 à 2014, au Québec, les hommes étaient respectivement 16 % et 34 % plus susceptibles d'être hospitalisés ou de mourir d'un infarctus du myocarde le jour suivant des précipitations totalisant au moins 20 centimètres, en comparaison avec un jour sans neige (Auger, Potter, Smargiassi, *et al.*, 2017). Cette situation pourrait s'expliquer par le fait que les hommes passent généralement plus de temps à l'extérieur pour le travail, les déplacements ou le déneigement, ce qui exige un effort cardiovasculaire accru. La neige peut également éblouir et provoquer une cécité temporaire qui peut représenter un danger particulier pour les amateurs de plein air hivernal et les travailleurs extérieurs, principalement des hommes (Brocherie *et al.*, 2015).

Néanmoins, les femmes sont plus affectées psychologiquement, en particulier à plus long terme, et plus susceptibles de subir un traumatisme à la suite d'événements météorologiques extrêmes (EME) tels que les tempêtes (S. A. Bell *et al.*, 2016). Elles se rétabliraient moins bien des effets psychologiques découlant de ces événements. Le manque de soutien social et un revenu

généralement moins élevé diminuent la perception de contrôle et la capacité d'adaptation, tout en augmentant la perception du risque. Les effets psychosociaux des tempêtes augmentent aussi la probabilité qu'une femme subisse de la violence conjugale (S. A. Bell *et al.*, 2016).

Au sujet de la foudre, les hommes de moins de 45 ans représentent la majeure portion (environ 85 %) des victimes, possiblement parce qu'ils passent plus de temps à l'extérieur et affichent une perception moins élevée du risque (W. S. Ashley *et al.*, 2009; ECCC, 2020; Mills *et al.*, 2008). À ce titre, les personnes effectuant des loisirs de plein air pèsent pour 47 % des décès et 40 % des blessures, le camping, les randonnées pédestres, le golf et la navigation de plaisance étant les activités les plus communes (ECCC, 2020). La majorité des décès et des blessures associés à la foudre se produisent du jeudi au samedi, en après-midi, vraisemblablement à cause des taux plus élevés de participation à des activités extérieures.

Fœtus et femmes enceintes

Le stress chez les femmes enceintes causé lors de tempêtes aux effets prolongés peut également entraîner des conséquences à long terme pour l'enfant en devenir. À ce titre, le projet [Verglas](#) s'est penché sur les impacts du stress prénatal associé à la crise du verglas survenue au Québec en 1998. Les enfants des femmes enceintes fortement stressées lors de la crise du verglas présentaient un risque supérieur d'éprouver plusieurs problèmes de santé physique et mentale, tels des signes précurseurs de troubles alimentaires (Annie St-Hilaire *et al.*, 2015) ou du spectre de l'autisme (TSA) (Walder *et al.*, 2014). Ils affichaient aussi un risque plus élevé d'avoir un système immunitaire affaibli (Veru *et al.*, 2015), de développer des problèmes asthmatiques (Turcotte-Tremblay *et al.*, 2014), d'afficher un indice de masse corporelle (IMC) plus élevé (G. T. Liu *et al.*, 2016) et, dans le cas des jeunes filles, d'avoir ses premières règles à un âge plus avancé (Duchesne *et al.*, 2017).

5.3.3 TRAVAIL ET LOGEMENT

Premiers répondants et intervenants psychosociaux

Plusieurs études ont relevé les effets des ouragans ou des tempêtes post-tropicales sur la santé des travailleurs, en particulier dans un contexte états-unien (Adam-Poupart *et al.*, 2019). Entre autres, les premiers répondants (p. ex., policiers, infirmiers, etc.) et les intervenants psychosociaux ont un risque accru de présenter des symptômes de stress ou évoquant un état de stress post-traumatique, de dépression, de troubles du sommeil et d'hypervigilance jusqu'à plusieurs semaines, voire des mois après l'événement (Bauwens et Tosone, 2014; Culver *et al.*, 2011; Fullerton *et al.*, 2013, 2015; McKibben *et al.*, 2010; Nicdao *et al.*, 2013; Osofsky *et al.*, 2011; Prost *et al.*, 2016; Tosone *et al.*, 2015). Certains conflits entre les travailleurs partenaires (p. ex., personnel de la santé, policiers et intervenants en sécurité civile) pouvaient également émerger en situation de crise (Adams et Turner, 2014; Raveis *et al.*, 2017).

La surcharge de travail, le statut de sinistré, les blessures subies personnellement ou chez un proche, un historique de traumatismes, l'isolement familial de même que le manque de soutien, de supervision organisationnelle et de formation sur le rôle à jouer lors d'événements traumatiques ont été soulevés comme étant des facteurs aggravant le risque d'éprouver des problèmes de santé psychologique après un ouragan (Adam-Poupart *et al.*, 2019; Bauwens *et al.*, 2014; Culver *et al.*, 2011; Fullerton *et al.*, 2013; Lambert et Lawson, 2013; Prost *et al.*, 2016; C. West *et al.*, 2008). À l'inverse, certains facteurs comme la reconnaissance, l'expérience terrain, la stabilité des heures de travail, l'appariement avec des personnes expérimentées ainsi que l'efficacité et le soutien sociaux ou organisationnels diminueraient ce risque (Adams *et al.*, 2014; Dass-Brailsford et Thomley, 2012; Fullerton *et al.*, 2015; Leppma *et al.*, 2018; Raveis *et al.*, 2017).

Ces résultats pourraient néanmoins ne pas s'appliquer dans la même mesure dans un contexte canadien, puisque les tempêtes seront de moindre intensité en comparaison avec des ouragans. Une étude menée au Québec a tout de même documenté les effets de la crise du verglas de 1998 sur la santé des premiers répondants et des intervenants du milieu de la santé (Maltais et Robichaud, 2009). L'inquiétude, la solitude, le sentiment d'impuissance, l'impression de laisser tomber ses proches, la fatigue, le surmenage, les problèmes de santé musculaire et respiratoire ainsi que les difficultés familiales faisaient partie des répercussions répertoriées. Certains sont ressortis de la crise avec un sentiment accru de vulnérabilité émotionnelle, de solitude, de démotivation et d'amertume découlant d'un manque de reconnaissance. La reprise des activités sociales et professionnelles après l'événement était ainsi plus ardue pour plusieurs, entre autres à cause d'un climat de travail conflictuel. Plusieurs éprouvaient encore les conséquences néfastes de cet événement majeur un an après sa survenue. Enfin, le manque de personnel et de ressources matérielles, les horaires atypiques ou prolongés de même que les contraintes physiques et décisionnelles contribuaient à l'apparition d'effets psychologiques néfastes.

Outre les intervenants de première ligne, les monteurs de ligne peuvent aussi être contraints à travailler de longues heures dans des conditions défavorables lors de pannes d'électricité (Adam-Poupart *et al.*, 2019). Les travailleurs municipaux peuvent aussi faire l'objet de menaces de la part de citoyens insatisfaits de la qualité des services municipaux comme le déglacage et le déneigement, avec un effet non négligeable sur leur bien-être psychologique (Adam-Poupart *et al.*, 2019).

Agriculteurs et éleveurs

Les agriculteurs et les éleveurs doivent généralement rester sur leur propriété lors de pannes d'électricité, étant donné qu'ils doivent prendre soin de leur élevage et de leurs infrastructures. Au cours de la crise du verglas de 1998, 49 % des fermiers de l'est de l'Ontario privés d'électricité pendant 1 semaine ou moins ont rapporté des symptômes de stress au cours de l'événement, alors que ce taux était de 76 % pour les fermiers privés d'électricité pour plus de 15 jours (Sutherland et Glendinning, 2008). Ces pourcentages étaient respectivement de 13 % et de 37 % pour les problèmes de santé autres que le stress persistant après l'événement, indiquant également un impact grandissant en fonction de la durée de la panne d'électricité. Les exploitants d'une entreprise laitière affichaient quant à eux un risque 2 fois plus élevé de rapporter des symptômes de stress en comparaison avec les propriétaires d'autres entreprises agricoles. Dans un autre ordre d'idée, aux États-Unis et au Royaume-Uni, des auteurs ont estimé que l'agriculture et la construction représentaient les deux domaines d'emploi avec le plus de décès attribuables à la foudre (Adekoya et Nolte, 2005; Elsom *et al.*, 2017).

Logements

Les personnes habitant dans des maisons mobiles ou non résistantes aux intempéries s'avèrent particulièrement vulnérables, puisque leur domicile est plus susceptible d'être endommagé. Il en va de même pour les personnes habitant des logements mal isolés, qui seront plus exposées aux effets du froid lors de pannes électriques (Cotter *et al.*, 2012; Howden-Chapman *et al.*, 2012; Lane *et al.*, 2013; Saulnier *et al.*, 2017). Les électriciens, ou les résidents procédant eux-mêmes aux travaux électriques dans leur logement, sont également davantage prédisposés aux électrocutions lors de la période de rétablissement suivant une tempête (Goldman *et al.*, 2014).

5.4 Les mesures d'adaptation aux tempêtes et aux précipitations

Les mesures d'adaptation aux tempêtes et aux précipitations en lien avec les maladies d'origine hydrique peuvent être consultées à la section 11 **Pollution de l'eau et insalubrité des aliments**. Les mesures individuelles sont incluses dans les sous-sections **Planification et sensibilisation** et **Caractéristiques des bâtiments** de la présente section.

5.4.1 LES MESURES POPULATIONNELLES ET INSTITUTIONNELLES D'ADAPTATION AUX TEMPÊTES ET AUX PRÉCIPITATIONS

Planification et sensibilisation

La mise sur pied d'un plan de gestion des catastrophes à l'échelle municipale ou provinciale, départageant clairement les responsabilités de chacun des ministères et des organisations publiques régionales avec des refuges et des services à offrir prédéfinis, diminue le temps de réponse et accroît l'efficacité des interventions (Mehiriz et Gosselin, 2016). Pour les établissements de soins de longue durée, l'adoption d'un plan de gestion des catastrophes, la formation du personnel quant aux interventions lors d'EME, l'anticipation des besoins des patients suivant l'événement et la mise en place de systèmes de redondance (génératrice centrale, etc.) amoindrirait les conséquences des événements extrêmes sur les patients (Gibson *et al.*, 2017; Pierce *et al.*, 2017). La formation de la main-d'œuvre dans les établissements de santé ainsi que les effectifs ont été définis comme étant les facteurs les plus déterminants pour assurer la résilience des services de santé lors de catastrophes (Ryan *et al.*, 2016). Bien que la fiabilité des infrastructures d'eau potable, d'électricité, d'assainissement et d'hygiène joue aussi un rôle d'importance, ces facteurs peuvent être compensés progressivement pendant ou après la catastrophe si le personnel est bien formé et en nombre suffisant. La planification des interventions psychosociales après une tempête importante constitue une autre avenue (voir section 10.4.2 **Les mesures populationnelles et institutionnelles d'adaptation aux sécheresses, à l'improductivité agricole et à l'insécurité alimentaire**).

La restauration d'éléments esthétiquement et culturellement significatifs dans les milieux sinistrés aurait également le potentiel de favoriser la santé psychosociale des victimes de sinistres et l'effort de rétablissement post-sinistre. En Ontario, en 2011, après qu'une tornade ait frappé la communauté rurale de Goderich, les personnes affichant un fort sentiment d'appartenance à leur milieu ont participé dans une plus grande proportion à l'effort de rétablissement, favorisant de ce fait la cohésion sociale (Silver *et al.*, 2015). À l'échelle individuelle, les ménages devraient convenir d'un plan afin de pouvoir faire face à une urgence de façon autonome pendant au moins 72 heures, puisque les équipes de secours peuvent mettre un certain temps avant de pouvoir prêter main-forte (Gouvernement du Canada, 2018; Gouvernement du Québec, 2020a). La considération des besoins de santé particuliers, l'identification des personnes à contacter en cas d'urgence, les routes d'évacuation, la préparation d'une trousse d'urgence de biens essentiels (p. ex., aliments non périssables, lampe de poche, trousse de premiers soins, eau embouteillée, etc.) font partie des éléments à inclure dans cette planification.

Au Canada, quelques efforts de sensibilisation pour la foudre ont été mis en œuvre. Entre autres, ECCC a mis en ligne une vidéo pour défaire certains mythes : (1) la foudre ne tombe jamais deux fois à la même place; (2) la foudre frappe seulement lorsque des nuages orageux sont à l'horizon; (3) les arbres peuvent protéger contre la foudre (Mainwaring *et al.*, 2016). Des conseils, tels que se réfugier dans un lieu fermé et ne pas toucher à des équipements électriques, aux téléphones et à la plomberie lors d'un orage, peuvent aussi être dispensés lors d'une telle campagne. ECCC offre aussi la carte canadienne du risque de foudre, qui indique les secteurs les plus susceptibles d'être frappés par la foudre au cours des 10 prochaines minutes (ECCC, 2019a). Elle peut être consultée en temps

réel afin d'agir rapidement pour se mettre à l'abri. ECCC donne également accès à une [carte](#) de la trajectoire des ouragans et émet des alertes préventives pour les précipitations atypiques comme le verglas. Au Québec, le système SUPREME émet également de telles alertes (INSPQ, 2018b).

Évacuations

Les évacuations peuvent diminuer les dommages associés à différents aléas, que ce soit avant ou pendant leur survenue. À l'échelle individuelle, la perception du risque, les comportements d'évacuation antérieurs et la préparation d'un plan d'évacuation prédisposeraient les individus à une éventuelle évacuation, alors que le temps de résidence inhiberait généralement cette prédisposition (R. Thompson *et al.*, 2017). L'émission d'un avis d'évacuation obligatoire inciterait aussi davantage les gens à se conformer qu'un avis d'évacuation volontaire. Outre la famille et les amis, la transmission de cet avis par des représentants communautaires locaux augmenterait la probabilité d'évacuation.

Il faut souligner que les évacuations peuvent revêtir davantage d'effets négatifs que positifs sur la santé, en fonction de l'intensité de l'aléa et de la cohésion sociale (Munro *et al.*, 2017; Stares *et al.*, 2014). Pour réduire ces impacts négatifs, les organisations publiques pourraient encourager les ménages à se procurer des articles essentiels (nourriture non périssable, trousse de premiers soins, lampe de poche, etc.) pour constituer une trousse d'urgence. Les critères d'évacuation pourraient aussi être revus à la hausse pour tenir compte davantage des conséquences sanitaires. Dans le cas des établissements de soins de longue durée et des maisons de retraite, les évacuations préventives lors de tempêtes devraient être évitées puisque plusieurs études ont démontré que les personnes évacuées de ces établissements présentaient un risque plus important de mortalité et d'hospitalisation que les personnes y étant demeurées (Pierce *et al.*, 2017; Willoughby *et al.*, 2017). Le taux de mortalité pouvait en effet être jusqu'à 17 % plus élevé que pour les personnes étant restées sur place, un risque perdurant 6 mois après l'évacuation (Willoughby *et al.*, 2017).

5.4.2 LES MESURES PHYSIQUES D'ADAPTATION AUX TEMPÊTES ET AUX PRÉCIPITATIONS

Caractéristiques des bâtiments

La mise à niveau des infrastructures, particulièrement de leurs toits, afin qu'elles deviennent conformes aux normes du bâtiment du Canada ou du Québec, diminuerait la vulnérabilité des occupants aux intempéries. La grande majorité des tornades étant de force F2 ou moins, elles endommagent le plus souvent les toits, leur ossature et les assemblages entre le toit et les murs porteurs (Sandink *et al.*, 2019). La toiture, les événements, les vérandas et les structures en surplomb, les fenêtres et les portes coulissantes en verre, la porte de garage, les soffites et les objets extérieurs doivent être considérés pour réduire la vulnérabilité des résidences aux vents et aux débris projetés par ces vents. Des supports de couverture plus épais, des volets résistants, des portes de garage et d'entrée solidifiées ainsi que des objets stabilisés à l'extérieur peuvent empêcher le vent et les débris qu'ils transportent d'endommager la propriété et de mettre en danger les personnes à l'intérieur (Institute for Catastrophic Loss Reduction [ICLR], 2012a). L'entretien régulier et la réfection des toits pour obtenir une pente et une capacité suffisante pour résister aux accumulations de neige, de glace ou de verglas sont d'autres options pour diminuer les risques d'effondrement (ICLR, 2012b). L'Institut de prévention des sinistres catastrophiques (IPSC) offre [plusieurs guides](#) aux propriétaires, aux municipalités, aux assureurs et aux entreprises pour accroître la résistance des bâtiments et la résilience des habitants aux vents violents et aux précipitations atypiques comme le grésil et le verglas.

Systeme de distribution d'électricité

L'enfouissement des lignes électriques, le renforcement des capacités de soutien des pylônes et des poteaux de distribution, l'intégration de pylônes antichutes en cascade et la gestion de la végétation près des lignes électriques constituent toutes des mesures d'adaptation pour réduire la probabilité qu'une panne électrique survienne après une tempête, un orage ou des précipitations abondantes de verglas, même si l'enfouissement des lignes peut les vulnérabiliser aux inondations (Audinet *et al.*, 2014; Hydro-Québec, s. d.). La gestion des infrastructures électriques devrait aussi mieux prendre en considération la probabilité que la foudre, le vent ou le verglas cause une interruption de service en fonction des effets des changements climatiques sur l'intensité et la récurrence de ces événements (Fox-Penner, 2014; Haibin Liu *et al.*, 2008; Mills *et al.*, 2009).

6 Inondations, submersions côtières et érosion côtière

6.1 Les effets des changements climatiques sur les tendances et les projections d'inondations, de submersions côtières et d'érosion côtière

L'érosion côtière se définit comme la perte graduelle de matériaux qui entraîne le recul de la côte et l'abaissement des plages (Ministère de la Sécurité publique [MSP], 2016). Quant aux submersions côtières, elles constituent un phénomène d'inondation des terres basses en bordure de la mer, soit de manière graduelle par la hausse du niveau marin, soit de manière soudaine lors de tempêtes (MSP, 2016). Enfin, les inondations affectent plus de 80 % des municipalités riveraines du Québec, se révélant ainsi l'aléa le plus commun et le plus répandu dans la province (Valois, Talbot, Caron, *et al.*, 2016).

L'érosion côtière et les submersions côtières affligent principalement l'est du Québec, soit les régions de la Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine, de la Côte-Nord et du Bas-Saint-Laurent. En date de 2013, 50 % des côtes de l'est du Québec présentaient un risque d'érosion; ce chiffre s'élevait à 43 % pour les submersions marines (Bernatchez, 2015). La fréquence et la gravité des inondations, des submersions côtières et de l'érosion côtière sont et seront modulées par l'augmentation des précipitations moyennes et extrêmes, l'arrivée précoce de la fonte des neiges, la hausse du niveau de la mer et la réduction du couvert de glace et de neige (Derksen *et al.*, 2019; Greenan *et al.*, 2019; X. Zhang *et al.*, 2019).

6.1.1 INONDATIONS

Le réchauffement des températures hivernales devrait diminuer le couvert de neige et devancer les inondations printanières. À cause des changements dans les régimes de précipitations, les inondations associées aux précipitations pluviales devraient augmenter, alors que les inondations associées aux précipitations nivales devraient s'amenuiser d'ici la fin du siècle, dépendamment de l'intensité des émissions de GES (Ouranos, 2015). L'effet des changements climatiques sur les embâcles est aussi incertain au printemps, quoiqu'ils pourraient augmenter en hiver et diminuer en automne à cause des changements dans les cycles gel-dégel (Ouranos, 2018).

La grandeur du bassin versant reste tout aussi importante, les petits étant plus sensibles aux précipitations subites et les grands bassins l'étant davantage aux précipitations cumulées. Les grandes crues demeurent surtout possibles au printemps pour les grands bassins, à l'été et à l'automne pour les petits bassins, et en tout temps pour les bassins de taille moyenne. Dans le sud du Québec, les petits bassins versants devraient ainsi afficher une hausse du nombre d'inondations pour toutes les saisons, alors que les grands bassins versants pourraient plutôt présenter une baisse du nombre d'occurrences au printemps, l'effet étant caractérisé par un plus grand niveau d'incertitude dans ce dernier cas (Ouranos, 2015, 2018). Pour les grands bassins versants, les inondations en hiver et en automne augmenteront probablement, tandis que l'effet est plus incertain pour la période estivale (Centre d'expertise hydrique du Québec [CEHQ], 2015). Les crues de ceux de taille moyenne tendront généralement à s'amplifier à l'été et à l'automne, peu importe l'horizon temporel.

Une augmentation récente des inondations de grande envergure ne représente pas nécessairement les tendances futures. L'intensité des crues printanières, comme celles subies en 2011, en 2017 et en 2019, devrait diminuer à long terme, c'est-à-dire au cours de la deuxième moitié du siècle (Ouranos, 2019). À court terme, certains modèles ont suggéré que cette tendance aux inondations de grande

envergure pourrait se perpétuer sur une certaine période avant de s'affaiblir, mais d'autres modèles ont plutôt présenté une atténuation continue. Dans les milieux urbains, l'augmentation des épisodes de précipitations extrêmes augmentera le risque de refoulement de conduites ou d'égouts, à moins d'une diminution substantielle de l'imperméabilité des surfaces urbaines (Jalliffier-Verne *et al.*, 2017; Ouranos, 2015, 2018). En somme, l'effet net des changements climatiques sur le nombre d'inondations reste difficile à estimer, mais le moment de leur survenue devrait se déplacer vers les autres saisons que le printemps. Plusieurs facteurs de nature anthropique, notamment l'aménagement du territoire, affecteront aussi l'occurrence et l'intensité des inondations.

6.1.2 HAUSSE DU NIVEAU DE LA MER, SUBMERSIONS CÔTIÈRES ET ÉROSION CÔTIÈRE

Quant à la hausse du niveau de la mer, sa magnitude variera grandement à travers le Canada, dépendamment des mouvements verticaux terrestres régionaux. Dans les provinces de l'Atlantique, par exemple, la hausse du niveau de la mer devrait être plus importante que la moyenne mondiale à cause de l'affaissement de la croûte terrestre (Greenan *et al.*, 2019). Dans l'ensemble, la plupart des côtes de l'Atlantique et de la mer de Beaufort devraient enregistrer une hausse du niveau de la mer (Greenan *et al.*, 2019). Cependant, certaines régions pourraient observer une baisse en raison du phénomène de soulèvement de la croûte terrestre, comme dans la baie d'Hudson. À l'intérieur des terres, aucun changement du niveau d'eau des lacs et des milieux humides n'a été signalé dans les dernières décennies (Bonsal *et al.*, 2019). Cependant, une accélération de l'évapotranspiration pourrait diminuer le niveau d'eau des plans d'eau intérieurs si celle-ci surpassait l'intensification prévue des précipitations. Finalement, l'activité des vagues dans le Canada atlantique et arctique s'accroîtra en réponse à l'augmentation de l'étendue et de la période sans glace (Derksen *et al.*, 2019; Greenan *et al.*, 2019). Combinée à la hausse du niveau de la mer, elle devrait ainsi accroître le nombre de submersions côtières et le taux de recul des côtes (Ouranos, 2015, 2018). L'effet du vent pourrait intensifier ces phénomènes, mais les modèles ne permettent pas d'évaluer avec un niveau de certitude suffisant l'effet des changements climatiques sur le vent au Québec. Une diminution de la vitesse moyenne des vents a tout de même été observée de 1953 à 2006, mais les trajectoires des tempêtes tropicales (queues d'ouragan) se sont déplacées vers le nord, une tendance qui augmentera vraisemblablement avec les changements climatiques (Greenan *et al.*, 2019; Ouranos, 2015). Elles pourraient ainsi affecter l'est du Québec et accroître la probabilité que des submersions côtières (aussi appelées « ondes de tempête ») surviennent, même si l'intensité de ces tempêtes pourrait être réduite.

6.2 Les effets sur la santé des inondations, des submersions côtières et de l'érosion côtière

6.2.1 EFFETS SUR LA SANTÉ DES INONDATIONS

Impacts physiques

Les inondations peuvent notamment causer des blessures et provoquer des intoxications au monoxyde de carbone, en plus de favoriser les électrocutions et les infections, particulièrement pendant la période de rétablissement (Du *et al.*, 2010; D. Lowe *et al.*, 2013). Elles peuvent aussi entraîner des noyades et des hypothermies, le danger étant plus important lors d'inondations éclair. Par contre, la mortalité et les blessures forment une mineure partie du fardeau sanitaire des inondations, les effets sur la morbidité physique et mentale surpassant ces conséquences (Bartholdson et von Schreeb, 2018). En date de 2018, les études ne permettaient pas d'affirmer que les inondations augmentaient la mortalité de façon significative (S. Zhong *et al.*, 2018). Environ 20 % des années de vie perdues en lien avec les inondations concerneraient des impacts physiques (Fernandez *et al.*, 2015), bien que le stress subi lors des inondations pouvait se répercuter sur la

santé physique à court et à long termes (Saulnier *et al.*, 2017). Quelques études ont souligné que les inondations réduisaient l'état de santé général (perçu et réel) de la population et accroissaient le nombre de visites auprès de professionnels de la santé (Alderman *et al.*, 2012; L. Turner *et al.*, 2012; S. Zhong *et al.*, 2018). Les patients avec des maladies chroniques pouvaient aussi délaissé leurs traitements et leurs médicaments des mois – et même des années – après une inondation (stress, horaire surchargé, difficulté à se procurer ses médicaments, etc.), avec comme résultat un état aggravé de leurs problèmes de santé physique (Tomio *et al.*, 2010; L. R. Turner *et al.*, 2013; S. Zhong *et al.*, 2018).

Les inondations influencent également l'incidence de maladies cardiovasculaires, dont les infarctus (S. Zhong *et al.*, 2018). Lors des inondations de la rivière Richelieu survenues au Québec en 2011, les personnes exposées avaient 25 % plus de chance de subir un incident cardiaque à la suite des inondations, quoique cette augmentation n'ait pas été observée lors du déluge du Saguenay de 1996 (Vanasse, Cohen, *et al.*, 2016; Vanasse *et al.*, 2015). Les complications associées au diabète de même que les problèmes d'hypertension et de nutrition augmentaient également post-inondation (Saulnier *et al.*, 2017). En somme, un sondage mené au Québec a révélé que 15 % de la population ayant vécu une inondation rapportait avoir été incommodée sur le plan physique (Valois, Talbot, Caron, *et al.*, 2016).

Finalement, les inondations ont été associées à une incidence accrue de maladies d'origine hydrique, de maladies vectorielles et d'autres maladies infectieuses (pour celles d'origine hydrique, voir section 11 **Pollution de l'eau et insalubrité des aliments** et pour celles d'origine animale, voir section 12 **Zoonoses**) (L. Brown et Murray, 2013; Cann *et al.*, 2013; Funari *et al.*, 2012; Levy *et al.*, 2016; McMichael, 2015). Les logements inondés sont également propices à l'apparition de champignons, de bactéries et de moisissures, qui accroissent le risque de développer ou d'aggraver des problèmes cutanés, allergiques, oculaires, respiratoires et gastro-intestinaux (p. ex., asthme, conjonctivite, otite) (Alderman *et al.*, 2012; Saulnier *et al.*, 2017; Tempark *et al.*, 2013; S. Zhong *et al.*, 2018). Au Japon, il a été estimé que l'incidence de ces problèmes de 2005 à 2010 était de 3 à 10 fois plus élevée chez les occupants de résidences inondées qu'avant les inondations, et ce, après 1 semaine et jusqu'à 6 mois après l'événement (Azuma *et al.*, 2014).

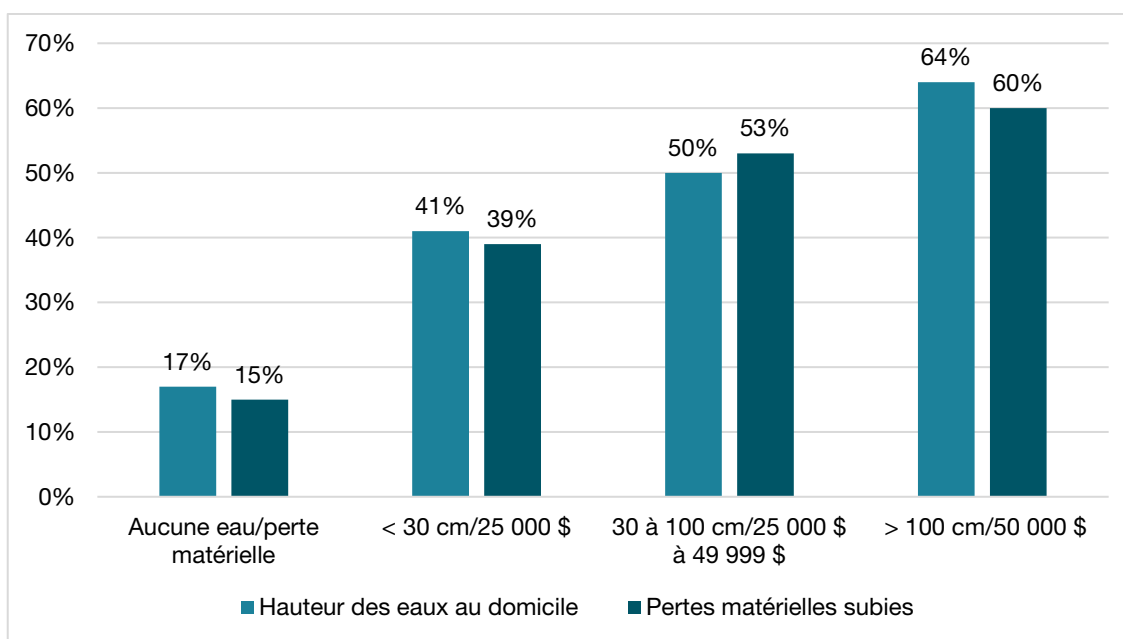
Impacts psychosociaux

Les inondations détériorent le milieu de vie, perturbent la vie sociale et accroissent l'incertitude financière par les coûts matériels et les perturbations économiques qu'elles entraînent, souvent pendant de longs mois. Elles peuvent aussi obliger les personnes à vivre pendant plusieurs mois ailleurs que dans leur résidence (Carroll *et al.*, 2010; Fernandez *et al.*, 2015; D. Lowe *et al.*, 2013). Plus de 7 000 interventions psychosociales ont été effectuées seulement lors des inondations de 2011 au Québec (MSP, 2017). Ce faisant, les inondations ont été associées à une détérioration du bien-être psychologique et social ainsi que de la qualité de vie (Fernandez *et al.*, 2015; French *et al.*, 2019; L. Turner *et al.*, 2012). Entre autres, elles accroissent l'incidence des symptômes de stress post-traumatique, de dépression, d'anxiété et d'idéations suicidaires chez les personnes exposées (Alderman *et al.*, 2012; Fernandez *et al.*, 2015; H. Graham *et al.*, 2019; Munro *et al.*, 2017; L. Turner *et al.*, 2012; Warsini *et al.*, 2014). Un sondage mené au Québec a montré que 15 % de la population ayant vécu une inondation déclarait avoir subi des conséquences sur le plan de la santé mentale, principalement la peur, l'inquiétude, le stress et le manque de sommeil (Valois, Talbot, Caron, *et al.*, 2016). En 2017, un sondage réalisé auprès de 200 ménages a indiqué que 67 % de la population de l'est de Montréal affectée par les inondations avait éprouvé un sentiment d'anxiété, des problèmes de sommeil ou des troubles de concentration, le pourcentage étant plus important chez les personnes évacuées (Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux du Centre-Sud-de-l'Île-de-Montréal, 2017). De plus, 24 % des répondants ont estimé que leur état de santé mentale

était passable ou mauvais, soit presque 5 fois la prévalence dans l'ensemble de la population montréalaise. Ces effets psychosociaux peuvent entraîner une augmentation de la violence conjugale pendant et après l'événement (S. A. Bell *et al.*, 2016).

Une autre étude réalisée auprès de 3 437 répondants dans 6 régions du sud du Québec a démontré que 44 % des personnes sinistrées après les inondations de 2019 présentaient des symptômes modérés à élevés de stress post-traumatique, 21 %, des troubles anxieux, et 20 %, de troubles de l'humeur (Généreux *et al.*, 2020). Les personnes inondées étaient de 4 à 5 fois plus nombreuses à présenter un de ces troubles de santé mentale comparativement aux personnes non affectées, soit 53 % par rapport à 12 %. L'étude a également indiqué que la hauteur des eaux au domicile et les pertes matérielles influençaient la probabilité que l'inondation affecte psychologiquement le ménage inondé (voir **Figure 5**). De plus, le manque de soutien social et financier accroissait la probabilité qu'une personne présente un trouble de santé mentale.

Figure 5 Pourcentage de personnes inondées déclarant avoir subi des impacts psychologiques un an après les inondations de 2019, en fonction du niveau d'exposition



Source : Généreux *et al.*, 2020.

En Angleterre, les personnes inondées au cours de l'hiver 2013-2014 présentaient un risque 6 à 7 fois plus élevé (aOR¹⁶, IC 95 % : 1,7 – 39,8) de déclarer des problèmes d'anxiété et de dépression dans l'année suivant l'événement (T. D. Waite *et al.*, 2017). Cet effet s'aggravait lorsque des services d'utilité résidentielle (p. ex., électricité, chauffage, eau courante, installations septiques, etc.) avaient été interrompus. Même les personnes n'étant pas directement affectées par les inondations, mais dont les activités quotidiennes ont tout de même été perturbées, affichaient un risque plus important de souffrir de problèmes de santé mentale (aOR : 1,6; IC 95 % : 1,2 – 2,9). L'impact s'aggravait si l'accessibilité aux services de santé, incluant les services sociaux, se dégradait. Cet effet psychologique délétère auprès des personnes non directement touchées est retrouvé dans d'autres études et d'autres types d'EME (Fernandez *et al.*, 2015; Neria *et al.*, 2008; Saulnier *et al.*, 2017). Une revue de la littérature a entre autres conclu que de 5 à 10 % de la population non affectée pouvait

¹⁶ Adjusted odds ratio.

être atteinte de stress post-traumatique après un tel événement (Neria *et al.*, 2008). En somme, des auteurs d'une revue de la littérature ont démontré que 80 % des années de vie perdues associées aux inondations étaient attribuables aux impacts psychosociaux (Fernandez *et al.*, 2015).

L'importance des impacts psychologiques des inondations se reflète dans la littérature scientifique, où la majorité des études reliées se penchent sur la santé mentale (p. ex., stress post-traumatique, dépression, anxiété et suicide) plutôt que sociale et physique (S. Zhong *et al.*, 2018).

L'exposition aux inondations augmenterait également la consommation excessive de drogues, d'alcool ou de médicaments et diminuerait le sentiment de sécurité et d'appartenance au milieu (Fernandez *et al.*, 2015; Tapsell et Tunstall, 2008). Les relations avec ses voisins, ses amis, sa famille ou sa communauté peuvent également se détériorer après une inondation, comme il a été observé chez les aînés jusqu'à 6 mois après le déluge de 1996 au Saguenay (Maltais, 2006). Le contraire peut également s'avérer à la suite de sinistres répétés, où une fatigue de la compassion peut alors s'installer. Un sondage mené auprès de 963 personnes après les inondations de Calgary en 2013 a soulevé que les personnes qui en avaient soutenu d'autres pendant ou après l'inondation affichaient un sentiment plus élevé de cohésion sociale (Hetherington *et al.*, 2018).

L'intensité et la durée des effets sur la santé mentale et sociale varieront grandement en fonction de la population et dépendront de plusieurs facteurs. La prévalence de stress post-traumatique dans une population inondée dans les 2 dernières années variait de 9 à 53 % selon certaines études (Alderman *et al.*, 2012). D'autres études utilisant des indices de bien-être psychologique ont également démontré que les effets sur la santé mentale variaient fortement en fonction du degré d'exposition et d'intensité des inondations (Fernandez *et al.*, 2015). Une étude réalisée à Burlington en Ontario auprès d'une centaine de résidents affectés par les inondations de 2014 a évalué que ces résidents affichaient un niveau de stress élevé même 3 ans après l'inondation (Decent, 2018). Néanmoins, la prévalence de troubles psychologiques diminuerait à travers le temps et la situation pourrait éventuellement se rétablir (Fernandez *et al.*, 2015; Jermacane *et al.*, 2018; Johal et Mounsey, 2016). Dans une cohorte de 1075 personnes, une étude menée en Angleterre a démontré que la prévalence de symptômes post-traumatiques, anxieux et dépressifs la deuxième année suivant des inondations généralisées correspondait à environ 40 à 50 % de la prévalence observée la première année (Jermacane *et al.*, 2018). Encore en Angleterre, il a été évalué que les inondations répétées n'augmentaient pas nécessairement le niveau de stress post-traumatique et de dépression (French *et al.*, 2019). L'effet des inondations répétées et la persistance des impacts psychosociaux sur une longue période (3 ans et plus) restent à confirmer, les études sur le sujet étant rares (French *et al.*, 2019; S. Zhong *et al.*, 2018).

6.2.2 EFFETS SUR LA SANTÉ DES SUBMERSIONS CÔTIÈRES

Les conséquences des submersions côtières se situent à mi-chemin entre la tempête et l'inondation. Les submersions côtières sont moins propices que les inondations à la propagation de maladies infectieuses. À l'instar des inondations, les submersions côtières peuvent nécessiter des évacuations prolongées et causent des dommages importants aux propriétés et aux infrastructures publiques. Les impacts psychosociaux et physiques associés au stress financier et aux perturbations sociales sont donc théoriquement applicables aux submersions côtières, tout comme ils s'appliquent pour les inondations (Lane *et al.*, 2013; Manuel *et al.*, 2015). Elles peuvent également causer des noyades, des électrocutions, des accidents routiers, des chutes et plusieurs types de blessures (traumatismes crâniens, perforations, lacérations, etc.) (Lane *et al.*, 2013). Par contre, peu d'études se sont réellement penchées sur les effets sanitaires de cet aléa en dehors d'un contexte d'ouragan qui s'applique peu au Canada, exception faite des provinces de l'Atlantique, qui peuvent être touchées par des queues d'ouragan (Hung *et al.*, 2016; Lane *et al.*, 2013; Ryan *et al.*, 2016; Saulnier *et al.*, 2017).

6.2.3 EFFETS SUR LA SANTÉ DE L'ÉROSION CÔTIÈRE

L'érosion côtière est un aléa plus insidieux. À moins de provoquer des glissements de terrain, le risque de blessure liée à l'érosion côtière est inexistant. Elle a toutefois le potentiel de causer des impacts psychosociaux et d'abîmer la propriété. Les effets de l'érosion côtière sont plus difficiles à évaluer étant donné qu'ils s'étalent à moyen et à long termes. Tout comme avec les submersions côtières, les effets sur la santé de l'érosion côtière ont été très peu étudiés. À certains endroits, il est toutefois évident que l'érosion et la submersion côtières accroîtront l'isolement et la défavorisation des régions en rendant impraticables les routes et en détériorant d'autres infrastructures d'utilité publique en bordure de côte (Drejza *et al.*, 2015; Manuel *et al.*, 2015).

Une évaluation économique des impacts potentiels de l'érosion des côtes du Québec maritime (Côte-Nord, Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine et Bas-Saint-Laurent) dans un contexte de changements climatiques a démontré que 5 426 bâtiments seront exposés à l'érosion côtière d'ici 2065, dont 83 % seraient résidentiels (Bernatchez *et al.*, 2015). Plus de 282 km de routes et 26 km de chemins de fer pourraient aussi être à risque. La perte économique potentielle pour la période 2015-2064 est estimée à 1,5 milliard (en dollars courants de 2012). En diminuant la viabilité des régions affectées, ces pertes pourraient aussi mener à un éclatement permanent des communautés en encourageant l'exode des populations.

6.2.4 EFFETS SUR LA SANTÉ DES PANNES ÉLECTRIQUES

Les inondations et la submersion côtière peuvent également causer des pannes d'électricité. Même si les risques des pannes électriques par temps chaud sont moins importants du fait que les dangers sont principalement associés à l'utilisation d'appareils de chauffage d'appoint et à l'exposition au froid (Klinger et Owen Landeg, 2014; Lane *et al.*, 2013), ils pourraient augmenter durant les saisons intermédiaires puisque les températures extérieures ne sont pas encore idéales. De plus, l'absence de climatisation en raison d'une panne électrique pourrait accroître l'exposition à la chaleur pendant les périodes de chaleur intense. En incitant les citoyens à l'utilisation de génératrices, les inondations ont été associées à une hausse des intoxications au monoxyde de carbone avant et pendant l'événement de même qu'après la phase de rétablissement (T. Waite *et al.*, 2014). Les pannes électriques peuvent aussi interrompre des traitements au domicile, tels que l'oxygénothérapie et la dialyse.

6.3 Les populations à risque par rapport aux inondations, aux submersions côtières et à l'érosion côtière

6.3.1 ÂGE

Les enfants et les adolescents sont susceptibles d'éprouver des symptômes de stress post-traumatique après une catastrophe, bien qu'il ne soit pas manifeste à quel point ils sont plus affectés que les adultes (Furr *et al.*, 2010; Lai *et al.*, 2017; Martinez Garcia et Sheehan, 2016). Le risque serait plus élevé pour les jeunes filles que pour les jeunes garçons ainsi que pour les enfants et les adolescents ayant peu de soutien social (Lai *et al.*, 2017; Martinez Garcia *et al.*, 2016). Néanmoins, la majorité des études sur le sujet a démontré que les enfants pouvaient bien tolérer un faible niveau de stress post-traumatique sur une longue période (Lai *et al.*, 2017). Ce stress aura tout de même un effet notable sur leur développement à long terme. L'état de stress post-traumatique chez les enfants a été associé à des déficits cognitifs, à des problèmes d'alcool et de drogues, à l'immunodéficience, à l'asthme de même qu'à des troubles d'apprentissage, du sommeil et du comportement (Martinez

Garcia *et al.*, 2016). Le stress prénatal subi lors d'une inondation a également été associé au poids de l'enfant (Dancause *et al.*, 2015).

Les personnes âgées affectées par une inondation affichent également des symptômes d'anxiété, de dépression et de stress post-traumatique disproportionnés comparativement aux adultes (Decent, 2018; Leyva *et al.*, 2017). Le risque de mortalité et de morbidité pendant et après une inondation s'avère particulièrement élevé chez les adolescents et les jeunes adultes (10 à 29 ans) de même que chez les plus de 60 ans, vu leur plus faible capacité d'adaptation (D. Lowe *et al.*, 2013; S. Zhong *et al.*, 2018).

6.3.2 SEXE ET GENRE

Les impacts physiques des inondations, comme les événements cardiaques, affligent davantage les hommes (D. Lowe *et al.*, 2013). Aux États-Unis et en Europe, de 1989 à 2003, 58,7 % des personnes décédées pendant les inondations étaient des hommes (Jonkman et Kelman, 2005). Ils pourraient être davantage affectés physiquement à cause de leur prédisposition à prendre des risques (S. T. Ashley et Ashley, 2008). Par exemple, plus de la moitié des décès dus aux inondations survenues aux États-Unis de 1995 à 2005 se sont produits à l'intérieur d'un véhicule; environ 60 % des personnes décédées de cette façon étaient de sexe masculin (Kellar et Schmidlin, 2012).

Même si elles semblent physiquement moins à risque après l'inondation, les femmes semblent plus affectées psychologiquement et même physiquement pendant les inondations (D. Lowe *et al.*, 2013). Une étude réalisée dans 10 communautés rurales et riveraines exposées aux submersions côtières au Nouveau-Brunswick a suggéré que cette situation désavantageuse pour les femmes pourrait découler d'un contrôle parfois plus limité sur leur sort ainsi que de leur implication moindre dans l'adaptation de leur communauté aux changements climatiques (Vasseur *et al.*, 2015). Dans la plupart des cas, les femmes ont davantage la responsabilité de soutenir et de soigner les membres du ménage, en particulier les enfants, sans compter qu'elles remplissent le rôle de proche aidante dans une plus grande proportion. Cette charge de travail accrue et un contrôle plus faible influencent la santé mentale des femmes. À titre d'exemple, à la suite des inondations de 2011, à Calgary, les prescriptions de médicaments pour combattre l'anxiété et de somnifères avaient augmenté respectivement de 1,6 (RR, IC 95 % : 1,1 – 2,4) et de 2,3 fois (RR, IC 95 % : 1,5 – 3,7) chez les femmes (Sahni *et al.*, 2016). Également, les femmes risquent davantage de subir de la violence conjugale à la suite d'un événement extrême tel que les inondations, et les femmes violentées post-inondation sont plus susceptibles de déclarer qu'elles souffrent de dépression (First *et al.*, 2017).

6.3.3 MALADIES PRÉEXISTANTES

Les personnes avec des problèmes de santé préexistants sont également plus sensibles aux effets des inondations (D. Lowe *et al.*, 2013). Par exemple, lors des inondations de la rivière Richelieu survenues au Québec en 2011, les personnes avec un historique médical de maladies cardiovasculaires avaient 70 % plus de chance de subir un incident cardiaque à la suite des inondations contrairement à 25 % pour l'ensemble des personnes affectées (Vanasse, Cohen, *et al.*, 2016). De surcroît, les personnes médicamentées sont plus vulnérables puisque l'accessibilité aux médicaments peut être compromise lors de perturbations sociales importantes comme les inondations (Gaskin *et al.*, 2017). Il en va de même pour les personnes s'autoadministrant des soins à leur domicile (p. ex., dialyse ou oxygénothérapie). Au sujet du stress post-traumatique, les personnes avec un niveau élevé d'anxiété sont plus susceptibles d'en afficher un niveau élevé après un EME, comme il a été démontré après les inondations à Calgary en 2011 (Hetherington *et al.*, 2018). Elles seraient également plus enclines à afficher des comportements suicidaires (S. Zhong *et al.*, 2018).

6.3.4 STATUT SOCIO-ÉCONOMIQUE

Revenu

Les personnes subissant des pertes de revenu sont plus susceptibles d'éprouver les effets néfastes des aléas côtiers, principalement sur le plan de la santé mentale (Fernandez *et al.*, 2015; D. Lowe *et al.*, 2013). Des auteurs anglais ont estimé que le risque de voir sa santé mentale se détériorer avant ou après des inondations survenues en 2007 était de 2 à 8 fois plus élevé chez les personnes avec un revenu en dessous de 25 000 euros que chez celles gagnant plus de 55 000 euros à ce moment (Lamond *et al.*, 2015). Un faible niveau de scolarité, en plus d'être généralement associé à un revenu moindre, diminue la prédisposition et parfois la capacité d'un individu à s'adapter ou à comprendre les instructions des autorités publiques (S. Zhong *et al.*, 2018). Dans le même ordre d'idées, les personnes à faible revenu et les personnes racisées tendront à s'installer dans des logements se situant dans des zones inondables, puisqu'ils sont souvent moins dispendieux (J. R. Elliott, 2015). Inversement, cette même population déménagera davantage à la suite d'une inondation, puisqu'elle est plus souvent locataire et qu'elle ne possède pas nécessairement les capacités pour s'adapter ou se rétablir d'un sinistre. Ces éléments rendent ainsi ces individus plus vulnérables aux effets psychosociaux associés aux déménagements indésirés.

Ruralité

Les communautés éloignées ou rurales affichent souvent un profil de défavorisation matérielle élevée. Elles ne possèdent pas toujours les ressources financières ou humaines pour s'adapter aux aléas côtiers et nécessitent ainsi un soutien externe (Chouinard *et al.*, 2008). De plus, la proportion de personnes âgées y est généralement plus élevée, sans compter que l'exode rural et le vieillissement démographique continueront à affaiblir la résilience de ces communautés (Manuel *et al.*, 2015; Rapaport *et al.*, 2015). Cet effritement des communautés rurales pourrait les vulnérabiliser aux aléas côtiers, puisque la cohésion sociale et la capacité à faire face à ces événements peuvent diminuer les effets psychologiques des inondations (Greene *et al.*, 2015).

Assurance

Les personnes ne détenant pas d'assurances sont plus susceptibles de subir des effets psychologiques lors d'inondations (Mulchandani *et al.*, 2019; Tunstall *et al.*, 2006). Elles sont souvent caractérisées par un profil plus défavorisé économiquement, étant donné les coûts liés à une telle protection (Koerth *et al.*, 2017; Poussin *et al.*, 2015). Le temps pour contacter ses assureurs peut également augmenter le stress chez les personnes dont la résidence a été inondée (Maltais, 2006). Même les personnes assurées pour des inondations ou d'autres aléas hydrométéorologiques peuvent être confrontées à des limites de réclamations d'assurance, à des augmentations considérables de leurs primes ou à une annulation forcée de leur couverture (Sandink, 2013).

6.3.5 TRAVAIL

Premiers répondants et intervenants psychosociaux

À l'instar des autres EME, les premiers répondants, tels que les policiers, le personnel paramédical et les intervenants de sécurité civile, peuvent subir les répercussions des aléas côtiers (Johanning *et al.*, 2014). Dans une étude menée en Australie auprès de 1 623 policiers à la suite d'inondations majeures en 2010-2011, les auteurs ont constaté que les symptômes de fatigue et de stress psychologique variaient en fonction du soutien, du type et de la surcharge de travail (Biggs *et al.*, 2014). Les policiers volontaires ou déployés au front étaient plus susceptibles de présenter ces symptômes, de se désengager du travail, d'être insatisfaits de leur emploi et de démissionner.

Les auteurs d'une autre étude qualitative réalisée au Royaume-Uni auprès de travailleurs bénévoles de première ligne et d'intervenants sociaux se sont aussi penchés sur les impacts sanitaires d'une inondation majeure survenue en 2005 (Carroll *et al.*, 2010). Les personnes interviewées ont rapporté plusieurs problèmes physiques (p. ex., problèmes gastro-intestinaux, aggravation des problèmes cardiaques et respiratoires, etc.), psychologiques et en lien avec la qualité de l'eau (p. ex., moisissures, puits individuels, etc.). Ces effets concernaient leur entourage, la population affectée et eux-mêmes. Les répondants ont aussi déclaré que plusieurs conflits avaient émergé avec les compagnies d'assurance de même qu'avec les entreprises de restauration et de construction lors du rétablissement.

Dans les deux études précédentes, la surcharge de travail, les horaires atypiques, le manque de ressource et la perte de biens lors des inondations ont exacerbé les effets sur la santé. Au Québec, une étude qualitative a confirmé ces facteurs aggravants chez les intervenants de première ligne et les intervenants sociaux lors d'inondations, en plus de pointer le manque de préparation et d'accompagnement pour répondre aux besoins des sinistrés (Adam-Poupart *et al.*, 2019). Le processus de relocalisation s'échelonnant parfois sur plusieurs mois, certains intervenants doivent être mobilisés pour cette période, suscitant un sentiment d'impuissance et de fatigue physique et psychologique.

Producteurs agricoles

En Australie, une autre étude a démontré que les producteurs agricoles pouvaient aussi ressentir des effets importants liés à des inondations, particulièrement un sentiment d'impuissance et de perte de contrôle pour protéger ses avoirs (p. ex., bétail, propriété, cultures) et ses proches (Carra et Curtin, 2017). Les impacts psychosociaux subsistaient jusqu'à 3 ans après l'événement à cause de changements profonds dans la communauté. Au Québec, des pertes d'emplois et de revenus chez les producteurs agricoles ont été répertoriées à la suite d'inondations, une situation aggravée par leur statut de travailleur autonome (Adam-Poupart *et al.*, 2019). La présence d'industries ou d'autres milieux de travail en zones inondables peut aussi s'avérer problématique lors d'inondations, entraînant une interruption de revenu chez les travailleurs concernés.

6.4 Les mesures d'adaptation aux inondations, aux submersions côtières et à l'érosion côtière

6.4.1 LES MESURES INDIVIDUELLES D'ADAPTATION AUX INONDATIONS, AUX SUBMERSIONS CÔTIÈRES ET À L'ÉROSION CÔTIÈRE

Comportements d'adaptation

À l'échelle individuelle, plusieurs mesures d'adaptation structurelles permettent de se protéger des conséquences des inondations. L'élévation du domicile, du compteur d'électricité, des portes, des meubles, des plinthes et des prises électriques, le déplacement des objets du sous-sol à l'étage, et l'imperméabilisation des fondations du domicile en sont des exemples (Koerth *et al.*, 2017; Poussin *et al.*, 2015; Valois, Talbot, Caron, *et al.*, 2016). S'informer des conséquences et des mesures d'adaptation relatives aux inondations, faire l'inventaire de ses biens et souscrire à une assurance en cas d'inondation constituent des mesures non structurelles allant dans la même direction. Cependant, selon un sondage pancanadien, seulement 30 % des personnes habitant en zone inondable ont mis en œuvre des mesures pour protéger leur propriété des inondations (Thistlethwaite *et al.*, 2017). Au Québec, un sondage a mis en lumière que 42 % des personnes habitant en zone inondable n'en étaient pas conscientes (26 %) ou minimisaient fortement le risque d'être inondées (16 %) (Valois, Talbot, Caron, *et al.*, 2016). Le tableau 5 présente les résultats de ce sondage quant

aux mesures d'adaptation mises en œuvre par ces personnes. Dans un autre ordre d'idées, le fait de soutenir son partenaire lors d'un sinistre semblait réduire le risque de dépression (p. ex., post-partum), même après que la situation eut été rétablie (Brock *et al.*, 2014).

Tableau 5 Mesures d'adaptation mises en œuvre par les résidents sondés habitant en zone inondable

Avant l'inondation	Pendant l'inondation/au moment de l'alerte	Après l'inondation
Quatre mesures les plus adoptées		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Savoir comment couper le courant électrique ou l'eau (95,7 %) ▪ Posséder une pompe à eau (53,6 %) ▪ Installer un clapet antirefoulement (51,1 %) ▪ S'assurer du bon fonctionnement du drain de fondation (44,3 %) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Porter des bottes de caoutchouc pour marcher dans l'eau d'inondation (67,9 %) ▪ Surveiller si le risque d'inondation augmente ou diminue (56,4 %) ▪ Évacuer l'eau de son habitation grâce à une pompe (51,7 %) ▪ Déplacer le mobilier extérieur et la voiture dans un endroit à l'abri de l'eau (49,4 %) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Désinfecter les pièces contaminées (77,1 %) ▪ Dresser un inventaire des dommages causés (53,7 %) ▪ Porter des gants en caoutchouc pour manipuler les objets ayant été en contact avec l'eau d'inondation (46,4 %) ▪ Faire vérifier l'état de l'installation électrique et des appareils de chauffage (46,1 %)
Quatre mesures les moins adoptées		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Se renseigner pour connaître les conséquences d'une inondation sur la santé physique ou mentale (14,7 %) ▪ Apporter d'autres modifications à son terrain afin d'empêcher l'eau de s'infiltrer (4,4 %) ▪ Apporter d'autres modifications à son habitation afin d'empêcher l'eau de s'infiltrer (4,1 %) ▪ Déplacer l'habitation sur une portion du terrain moins à risque (1,7 %) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Boucher le drain du sous-sol (15,2 %) ▪ Calfeutrer les portes et les fenêtres avec du ruban adhésif plastifié (9,4 %) ▪ Boucher les prises d'air extérieures de la sècheuse, de la hotte de la cuisinière, etc. (5,7 %) ▪ Prendre toute autre mesure pour éviter l'infiltration d'eau (2,9 %) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ S'assurer d'avoir une trousse d'urgence comprenant tout le nécessaire (27,8 %) ▪ Assister en cours d'année à des rencontres d'information (26 %) ▪ Remplacer l'isolant du réfrigérateur s'il est mouillé ou encore remplacer l'appareil (25,8 %) ▪ Relever la présence de moisissures qui se sont développées (15,5 %)

Source : Valois, Talbot, Caron, *et al.*, 2016.

Perception du risque et de contrôle

Plusieurs facteurs associés à la perception des individus peuvent aussi influencer l'adoption de mesures d'adaptation aux aléas côtiers, tels que la perception du risque, l'efficacité perçue d'une mesure d'adaptation, la perception de contrôle sur la mise en œuvre de cette mesure, le coût estimé de son implantation et la perception que la responsabilité de s'adapter incombe à soi-même (Bubeck *et al.*, 2012; Kellens *et al.*, 2013; Poussin *et al.*, 2014; Valois, Renaud, *et al.*, 2017). Le nombre d'inondations vécues dans le passé, les connaissances factuelles des risques et des mesures d'adaptation, être propriétaire de son logement, résider dans une maison unifamiliale et vivre de façon permanente dans une maison accroissent aussi les chances qu'un individu adopte des mesures d'adaptation en milieu côtier (Koerth *et al.*, 2017; Valois, Renaud, *et al.*, 2017; Valois, Talbot, Caron, *et al.*, 2016).

Un sentiment d'anxiété, d'incertitude ou d'inquiétude constitue un autre déterminant important de l'adoption de mesures préventives (Rufat *et al.*, 2015). Le nombre d'inondations vécues, la durée de résidence et le temps écoulé depuis la dernière inondation subie sont d'autres facteurs. De plus, le sentiment d'appartenance au milieu intensifie la perception du risque pour les événements relativement fréquents (Bonaiuto *et al.*, 2016). D'un côté, le réseau social joue un rôle prépondérant – voire plus important que les médias et les sources officielles d'information – pour informer les gens d'un danger ou d'une évacuation imminente. D'un autre côté, il diminue la probabilité qu'un individu déménage d'une zone à risque ou l'évacue, en plus d'aggraver les impacts psychosociaux, le cas échéant. Certaines personnes acceptent également de s'exposer à un risque par accoutumance ou parce qu'elles estiment que les avantages de résider dans une zone riveraine à risque surpassent les coûts potentiels (Koerth *et al.*, 2017; Poussin *et al.*, 2014; Wachinger *et al.*, 2013).

6.4.2 LES MESURES POPULATIONNELLES ET INSTITUTIONNELLES D'ADAPTATION AUX INONDATIONS, AUX SUBMERSIONS CÔTIÈRES ET À L'ÉROSION CÔTIÈRE

Préparation du système de santé

Les services de santé au sein des municipalités touchées peuvent se doter d'un plan et d'une stratégie d'urgence en cas de sinistre, comme les inondations et les aléas côtiers (Burton *et al.*, 2016). Une étude menée au Québec auprès des organisations de santé a d'ailleurs montré qu'elles étaient moins bien préparées à certains événements fréquents comme les inondations que pour les vagues de chaleur (Valois, Jacob, *et al.*, 2017a). Elle a aussi permis de dégager les constats suivants :

- Un peu plus de la moitié des DSPublique ont affecté un employé aux EME;
- Le tiers des DSPublique ont élaboré un plan de prévention et de protection en cas d'inondation;
- Les trois quarts des établissements de santé ont implanté un plan de sécurité civile avec un employé et un comité consacrés aux questions des EME;
- 55 % des établissements de santé ont adopté un plan de prévention et de protection en cas d'inondation;
- Les établissements de santé ont prévu en moyenne 2 activités de préparation aux situations d'urgence sur un maximum de 5 évaluées (p. ex., rappeler au personnel les procédures prévues au plan d'urgence), mais seulement 26,7 % ont effectué un exercice de simulation d'une situation d'inondation;
- Les établissements de santé ont déployé en moyenne 9 mesures de gestion sur un maximum de 14 évaluées (p. ex., plan pour assurer l'approvisionnement en eau potable, redondance énergétique pour les pannes électriques, plan pour l'accueil d'un grand nombre de personnes blessées ou évacuées);
- Les établissements de santé ont tenu en moyenne 5 activités d'adaptation après une inondation sur un maximum de 7 évaluées (p. ex., inspecter, nettoyer et désinfecter les lieux; offrir des interventions psychosociales, lorsque requises, au personnel et aux usagers affectés).

Ce sondage fait donc ressortir que plusieurs DSPublique et établissements de santé n'ont pas de plan d'adaptation aux inondations et qu'ils accordent souvent plus d'importance aux mesures réactives (protection) que préventives. L'adaptation des installations du système de santé gagnerait ainsi à être accélérée pour conserver la qualité de ce service essentiel lors d'inondations. Sur le plan de la planification, la formation du personnel, la prévision des besoins médicaux des patients pendant un sinistre, un procédé décisionnel considérant les évacuations comme solution de dernier recours et l'évaluation systématique de l'efficacité des interventions après sinistre devraient

notamment être inclus (Pierce *et al.*, 2017). Les travailleurs sociaux et autres professionnels de la santé psychosociale pourraient également être formés afin de mieux répondre aux sentiments de perte et de deuil causés par les événements météorologiques (Fulton et Drolet, 2018). À ce titre, la planification des interventions psychosociales d'urgence après une inondation ou des submersions est à envisager (voir section 10.4.2 **Les mesures populationnelles et institutionnelles d'adaptation aux sécheresses, à l'improductivité agricole et à l'insécurité alimentaire**).

Interventions sociales

Plusieurs études ont démontré que le fait de recevoir un soutien social pendant et après les inondations diminuait durablement les effets psychologiques et même physiques de ces événements (S. Zhong *et al.*, 2018). Pourtant, selon un sondage effectué auprès de 1 576 sinistrés des inondations de 2019 au Québec, 32 % ont déclaré que le soutien psychosocial offert ne suffisait pas à leurs besoins (Généreux *et al.*, 2020). Les personnes ayant reçu moins de soutien social qu'espéré affichaient une prévalence de problèmes de santé mentale s'élevant à 55 % comparativement à 40 % chez les personnes estimant avoir reçu un soutien social plus que suffisant. Ce sondage souligne donc l'importance de mettre en place des interventions psychosociales correspondant aux attentes de la population affectée. De plus, au sujet des aléas côtiers ou riverains, le développement des capacités d'adaptation (p. ex., octroi de matériel comme des sacs de sable, sensibilisation aux mesures d'adaptation du domicile, aide pour les réclamations d'assurance) chez les personnes résidant dans des zones à risque diminuerait leurs effets psychologiques post-inondation (Foudi *et al.*, 2017).

Les intervenants de première ligne et en gestion d'urgence pourraient être davantage conscientisés sur les liens entre la violence conjugale et les sinistres de même que sur les façons d'agir pour aider les victimes (First *et al.*, 2017). Pour les personnes présentant des incapacités physiques ou mentales, l'implication dans la planification et les interventions d'urgence d'organisations travaillant auprès de ces groupes de personnes, incluant les refuges, accroîtrait leur capacité d'adaptation (Gaskin *et al.*, 2017). Les enseignants restent également bien placés pour assurer le bien-être psychologique des enfants et des adolescents à la suite du rétablissement d'un sinistre. Les former sur les effets physiques et psychologiques découlant de catastrophes naturelles comme les inondations pourrait diminuer l'incidence de ces troubles sur les enfants, en les outillant pour cibler leurs besoins particuliers et y répondre (Le Brocque *et al.*, 2017). Le fardeau des intervenants de la santé et des parents, souvent eux-mêmes affectés, en serait également réduit. Le même constat s'applique aux proches aidants et aux prestataires de soins à domicile, qui ont un accès privilégié aux personnes avec des problèmes de santé importants et parfois isolées (Leyva *et al.*, 2017).

Planification et réglementation

Le MSP a mis en œuvre un programme de vigilance de la crue des eaux qui lui permet de cibler les milieux à surveiller selon les données transmises par des stations hydrométriques. La [carte géoréférencée](#) des différents niveaux de surveillance est accessible au public sur son site Internet (MSP, 2018e). Même si la réglementation gouvernementale interdit la construction dans les zones inondables de récurrence de 20 ans, une progression est toujours observée concernant le développement à l'intérieur ou près des zones à risque, entre autres dans les plaines inondables présentant une récurrence de 100 ans et dans les zones affichant un risque d'érosion côtière ou de submersions côtières (Bernatchez, 2015; MSP, 2017).

Pour infléchir cette tendance, plusieurs actions peuvent être mises en place dans la planification municipale ou gouvernementale (Aerts et Botzen, 2011; Chizewer et Tarlock, 2012; Koks *et al.*, 2014; Kreibich *et al.*, 2015) :

- Cartographier les zones à risque afin de les inclure dans les documents de planification;
- Interdire les constructions critiques ou vulnérables dans les zones à risque dans les règlements de zonage;
- Prescrire l'immunisation des constructions (p. ex., élévation des bâtiments, installation de vides sanitaires au sous-sol) ou une certaine hauteur, entre autres pour les routes principales, ou adopter d'autres normes pour diminuer la vulnérabilité structurelle;
- Diminuer l'emprise des bâtiments près des zones à risque;
- Préserver les espaces ouverts à proximité et laisser la place à la rivière plutôt que de contraindre son espace de circulation;
- Compartimenter les mesures d'endiguement sur le territoire (c.-à-d. plusieurs lignes de protection).

Ces actions peuvent amener une perte graduelle des droits acquis, une plus grande perméabilité du sol, une diminution des débits et des superficies inondées ou une atténuation de l'étalement urbain vers les zones à risque. Même si le zonage et la réglementation constituent des mesures importantes, il ne s'agit pas d'une panacée en soi, puisqu'ils doivent être appliqués de façon incitative ou coercitive. Par exemple, une étude a démontré que le nombre de bâtiments exposés à l'érosion dans la région de Percé avait augmenté de 133 % de 1980 à 2001, et que 74 % de cette hausse était attribuable aux nouvelles constructions dans des zones à risque, malgré la mise en vigueur de règlements limitant cet étalement (Drejza *et al.*, 2011). L'incompréhension ou la non-application des règlements, un excès de confiance dans les mesures physiques pour contrer l'érosion et une prise de risque excessive de la part des propriétaires auraient contribué à cette situation. Malgré tout, un sondage réalisé en 2016 auprès de 84 municipalités a souligné que 64 % d'entre elles avaient modifié ou refusé des projets de construction en zone inondable, ou obligé dans ses règlements l'application de mesures d'immunisation applicables à de telles constructions (Valois, Jacob, *et al.*, 2017b).

De plus, une étude menée dans la région de Limbourg, aux Pays-Bas, a conclu que l'implantation de mesures de zonage limitant et régulant les constructions dans les zones inondables pourrait réduire de 25 % à 45 % les dommages des inondations en 2030 comparativement à l'année 2000 (Poussin *et al.*, 2012). Ce taux s'élevait jusqu'à 60 % lorsque ces mesures étaient combinées avec l'imperméabilisation des nouvelles constructions et l'implantation de barrières physiques autour de celles-ci. En Autriche, cette réduction combinée était plutôt estimée à environ 30 % pour les mêmes années, comparativement à une augmentation de 17 % dans le cas d'un scénario de laisser-faire (Thieken *et al.*, 2016). Même chose à Rotterdam, où des auteurs ont évalué que ces mesures contrebalanceraient l'augmentation en 2100 du risque d'inondation découlant des changements climatiques (même pour le scénario RCP8.5) (Hans de Moel *et al.*, 2014). Les auteurs d'une analyse coûts-avantages ont quant à eux estimé que l'élévation des bâtiments et la protection des infrastructures critiques constituaient les options les plus rentables pour diminuer le risque de submersion côtière à New York pour 2040 et 2080, en tenant compte de l'effet potentiel des changements climatiques (Aerts *et al.*, 2014).

La cartographie des zones à risque constitue un premier pas essentiel afin de déterminer les éléments à risque et de limiter le développement dans des zones n'étant pas considérées jusque-là comme étant à risque (Aerts *et al.*, 2011; Fraser *et al.*, 2017; Kreibich *et al.*, 2015; Pottier *et al.*, 2005). Elle forme aussi un prérequis pour déterminer les zones prioritaires d'intervention et les marges de sécurité. Le milieu municipal de l'est du Québec a d'ailleurs exprimé en 2017 un fort besoin de ce côté, en plus d'exprimer un besoin sur le plan des outils de communication et de conscientisation (Bernatchez et Marie, 2017). Une étude a démontré que la France, avec son système de cartographie des risques et d'assurance obligatoire contre les inondations, avait réussi à ralentir davantage la construction dans les zones à risque comparativement au Royaume-Uni, dont le système se fonde sur un modèle plus coopératif misant sur la conscientisation ciblée et l'émission de directives nationales (Pottier *et al.*, 2005).

Il se peut que les avantages des constructions dans certaines zones à risque surpassent les dommages potentiels des inondations, ce qui pourrait justifier une approche plus flexible (Kreibich *et al.*, 2015). Le développement pourrait aussi être redirigé vers d'autres zones à risque ou d'intérêt, telles que les terres agricoles, les milieux humides et les zones de contraintes anthropiques. Les municipalités gagneraient aussi à consulter leurs voisins et à mieux coordonner leurs mesures d'urgence. En 2017, le MSP du Québec a estimé à partir d'un sondage que 30 % des municipalités n'avaient pas d'entente avec les municipalités voisines en cas d'inondation et que les deux tiers ne possédaient pas un plan de mesures d'urgence (MSP, 2017). Par conséquent, l'affichage des coûts estimés relatifs aux aléas côtiers ou la mise sur pied d'un système de droits échangeables de développement pour les zones moins à risque constituent également une solution à la réglementation pour dissuader les projets de développement dans les milieux affectés par des aléas côtiers (Mori et Perrings, 2012; P. Ward, 2013). Puisque plusieurs municipalités rurales en milieu côtier présentent une proportion importante de personnes âgées, ces municipalités gagneraient à s'adapter aux aléas côtiers et à intégrer la démarche [Communautés amies des aînés](#) afin de mieux planifier les interventions territoriales en fonction de la vulnérabilité des personnes âgées (Krawchenko *et al.*, 2016; Manuel *et al.*, 2015; Rapaport *et al.*, 2015).

Évacuations

Les évacuations sont souvent ordonnées par les autorités publiques en cas de prévision ou de survenue d'inondations. En revanche, cette mesure d'adaptation n'est pas toujours sans conséquence, plusieurs études démontrant des effets négatifs pour les personnes évacuées comparativement aux personnes étant restées sur place. Au Royaume-Uni, les sinistrés des inondations de l'hiver 2013-2014 étant restés à leur domicile affichaient un risque de dépression moins élevé que ceux évacués (Munro *et al.*, 2017). Dans le même pays, une autre étude a conclu que l'évacuation multipliait par 6 le risque de souffrir de problèmes de santé mentale, dont la dépression, les troubles anxieux et le stress post-traumatique (Lamond *et al.*, 2015). L'intensité des effets sur la santé mentale varie également en fonction du revenu et de la durée de la séparation avec le milieu de vie, les individus à faible revenu présentant un risque accru (Lamond *et al.*, 2015; D. Lowe *et al.*, 2013; Munro *et al.*, 2017; S. Zhong *et al.*, 2018). Les refuges pour les personnes évacuées sont également propices à la propagation de maladies infectieuses (L. Brown *et al.*, 2013; McMichael, 2015).

Il est plus difficile pour les personnes à mobilité réduite ou ayant des incapacités sensorielles et cognitives d'évacuer leur domicile, de se préparer aux inondations et d'y faire face. Par conséquent, un risque de blessure et de mortalité important est observé chez les personnes âgées pendant ou après l'évacuation (Gamble *et al.*, 2013; R. Thompson *et al.*, 2017; Willoughby *et al.*, 2017). Ces conséquences sanitaires devraient ainsi être prises en compte lorsque les instances publiques doivent décider si l'évacuation est la solution la plus optimale ou non. Si oui, il importe de tenir

compte du moment de l'annonce. Une étude a démontré que les personnes ne recevant pas d'avis d'évacuation lors d'inondations ou le recevant moins de 12 heures avant l'événement présentaient un état de détresse psychologique plus important (Munro *et al.*, 2017).

Mesures financières et assurances

Au Canada, les propriétaires ne peuvent pas souscrire à une assurance contre les dommages causés par des inondations, les gouvernements préférant des programmes d'aide financière (Sandink *et al.*, 2010). Les mesures incitatives financières sont primordiales pour encourager l'adaptation à l'échelle individuelle étant donné que les individus exposés peuvent être conscients du risque sans avoir les moyens de s'y adapter (Poussin *et al.*, 2014; Wachinger *et al.*, 2013). Par exemple, un sondage effectué au Québec a mis en lumière qu'une majorité de personnes habitant en zones inondables croyait que des mesures physiques (p. ex., imperméabilisation, élévation, etc.) les aideraient à se protéger contre de futurs dommages, mais que les contraintes financières et le stress liés aux travaux les empêchaient de les mettre en œuvre (Valois, Renaud, *et al.*, 2017). Les programmes d'aide à cet égard devraient ainsi être modulés de façon à alléger le fardeau financier des ménages plus défavorisés et plus exposés. L'octroi d'une aide financière lors de sinistres pourrait être conditionnel à l'adoption de mesures de gestion des risques d'inondation afin de susciter l'action, tout en tenant compte de la capacité de chaque milieu (Stevens et Hanschka, 2014). Un sondage effectué auprès de 1 576 sinistrés des inondations survenues au Québec en 2019 a indiqué que seulement environ 41 % estimaient avoir reçu une aide financière couvrant plus de la moitié des pertes matérielles subies (Généreux *et al.*, 2020). La prévalence de troubles mentaux chez les personnes dont le soutien financier couvrait moins de la moitié des frais était de 56 % comparativement à 34 % chez les personnes dont l'aide financière couvrait la totalité ou la majorité des frais.

L'assurance contre les dommages causés par des inondations pourrait venir appuyer des mesures gouvernementales plus structurelles, puisqu'elle présente plusieurs avantages, dont la rapidité de traitement de dossiers à partir de méthodes bien établies pour l'évaluation et le paiement des réclamations d'assurance (Sandink *et al.*, 2010). En revanche, ce type d'assurance peut inciter les personnes assurées à adopter des comportements plus à risque ou à moins se protéger. Il s'agit également d'une option inabordable pour certains ménages à faible revenu qui pourraient représenter un risque plus élevé pour les compagnies d'assurance. Pour diminuer ce risque d'antisélection, la mise en œuvre d'une assurance (publique ou privée) contre les inondations pourrait être envisagée, combinée à son obtention obligatoire par les propriétaires ou encore à son intégration aux polices d'assurance habitation couvrant d'autres risques (comme les incendies et les vols), sans oublier l'exclusion des propriétaires les plus à risque (Aerts *et al.*, 2011; Sandink *et al.*, 2010). La modulation des primes d'assurance en fonction des mesures de protection mises en œuvre inciterait aussi les personnes assurées à se protéger davantage (Botzen *et al.*, 2009; Kreibich *et al.*, 2015). Dans tous les cas, la simplification des procédures de réclamation d'assurance est souhaitable pour y faciliter l'accès et raccourcir les périodes d'insécurité, particulièrement pour les personnes à faible revenu ou avec un faible niveau de scolarité (Foudi *et al.*, 2017).

Évaluation des mesures d'adaptation

L'évaluation de l'efficacité des mesures d'adaptation aux inondations, aux submersions côtières et à l'érosion côtière en santé n'a pas été effectuée dans un contexte canadien et très peu à l'international (Burton *et al.*, 2016). Des évaluations économiques ont néanmoins été réalisées au Québec. Plusieurs études d'impacts et coûts-avantages des options d'adaptation en zone côtière ont amené le gouvernement provincial et les municipalités à implanter sur tout l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent un programme pour s'y adapter (Bernatchez *et al.*, 2015; Circé *et al.*, 2016). Ce programme inclut une réglementation et des normes de construction plus strictes, des

indemnisations et des déménagements. Les mesures prises par les municipalités et les provinces demeurent encore majoritairement de nature réactive plutôt que proactive, bien qu'une tendance inverse commence à se dessiner (Burton *et al.*, 2016; Hurlbert et Gupta, 2016; Manuel *et al.*, 2015). Néanmoins, certaines mesures d'adaptation ne seraient pas avantageuses puisque leurs coûts pourraient excéder les bénéfices, surtout dans les zones où les dommages potentiels et la probabilité d'occurrence sont relativement faibles. Pour être en mesure de mieux évaluer les coûts et les bénéfices, le site [Prévention Inondation](#) et le [Programme national d'atténuation des catastrophes](#) du gouvernement du Canada, de même que des organismes tels que [FloodSmart Canada](#), soutiennent les individus, les entreprises et le secteur public en leur donnant des informations détaillées afin d'optimiser les investissements en matière d'adaptation aux aléas côtiers (Gouvernement du Canada, 2019; Sécurité publique Canada, 2019b).

L'évaluation et la priorisation des interventions devraient tenir compte non seulement de l'exposition, mais également de la sensibilité et de la capacité à s'adapter des populations exposées (Lane *et al.*, 2013; D. Lowe *et al.*, 2013; Manuel *et al.*, 2015; Rapaport *et al.*, 2015). L'évaluation et la cartographie des risques côtiers et leur mise à jour pour tenir compte des tendances climatiques sont également essentielles afin de mieux cibler les interventions. Au Canada, cette cartographie date du 20^e siècle (Henstra et Thistlethwaite, 2018). Au Québec, une mise à jour des zones inondables est planifiée (MSP, 2018d). Finalement, l'évaluation du risque gagnerait à prendre en considération les effets des changements climatiques sur la hausse du niveau de la mer ainsi que sur la fréquence, l'intensité et la temporalité des inondations, des submersions côtières et de l'érosion côtière (Bedsworth et Hanak, 2010). Il faut noter qu'il existe des outils d'aide à la décision pour la priorisation et l'implantation de mesures d'adaptation pour l'érosion côtière et la submersion côtière (Gargiulo *et al.*, 2020).

6.4.3 LES MESURES PHYSIQUES D'ADAPTATION AUX INONDATIONS, AUX SUBMERSIONS CÔTIÈRES ET À L'ÉROSION CÔTIÈRE

Environnement bâti et verdissement

L'environnement bâti peut diminuer les risques d'inondation et de refoulement de conduites ou d'égouts. Les certifications vertes pour la construction de bâtiments et l'aménagement de quartiers, telles que LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), de même que des mesures de gestion des eaux pluviales, comme les bassins de rétention et la perméabilisation du milieu urbain, permettent de diminuer ces risques en réduisant la charge du système d'assainissement des eaux et en favorisant l'absorption des eaux pluviales (Houghton et Castillo-Salgado, 2017).

L'imperméabilisation des sols (c.-à-d. l'utilisation de matériaux non perméables et de surfaces non poreuses, comme le béton et l'asphalte) élève particulièrement le risque d'inondation et de refoulement d'égouts dans les milieux urbains (Lennon *et al.*, 2014). Une étude a démontré que des scénarios d'imperméabilisation modérée et intense du sol urbain pourront augmenter respectivement de 2 et de 4 fois le risque d'inondation ou de refoulement d'égouts, sans même tenir compte des changements climatiques (Zimmermann *et al.*, 2016). Une augmentation de la perméabilisation des sols, entre autres par l'intermédiaire de mesures de verdissement, pourrait stabiliser ou réduire ces risques (Farrugia *et al.*, 2013; Lennon *et al.*, 2014; Zimmermann *et al.*, 2016). La végétalisation des berges, la restauration des milieux naturels, la préservation des milieux humides et la reforestation des bassins versants sont également un excellent moyen pour atténuer l'effet des inondations et de l'érosion côtière (Borchert *et al.*, 2018; Dixon *et al.*, 2016; Twilley *et al.*, 2016). Par exemple, la reforestation de 20 à 40 % des berges pourrait aussi réduire la magnitude du débit de pointe de la rivière jusqu'à 19 %, alors qu'un pourcentage de 10 à 15 % pourrait l'abaisser jusqu'à 6 % (Dixon *et al.*, 2016). De plus, la végétalisation des berges ralentit l'érosion et la perte de valeur foncière en enracinant la terre et en amenuisant la force des vagues (Moudrak *et al.*, 2018).

Sur le plan de la structure des bâtiments, l'étanchéification (*wet-proofing*) et l'implantation de barrières physiques (*dry-proofing*) s'avèrent particulièrement efficaces (Kreibich *et al.*, 2015). L'imperméabilisation comprend des mesures telles que le renforcement des murs contre la pression de l'eau, l'utilisation de matériaux à l'épreuve de l'eau, l'installation de valves ou de pompes à sens unique et l'entreposage d'items vulnérables à l'eau au premier ou au deuxième étage. Les barrières physiques incluent plutôt les sacs de sable autour de la maison, le placardage des portes et des fenêtres, et un batardeau (c.-à-d. un barrage temporaire). Ces dernières cherchent à diminuer l'infiltration d'eau, alors que l'imperméabilisation vise à diminuer les dégâts si l'eau s'infiltré dans le bâtiment. Généralement, les mesures visant à limiter l'infiltration obtiennent de meilleurs résultats pour réduire le risque d'inondation. Selon quelques études menées en Europe, la réduction du risque varierait de 10 à 30 % pour l'imperméabilisation contre 15 à 60 % pour les barrières physiques (Aerts *et al.*, 2013; H de Moel *et al.*, 2012; Hans de Moel *et al.*, 2014; Kreibich *et al.*, 2015; Poussin *et al.*, 2012). L'efficacité de ces mesures s'accroît avec la profondeur des inondations et s'amenuise lorsqu'elles sont généralisées.

Système de canalisation et d'égouts

Au Canada, la clarification des libellés du [Code national du bâtiment](#) qui concernent le nivellement des sites, les systèmes de refoulement et les raccordements de drainage des fondations aux réseaux d'égouts sanitaires pourraient également pousser les propriétaires et les constructeurs à installer des clapets antirefoulement pour diminuer les risques de refoulement des égouts (Sandink, 2013). Pour le milieu municipal, le niveau d'infiltration et de captage d'eau des égouts sanitaires est aussi à surveiller. Les eaux pluviales et les égouts sanitaires sont souvent gérés séparément au Canada, alors qu'une intégration des deux systèmes optimiserait leur efficacité pour limiter ce type d'événement (Kesik, 2015). L'ingénierie actuelle permet d'avoir des égouts étanches avec un rendement positif sur le cycle de vie en comparaison avec les autres approches à court terme, mais la gestion intégrée des eaux pluviales et usées reste encore l'exception plutôt que la règle (Robinson *et al.*, 2019).

Les problèmes d'infiltration et de captage d'eau émergent souvent des terrains privés. Des inspections régulières de ces terrains devraient être effectuées pour mesurer et minimiser le problème (Robinson *et al.*, 2019). Pour s'assurer de la conformité de ces structures, les municipalités peuvent imposer aux propriétaires privés des mesures comme l'obligation d'entretenir les raccordements aux égouts et la participation financière aux travaux de réparation, en plus de formuler des exigences en lien avec le bon état du réseau d'égout et de la gestion de l'eau lors de la rénovation, du redéveloppement ou de la vente. Pour maximiser le respect de ces règles, un soutien financier, un arrimage avec les systèmes administratifs actuels (p. ex., permis de construction, rôle d'évaluation, etc.), de fortes dispositions d'exécution (p. ex., vérifications régulières, amendes, etc.) ainsi qu'une clarification des objectifs, des droits d'intervention de la municipalité et des juridictions devraient accompagner ces obligations réglementaires (Kyriazis *et al.*, 2017).

Mesures pour contrer l'érosion côtière

L'enrochement et les murs de soutènement sont les principales mesures d'adaptation mises en place pour contrer l'érosion côtière et les submersions côtières au Québec. Des ouvrages de protection longent 10,5 % du littoral du Québec maritime (c.-à-d. l'est du Québec) en date de 2013 (Bernatchez, 2015). En revanche, bien que ces ouvrages réduisent localement l'érosion, ces mesures aggravent l'érosion côtière dans les secteurs adjacents et accélèrent la dégradation de la plage et de l'écosystème riverain (Bernatchez, 2015; MSP, 2018b, 2018c). Par conséquent, ces solutions ne peuvent qu'être temporaires au risque d'accroître les dommages causés à moyen et à long termes par ces aléas. La recharge de sable et la végétalisation des milieux côtiers concordent davantage avec une vision durable de la gestion des risques et constituent des mesures dont l'efficacité a été démontrée (MSP, 2018b, 2018c).

Déménagement

L'évacuation permanente, soit le déménagement, peut aussi être envisagée comme mesure de prévention. Un déménagement forcé, en particulier à la suite de dommages subis lors d'un EME, cause des impacts psychologiques plus importants que les déménagements volontaires ou incités (Siriwardhana et Stewart, 2013). Les impacts sanitaires de ces déménagements permanents en dehors d'une zone à risque, qu'ils soient volontaires ou forcés, seront plus importants pour les personnes ayant un fort sentiment d'appartenance au milieu et à la communauté ou dont le réseau social local est considérable (D. Lowe *et al.*, 2013; Munro *et al.*, 2017; Uscher-Pines, 2009). De plus, la stabilité d'emploi et les coûts associés au déménagement représentent des enjeux importants pour la vulnérabilité des personnes à plus faible revenu. Les ménages intergénérationnels de grande taille peuvent également complexifier le déménagement en raison de la variété des besoins à combler et des impacts potentiels (Hung *et al.*, 2016). Un déménagement dans la même communauté limite les conséquences sociales, alors qu'un soutien financier du secteur public pour les moins fortunés atténue les conséquences pour cette tranche vulnérable de la population.

Dans la région de La Mitis, au Québec, où des submersions majeures ont eu lieu en 2011, le gouvernement a assumé les frais de déménagement des résidents des zones exposées aux submersions ou à l'érosion côtières vers un secteur à proximité spécialement construit à cet effet, avec un programme d'accompagnement des citoyens géré par les autorités municipales (Radio-Canada, 2018). Plus généralement, le MSP offre une aide financière pour les personnes souhaitant quitter une zone à risque, mais l'effet incitatif de cette mesure n'a pas été étudié (MSP, 2018a).

7 Pollution de l'air ambiant

7.1 Les effets des changements climatiques sur les tendances et les projections de la pollution de l'air ambiant

Les conditions météorologiques peuvent affecter la qualité de l'air ambiant¹⁷ de plusieurs façons. Ces conditions comprennent entre autres (Andersson et Engardt, 2010; Fiore *et al.*, 2015; X.-M. Hu, 2015; J. L. Peel *et al.*, 2013; Silva *et al.*, 2017; von Schneidmesser *et al.*, 2015) :

- Les vents, les précipitations et l'humidité, qui influencent la dispersion et la suspension des polluants atmosphériques (p. ex., une réduction des précipitations diminue la rétention au sol des particules fines de 2,5 microns ou moins [PM_{2,5}]);
- La chaleur et le rayonnement solaire, qui augmentent le taux de réaction photochimique de certains précurseurs de polluants atmosphériques (p. ex., la chaleur favorise la transformation des NO_x et des composés organiques volatils [COV] en ozone);
- Les incendies de forêt, dont l'intensité et la fréquence découlent largement de variables climatiques et qui propulsent dans l'air une quantité importante de polluants atmosphériques;
- La chaleur, l'humidité et le couvert nuageux, qui affectent les émissions biogéniques (p. ex., décomposition des matières organiques, cycle du carbone, émissions de précurseurs de polluants atmosphériques comme l'isoprène);
- La foudre, qui peut produire certains polluants atmosphériques, comme certains composés d'azote;
- Le réchauffement des températures et les changements dans les régimes de précipitations, qui peuvent modifier les émissions biogéniques du sol et des écosystèmes terrestres;
- Certains procédés naturels de retrait des polluants atmosphériques pouvant être affectés (p. ex., la croissance ou la mort d'arbres, le brassage des eaux ou la survie des tourbières);
- Le climat, qui influence le transfert d'ozone entre la stratosphère et la troposphère;
- Les sécheresses, qui augmentent les concentrations de poussières dans l'air.

Les changements climatiques affectent donc les concentrations de plusieurs polluants atmosphériques. Bien que d'autres polluants, comme les composés d'azote, varient vraisemblablement en fonction des changements climatiques, la recherche scientifique semble indiquer qu'ils influencent principalement les concentrations de particules fines (ou ultrafines) et d'ozone (Kinney, 2018; Orru *et al.*, 2017; J. L. Peel *et al.*, 2013; Silva *et al.*, 2017). Cela, jumelé à l'incertitude de l'effet des changements climatiques sur les autres polluants, explique pourquoi cette section se concentre sur les particules fines et l'ozone.

Les particules fines sont des particules microscopiques, solides et liquides, composées de plusieurs éléments chimiques tels que des sels (nitrates, sulfates, carbonates, etc.), des composés organiques (oxydes ou hydrocarbures, etc.), des métaux lourds et du carbone. Elles peuvent provenir de sources naturelle (p. ex., érosion éolienne, incendies de forêt) ou anthropique (p. ex., véhicules automobiles, usines). Il importe de considérer leur diamètre, puisqu'il sera plus facile pour les particules de petite taille de pénétrer dans les poumons et d'être remises en suspension. Les études traitent souvent des

¹⁷ Dans cette section, les polluants de l'air ambiant comprennent autant les polluants de l'air extérieur que de l'air intérieur, même si le terme peut être utilisé seulement pour les uns ou les autres. Le terme « polluants atmosphériques » désigne uniquement les polluants extérieurs lorsqu'il est employé.

particules fines de 2,5 microns (PM_{2,5}), parfois de 10 microns (PM₁₀), soit une taille plusieurs fois plus petite qu'un cheveu humain. Les particules ultrafines (PM_{0,1}), également analysées à l'occasion, sont tellement minuscules qu'elles agissent comme des gaz.

Quant à l'ozone (O₃), il s'agit d'un gaz dont les molécules sont formées de 3 atomes d'oxygène. L'ozone est un polluant secondaire, c'est-à-dire qu'il n'est pas émis directement dans l'environnement et se forme plutôt à travers des réactions photochimiques avec d'autres polluants, en particulier les NO_x et les COV. La chaleur et les UV favorisent ces réactions photochimiques, d'où l'effet potentiel du réchauffement des températures sur les concentrations d'ozone (J. Kelly *et al.*, 2012; Rasmussen *et al.*, 2013). Alors que l'ozone stratosphérique protège des rayons nocifs du soleil à haute altitude, l'ozone troposphérique près du sol peut être nuisible à la santé et devenir un des principaux composants du smog.

7.1.1 CONCENTRATIONS D'OZONE ET DE PARTICULES FINES

Selon les scénarios de changements climatiques (voir section 1.2.1 **Scénarios climatiques**), le réchauffement des températures accroît la formation d'ozone en été dans les milieux urbains, surtout pour le scénario RCP8.5, alors que les concentrations d'ozone pourraient être réduites dans les milieux éloignés en raison d'une augmentation des concentrations de vapeurs d'eau (Fiore *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2017; von Schneidmesser *et al.*, 2015). Les effets des changements climatiques sur les particules fines restent plus ambigus. Les concentrations pourraient diminuer, mais elles pourraient aussi devenir plus facilement respirables en accroissant les quantités suspendues (Fiore *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2017; von Schneidmesser *et al.*, 2015). Les scénarios d'émissions plus modérées (p. ex., RCP4.5) affichent des effets encore plus incertains sur les concentrations de polluants atmosphériques. D'autres procédés biochimiques, de même que les variations incertaines dans les vents et la pression atmosphérique, pourraient aussi influencer les concentrations de ces deux polluants.

Dans le sud du Québec, 2 études ont conclu que les concentrations estivales de PM_{2,5} pourraient passer de 0,1 à 1 microgramme par mètre cubique d'air (µg/m³) à une concentration de base approximative de 2 à 5 µg/m³ en 2050 et en 2100 (RCP8.5) (J. Kelly *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2017). Pour l'ozone, les concentrations estivales pourraient s'accroître de 0,2 à 4 parties par milliard (ppb) dans le Québec méridional pour les mêmes années d'une concentration de base variant grossièrement de 10 à 40 ppb au début du siècle. Cette tendance va en continuité avec la hausse des concentrations d'ozone observée dans les centres urbains québécois de 1990 à 2009 (Lebel *et al.*, 2012). Le reste du Québec, principalement les régions rurales et périurbaines, pourrait toutefois bénéficier d'une diminution ou d'une stagnation de leurs concentrations d'ozone et de particules fines, d'autant plus que les concentrations d'ozone sont généralement plus élevées en milieu périurbain ou rural en raison du transport des polluants (Safieddine *et al.*, 2013). L'effet dans le nord du Québec reste à évaluer. Ces évaluations n'incluent pas les polluants atmosphériques émis par les incendies de forêt (voir section 9 **Incendies de forêt**).

7.1.2 MILIEU INTÉRIEUR ET COMPORTEMENTS

Les concentrations de polluants extérieurs pourront aussi infiltrer les bâtiments et influencer la QAI, entre autres en réagissant avec d'autres polluants (Poulin *et al.*, 2016). D'un autre côté, le réchauffement moyen des températures pourrait réduire la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur, et diminuer ainsi l'infiltration passive de contaminants à l'intérieur sur une année, alors que le taux d'infiltration pourrait augmenter lors des mois estivaux, surtout lors de températures autour des seuils de chaleurs extrêmes. Une étude menée dans 9 régions métropolitaines états-uniennes a indiqué que les échanges d'air pourraient être réduits de 5 % globalement, mais être

augmentés de 20 à 30 % pendant l'été (Ilacqua *et al.*, 2017). Par conséquent, l'exposition aux polluants intérieurs augmenterait en dehors des mois hivernaux, alors que l'exposition aux polluants extérieurs, ou en provenance de l'extérieur, prévaudrait en période estivale. De plus, les EME pourraient affecter l'intégrité des bâtiments touchés, accélérer leur usure et réduire leur étanchéité ou leur capacité à filtrer les polluants à plus long terme (Poulin *et al.*, 2016).

Le réchauffement des températures aura aussi un effet sur les comportements des individus et ainsi sur l'exposition aux polluants. L'augmentation des chaleurs et des précipitations extrêmes pourrait augmenter le temps passé à l'intérieur et accroître l'utilisation de la ventilation et de la climatisation (Zivin *et al.*, 2014). L'exposition aux polluants extérieurs diminuerait dans le cas où la climatisation ou la ventilation intérieure serait combinée à la fermeture des fenêtres, mais l'inverse surviendrait si les fenêtres demeuraient ouvertes (Poulin *et al.*, 2016). L'effet des EME sur le temps passé à l'intérieur sera compensé partiellement ou complètement par une augmentation annuelle des jours de températures clémentes. Lors de ces journées, les individus pourraient alors accroître leur temps passé à l'extérieur et, conséquemment, leur exposition aux polluants extérieurs.

7.1.3 EFFETS NETS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR L'EXPOSITION AUX POLLUANTS DE L'AIR AMBIANT

En plus de l'effet des changements climatiques sur les quantités et la disponibilité des polluants de l'air ambiant, l'effet net sur la qualité de l'air dépendra aussi largement de plusieurs facteurs anthropiques, particulièrement la croissance démographique, la quantité d'émissions anthropogéniques de polluants atmosphériques ou de précurseurs, les changements dans l'utilisation du sol et les comportements préventifs ainsi que la qualité du milieu bâti. Le niveau d'exposition et la composition de la pollution de l'air varieront en fonction du milieu (voir section 7.3 **Les populations à risque par rapport à la pollution de l'air ambiant**). Une augmentation des concentrations d'ozone pourrait être compensée par une diminution des concentrations de NO_x ou de COV, puisque le premier doit réagir avec les deuxièmes pour se former (Jhun *et al.*, 2015; Melkonyan et Kuttler, 2012; Rasmussen *et al.*, 2013; Roberts–Semple *et al.*, 2012).

En somme, dans un scénario de croissance et d'émissions continues, les changements climatiques pourraient diminuer la qualité de l'air en été, principalement dans les milieux urbains, mais l'inverse pourrait survenir, particulièrement dans les cas où les émissions seraient substantiellement réduites. C'est pour cette raison que les épisodes de smog ont diminué depuis les années 2000. Dans tous les cas, l'augmentation du nombre de chaleurs extrêmes pourrait accroître les pics estivaux de polluants atmosphériques, puisque les concentrations maximales d'ozone et de particules fines concordent généralement avec les températures maximales dans l'est de l'Amérique du Nord, en particulier au cours de vagues de chaleur (Schnell et Prather, 2017). Les concentrations d'ozone peuvent alors s'accroître de 7 ppb, et celles des particules fines de 6 µg/m³ à ces périodes (Schnell *et al.*, 2017). La réduction des jours de froid pourrait toutefois diminuer les pics en hiver en réduisant l'utilisation des poêles à bois et des foyers de même que la rétention des polluants atmosphériques au sol. L'air froid étant plus lourd que l'air chaud, il piège donc les polluants en basse altitude. Les épisodes de smog hivernal pourraient ainsi être moins fréquents.

7.2 Les effets de la pollution de l'air ambiant sur la santé

Comme précédemment mentionné, les informations présentées dans les prochaines sections se concentreront principalement sur l'ozone et les particules fines, puisque les changements climatiques affecteraient principalement ces deux polluants. Au Québec, le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) juge que la valeur de référence au-delà de laquelle la qualité de l'air est considérée comme mauvaise est de 35 µg/m³ pour les PM_{2,5} (MELCC, s. d.-b). Pour l'ozone, une concentration moyenne horaire de 82 ppb définit une mauvaise qualité de l'air. Malgré ces valeurs seuils utilisées, il n'y aurait pas de seuil de concentration en dessous duquel ces polluants atmosphériques n'engendreraient pas d'effets sanitaires (F. J. Kelly et Fussell, 2015; K.-H. Kim *et al.*, 2015; WHO, 2013a). Par conséquent, même si la qualité de l'air est qualifiée de « bonne », certains individus plus sensibles peuvent être affectés par la pollution de l'air. Du même fait, toute hausse des concentrations aura un impact négatif sur la santé de la population. Les études sur les effets des polluants atmosphériques sur la santé ne prennent généralement pas en considération les comportements préventifs adoptés par les individus lors d'avertissements de mauvaise qualité de l'air, tels que le confinement au domicile (K.-H. Kim *et al.*, 2015; Neidell, 2009; Semenza *et al.*, 2008). Les individus pourraient également ajuster leur comportement en fonction du niveau de qualité de l'air perçu plutôt que réel (Atari *et al.*, 2009; F. J. Kelly *et al.*, 2015; J. G. Lu, 2020; Semenza *et al.*, 2008). Ces éléments pourraient biaiser les résultats observés sur la santé.

7.2.1 EFFETS GÉNÉRAUX

Mortalité

Les impacts des polluants atmosphériques sur la santé ont été largement étudiés. Les polluants atmosphériques agissent de plusieurs façons sur le corps humain. Entre autres, ils accroissent l'inflammation et le stress oxydatif du système respiratoire – et du corps plus généralement –, en plus de modifier les fonctions immunitaires et la barrière hémato-encéphalique (Calderón-Garcidueñas *et al.*, 2008; E. M. Thomson *et al.*, 2013; Vawda *et al.*, 2014; Z. Yan *et al.*, 2016). Santé Canada estime à 14 600 le nombre annuel de décès prématurés liés à la pollution atmosphérique de sources anthropiques au Canada (Santé Canada, 2019a). Ce nombre varierait autour de 3 800 au Québec (Santé Canada, 2019a). Les auteurs d'une étude de cohorte populationnelle incluant 2,5 millions de Canadiens ont rapporté que le risque de mortalité non accidentelle était de 3,5 % (HR¹⁸, IC 95 % : 1,029 – 1,041) et de 3,1 % (HR, IC 95 % : 1,026 – 1,036) pour chaque augmentation de 5 µg/m³ de PM_{2,5} et de 9,5 ppb d'ozone de la concentration moyenne annuelle sur 7 ans (Crouse *et al.*, 2015). Le risque de mortalité reliée aux PM_{2,5} s'élèverait en fonction de la durée et de la proximité de l'exposition. Dans une autre étude canadienne, des auteurs ont estimé que le risque de mortalité était 2 fois plus élevé en tenant compte de l'exposition sur 8 ans plutôt que sur l'année (Crouse *et al.*, 2020).

Dans le même ordre d'idée, des auteurs ont estimé que chaque augmentation de 10 µg/m³ était reliée à un risque accru de 15 % de décéder de causes non accidentelles (HR, IC 95 % : 1,13 – 1,16) et de 31 % de décéder d'une maladie cardiaque ischémique (HR, IC 95 % : 1,27 – 1,35) pour la période 1991-2001 (Crouse *et al.*, 2012). Des concentrations aussi basses que 5 µg/m³ ont aussi été associées à une augmentation du taux de mortalité liée au diabète à travers le Canada pour la même période (HR : 1,49; IC 95 % : 1,37 – 1,62) (Brook *et al.*, 2013). Cependant, les auteurs d'une étude de cohorte populationnelle n'ont trouvé aucune association entre l'exposition à long terme aux PM_{2,5} et à l'ozone et la mortalité respiratoire, à l'exception de la mortalité découlant d'un cancer du poumon, de la trachée ou des bronches pour les PM_{2,5} (Crouse *et al.*, 2015). Dans ce dernier cas, le risque de

¹⁸ Hazard ratio.

mortalité associée aux cancers d'une des composantes du système respiratoire s'accroissait de 3,8 % (HR, IC 95 % : 1,01 – 1,07) pour chaque incrément de 5 µg/m³ de PM_{2,5}, en ajustant pour les concentrations d'ozone et de dioxyde d'azote. À l'inverse, l'ozone seul n'aurait pas d'effet sur le cancer du poumon, selon deux études réalisées au Canada (Cakmak *et al.*, 2018; Crouse *et al.*, 2015). Les concentrations combinées de PM_{2,5} et d'ozone affectaient le risque de décéder d'un cancer du poumon, et davantage que les concentrations seules de PM_{2,5} (Cakmak *et al.*, 2018; Crouse *et al.*, 2015). L'association serait d'ailleurs plus forte dans le sud du Québec que dans les autres régions climatiques au pays, et parmi les plus élevées pour le risque de décéder d'une maladie cardiaque ischémique (Cakmak *et al.*, 2018).

Plusieurs autres études canadiennes et québécoises ont répertorié les effets des particules fines et de l'ozone sur la santé de sous-groupes de populations à risque (voir section 7.3 **Les populations à risque par rapport à la pollution de l'air ambiant**). Sinon, aux États-Unis, de 3,5 à 10 % des décès sont attribuables aux PM_{2,5} et à l'ozone dans les villes les plus peuplées (Fann *et al.*, 2012). En Europe, des chercheurs ont estimé qu'une augmentation de 5 µg/m³ de la concentration de particules fines menait à une hausse de 7 % du risque de mortalité (Beelen *et al.*, 2014).

Problèmes physiques

Une exposition à court et, surtout, à long termes aux particules fines et à l'ozone est associée au développement de maladies respiratoires et cardiovasculaires et à leur aggravation, aux allergies, à une diminution de la capacité pulmonaire et aux hospitalisations pour causes respiratoires et cardiovasculaires (et toutes causes non accidentelles) (Beelen *et al.*, 2014; F. J. Kelly *et al.*, 2015; K.-H. Kim *et al.*, 2015; Pappin *et al.*, 2016; Teng *et al.*, 2014; To *et al.*, 2015; WHO, 2013a). L'exposition aux polluants de l'air ambiant peut causer des difficultés respiratoires et exacerber les symptômes allergiques ou asthmatiques des personnes atteintes. Par exemple, une étude menée en Ontario a indiqué que les personnes exposées à de grandes concentrations de PM_{2,5} et d'ozone affichaient un risque 3 fois plus élevé de développer de l'asthme accompagné d'une maladie pulmonaire obstructive chronique (MPOC) en comparaison avec les individus asthmatiques les moins exposés (To *et al.*, 2016).

Une méta-analyse a démontré que les PM_{2,5} élevaient de 2,1 % (RR, IC 95 % : 1,4 – 2,8) et de 1,6 % (RR, IC 95 % : 1,2 – 2,1) le nombre d'hospitalisations et de décès en lien avec l'insuffisance cardiaque pour chaque augmentation de 10 µg/m³ (A. S. Shah *et al.*, 2013). Les auteurs de cette méta-analyse ont estimé qu'une réduction moyenne de 3,9 µg/m³ des PM_{2,5} préviendrait annuellement 7 978 hospitalisations pour insuffisance cardiaque aux États-Unis (A. S. Shah *et al.*, 2013). Les auteurs n'ont décelé aucune association pour l'ozone. Une autre méta-analyse comprenant les données de 28 pays a conclu que chaque augmentation de 10 µg/m³ de PM_{2,5} et de PM₁₀ dans un délai de 7 jours augmentait le risque d'être hospitalisé pour un infarctus ou d'en décéder de 1,1 % (RR, IC 95 % : 1,011 – 1,012) et de 0,3 % (RR, IC 95 % : 1,002 – 1,004), respectivement (A. S. V. Shah *et al.*, 2015). Pour l'ozone, le pourcentage chutait à 0,1 % (RR, IC 95 % : 1,000 – 1,002). Des résultats similairement faibles ont été retrouvés pour l'ozone et les hospitalisations reliées aux maladies cardiovasculaires et cérébrovasculaires jusqu'à 24 heures après l'exposition dans une étude canadienne couvrant la période 1996-2012 (Shin *et al.*, 2018). L'ozone et les particules fines augmentaient aussi la prévalence de diabète et d'hypertension (H. Chen, Burnett, *et al.*, 2016; H. Chen *et al.*, 2014; K.-H. Kim *et al.*, 2015). Une étude réalisée au Québec a quant à elle démontré un lien entre l'exposition aux particules fines et les maladies rhumatismales auto-immunes systémiques (MRAS) (Bernatsky *et al.*, 2016).

Les particules fines, principalement les $PM_{2,5}$, sont reconnues pour augmenter le risque de cancer du poumon. Le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) considère les $PM_{2,5}$, et la pollution atmosphérique plus généralement, comme étant cancérigènes, selon les preuves scientifiques répertoriées pour le cancer du poumon (Straif *et al.*, 2013). Dans une étude canadienne, les auteurs ont estimé que le risque de développer un cancer du poumon augmentait de 9 % par incrément de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $PM_{2,5}$ (RR, IC 95 % : 1,06 – 1,12) (Gogna *et al.*, 2019). En 2015, 6,9 % des cas de cancer du poumon (1 739 au total) au Canada auraient été attribuables aux $PM_{2,5}$ pour une exposition moyenne dans la population de $8,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Gogna *et al.*, 2019). En Europe, une méta-analyse a conclu que les $PM_{2,5}$ et les PM_{10} augmentaient de 18 % et de 22 % le risque de cancer du poumon pour chaque incrément de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivement, soit un risque beaucoup plus élevé que celui relevé au Canada (Crouse *et al.*, 2015; Raaschou-Nielsen *et al.*, 2013). Certaines études ont également suggéré de possibles associations avec les cancers du rein et de la vessie ainsi que la leucémie, bien que les liens avec d'autres cancers, comme les cancers du sein, de la prostate et du cerveau, soient inconcluants (E.-A. Kim, 2017; Schraufnagel *et al.*, 2019; M. C. Turner *et al.*, 2017; A. J. White *et al.*, 2018). Ils ne sont d'ailleurs pas reconnus comme des effets des polluants de l'air ambiant par le CIRC. L'ozone pourrait également contribuer au développement du cancer du poumon, mais les preuves scientifiques actuelles ne permettent pas de le prouver (Valavanidis *et al.*, 2013).

Les polluants de l'air ambiant pourraient aussi affecter négativement la structure du cerveau, entre autres en diminuant la substance blanche ou en provoquant une inflammation et une dégénérescence neuronale (Babadjouni *et al.*, 2017; Calderón-Garcidueñas *et al.*, 2008). Plusieurs études ont suggéré que l'exposition prolongée (pendant plusieurs années) à la pollution de l'air pourrait augmenter le risque de développement précoce de maladies neurodégénératives telles que la démence, la maladie d'Alzheimer et la maladie de Parkinson (Calderón-Garcidueñas *et al.*, 2008; Kilian et Kitazawa, 2018; Moulton et Yang, 2012; R. Peters *et al.*, 2019; M. C. Power *et al.*, 2016). Une méta-analyse a démontré que chaque augmentation de 1 ppb d'ozone augmentait en moyenne de 1 % le risque de développer la maladie de Parkinson, la relation pour les $PM_{2,5}$ étant moins concluante (C.-Y. Hu *et al.*, 2019). Une étude réalisée en Ontario a toutefois estimé que les particules fines augmentaient le risque de souffrir de démence chez les personnes âgées, mais pas l'ozone (H. Chen *et al.*, 2017).

Les auteurs d'une autre méta-analyse ont estimé que les risques de développer de la démence et la maladie d'Alzheimer étaient multipliés par 3,3 (HR, IC 95 % : 1,2 – 5,3) et 4,8 fois (HR, IC 95 % : 2,3 – 7,4) respectivement par incrément de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $PM_{2,5}$ (Tsai *et al.*, 2019). Les TSA, les troubles déficitaires de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH), de même que la schizophrénie étaient aussi associés à l'exposition aux particules fines et à l'ozone, mais les résultats s'avéraient moins concluants en raison de la qualité et de la quantité limitées des études sur le sujet ainsi que de leur hétérogénéité (Donzelli *et al.*, 2020; Flores-Pajot *et al.*, 2016; Fordyce *et al.*, 2018; J. G. Lu, 2020; Morales-Suárez-Varela *et al.*, 2017).

Santé périnatale

Les polluants atmosphériques influencent également la santé périnatale. Une analyse de 818 400 naissances en Ontario a démontré que les concentrations d'ozone et de $PM_{2,5}$ accroissaient le risque de naissance prématurée, particulièrement chez les femmes avec certaines maladies préexistantes comme le diabète, l'asthme et la prééclampsie (É. Lavigne *et al.*, 2016). Toujours en Ontario, des auteurs ont associé l'exposition aux $PM_{2,5}$ pendant le premier trimestre et la première année d'existence avec l'astrocytome (forme de tumeur au cerveau), mais pas avec la leucémie (É. Lavigne, Bélair, *et al.*, 2017). Ces mêmes polluants pourraient influencer le nombre de nourrissons avec un faible poids, possiblement à cause d'une augmentation du stress oxydatif causée par les

PM_{2,5} (É. Lavigne *et al.*, 2018). Une étude menée à travers le Canada sur près de 3 millions de nouveau-nés a révélé également une augmentation de 4 % du risque de petite taille (en dessous du 10^e percentile de poids à la naissance selon l'âge gestationnel) et une réduction du poids de 20 grammes chez le nourrisson par incrément de 10 µg/m³ de PM_{2,5} à l'extérieur du domicile (Stieb *et al.*, 2016). Les femmes enceintes souffrant de prééclampsie ou de diabète chronique (existant avant la grossesse) afficheraient aussi un risque plus important de naissance prématurée en fonction de leur exposition aux PM_{2,5} (É. Lavigne *et al.*, 2016). Pour l'ozone, les femmes enceintes asthmatiques présenteraient un risque plus élevé.

Maladies infectieuses

La pollution atmosphérique peut accroître le risque de développer certaines maladies infectieuses. En plus de fragiliser le système immunitaire et les voies respiratoires, les particules fines faciliteraient le transport des virus, des bactéries et d'autres agents pathogènes (Calderón-Garcidueñas *et al.*, 2008; Ijaz *et al.*, 2016; Wolkoff, 2018; Z. Yan *et al.*, 2016). Elle a été associée à une augmentation des cas et de la mortalité en lien avec la grippe, la pneumonie, la fièvre Q et d'autres maladies infectieuses (N. J. Clark et Soares Magalhães, 2018; Croft *et al.*, 2019; Kan *et al.*, 2005; Tang *et al.*, 2018; X. Wu *et al.*, 2020; Y. Zhao *et al.*, 2019). Pour la grippe et la pneumonie, une étude réalisée auprès de 500 000 New-Yorkais a conclu que les hospitalisations (pneumonie bactérienne et non bactérienne) et les admissions à l'urgence (grippe et pneumonie non bactérienne) augmentaient en fonction des concentrations de PM_{2,5} dans les 7 jours précédents (excès de 2,5 % à 3,9 % par écart interquartile) (Croft *et al.*, 2019).

Santé psychologique et criminalité

Le stress neurologique et physique causé par l'exposition aux polluants de l'air ambiant peut en retour influencer le risque de dépression, d'anxiété et d'autres problèmes de santé mentale. Des études ont d'ailleurs démontré que les concentrations élevées de polluants atmosphériques étaient associées à davantage de symptômes dépressifs et de suicides, peu importe le statut socio-économique (Gładka *et al.*, 2018). La pollution atmosphérique était également associée à l'anxiété, même si ses effets seraient de plus courte durée que pour la dépression (J. G. Lu, 2020; M. C. Power *et al.*, 2015; Pun *et al.*, 2017). De plus, la pollution atmosphérique diminuerait plus largement les fonctions et la performance cognitives, à tous âges (Clifford *et al.*, 2016; Fordyce *et al.*, 2018; J. G. Lu, 2020). Les fonctions cognitives évaluées incluaient l'attention, la mémoire, la construction visuelle, les habiletés mathématiques, la compréhension écrite et l'intelligence verbale. En affectant la santé mentale et physique des individus, la pollution de l'air a aussi un effet sur le bonheur et la satisfaction à l'égard de sa vie (J. G. Lu, 2020).

En élevant les niveaux de stress et d'anxiété, la pollution de l'air peut aussi occasionner une hausse des comportements criminels et antisociaux (J. G. Lu, 2020). Une étude menée dans 9 360 villes états-uniennes a conclu que les municipalités avec un niveau plus élevé de pollution affichaient des taux plus élevés de meurtres, de viols, de vols, d'agressions et de cambriolages (J. G. Lu *et al.*, 2018). À partir de groupes de discussion, les auteurs de cette étude ont noté un rôle médiateur de l'anxiété pour les comportements non éthiques, comme l'adultère. Une autre étude états-unienne a confirmé l'effet des concentrations de PM_{2,5} sur les crimes violents, principalement les agressions physiques (Burkhardt *et al.*, 2019).

7.2.2 EFFETS ASSOCIÉS AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

L'effet combiné de la température et des polluants atmosphériques sur la santé respiratoire et cardiovasculaire accroît considérablement les risques pour la santé. Une étude réalisée dans 10 villes canadiennes, incluant Québec et Montréal, a mis en évidence que la mortalité pulmonaire et cardiovasculaire associée à la pollution atmosphérique était plus élevée lors de températures chaudes et humides, alors que les changements climatiques risquent d'accroître ce type de conditions météorologiques (Vanos *et al.*, 2014). Dans cette étude, le risque de mortalité respiratoire surpassait le risque de mortalité cardiovasculaire. Dans plusieurs études, l'effet des polluants atmosphériques sur la mortalité est observable indépendamment de la chaleur et vice-versa, mais la combinaison intensifiait les effets sur la santé (Analitis *et al.*, 2014; C. S. Cheng *et al.*, 2008; Krstić, 2011). Des auteurs d'une étude menée au Québec auprès de 18 309 aînés ont estimé cependant que les concentrations de PM_{2,5} n'avaient pas d'incidence sur la mortalité et les hospitalisations relatives à l'insuffisance cardiaque, contrairement à la température et à la pression atmosphérique (Vanasse *et al.*, 2017). D'autres auteurs d'une étude réalisée dans la région de Montréal sont arrivés à la conclusion inverse, c'est-à-dire qu'autant l'ozone et les particules fines que la température élevaient le risque d'insuffisance cardiaque (Buteau *et al.*, 2018).

Certains auteurs ont évalué l'effet projeté des changements climatiques sur la santé. Santé Canada a estimé qu'une augmentation hypothétique de 4 °C pouvait occasionner un excès de 502 décès pour l'ozone comparativement à la mortalité observée en 2002 (156 décès) pendant les mois estivaux, pour des coûts sociaux totalisant 3,2 milliards en dollars canadiens de 2002 (Séguin *et al.*, 2008). Cette évaluation a toutefois prédit une réduction de la mortalité en lien avec les PM_{2,5}, diminuant ainsi fortement l'effet net sur la mortalité et les coûts sociaux précédents. Les auteurs d'une autre étude ont projeté un surplus annuel de 45 décès prématurés à travers le Canada pour une augmentation de 0,2 ppb des concentrations moyennes d'ozone en 2050 (Selin *et al.*, 2009). Cependant, ces études datent d'une dizaine d'années et utilisent d'anciens scénarios climatiques (autres que les RCP). Il existe toutefois des estimations plus récentes à l'international et en Amérique du Nord. Par exemple, une étude a avancé que les changements climatiques (RCP8.5) pourraient occasionner 3 340 et 43 600 décès additionnels en lien avec l'augmentation des concentrations d'ozone pour, respectivement, les années individuelles 2030 et 2100. Pour les PM_{2,5}, ces chiffres s'élèvent plutôt à 55 600 et à 215 500 à l'international. Plus spécifiquement à l'Amérique du Nord, cette même étude a indiqué que ces excès de mortalité étaient de 1 120 (2030) et de 9 830 (2100) pour l'ozone, alors qu'ils sont de 6 800 (2030) et de 19 100 (2100) pour les PM_{2,5}. Toujours à l'international, une autre étude a conclu que la proportion de la mortalité attribuable aux changements climatiques en lien avec les PM_{2,5} et l'ozone serait plus basse, se situant respectivement à 4 % et à 1 % (Fang *et al.*, 2013).

Aux États-Unis, une étude a démontré que le nombre annuel de décès pourrait passer de 420 à 1 900 par année en 2030 par rapport à l'an 2000 pour le scénario RCP8.5 (Fann *et al.*, 2015). Pour le scénario RCP6.0, l'écart de mortalité excédentaire s'établissait plutôt de 37 à 170, soit un surplus 11 fois moindre. Les auteurs de cette étude sont aussi arrivés aux résultats suivants pour les mêmes années de comparaison :

- De 360 (RCP6.0) à 3 900 (RCP8.5) admissions supplémentaires à l'hôpital pour des problèmes respiratoires pour les nourrissons (< 1 an) et les personnes âgées de 65 à 99 ans;
- De 89 (RCP6.0) à 1 200 (RCP8.5) admissions supplémentaires à l'urgence pour des problèmes respiratoires chez les personnes âgées de 0 à 99 ans;
- De 210 000 (RCP6.0) à 1 900 000 (RCP8.5) épisodes additionnels de symptômes respiratoires aigus chez les personnes de 18 à 64 ans;

- De 67 000 (RCP6.0) à 650 000 (RCP8.5) jours d'absences scolaires additionnels chez les enfants et les adolescents (5 à 17 ans).

Les coûts économiques annuels estimés en lien avec ces effets sur la santé attribuables aux changements climatiques seraient, en dollars américains de 2010, de 320 millions à 1,4 milliard pour le scénario RCP6.0 et de 3,6 à 15 milliards pour le scénario RCP8.5.

7.3 Les populations à risque par rapport à la pollution de l'air ambiant

7.3.1 ÂGE

Une exposition in utero et à un jeune âge retarde la croissance cognitive et neurologique chez l'enfant, en plus d'augmenter le risque de développer des troubles neurologiques du développement (Clifford *et al.*, 2016; Donzelli *et al.*, 2020). Elle peut augmenter le risque que l'enfant développe un TSA et un TDAH. Entre autres, une méta-analyse a indiqué que le risque qu'un enfant manifeste un TSA s'accroissait de 34 % (RR, IC 95 % : 0,83 – 2,17) par incrément d'exposition de 10 µg/m³ de PM_{2,5} pendant la grossesse (Flores-Pajot *et al.*, 2016). Les résultats pour l'ozone étaient plus faibles et moins fiables. Cependant, les études sur les liens entre les polluants de l'air ambiant et les TSA ou les TDAH présentaient un niveau élevé d'hétérogénéité et de biais potentiel (Donzelli *et al.*, 2020; Flores-Pajot *et al.*, 2016; Fordyce *et al.*, 2018; Morales-Suárez-Varela *et al.*, 2017).

Plus vieux, les enfants exposés à de fortes concentrations de polluants atmosphériques affichaient une performance neurocognitive et des résultats scolaires plus bas. Des auteurs ont analysé dans un échantillon de 1 183 865 enfants du Québec le lien entre la qualité de l'air à la résidence et l'asthme infantile sur une période d'au moins 10 ans (Tétreault *et al.*, 2016a). Ils ont conclu que chaque augmentation de 3,2 ppb d'ozone et de 6,5 µg/m³ de PM_{2,5} des concentrations observées à la résidence de la mère le jour même de l'accouchement augmentait respectivement de 11 % et de 31 % le risque que l'enfant développe de l'asthme. Une étude connexe a aussi démontré que l'exposition résidentielle à ces polluants augmentait le nombre d'admissions à l'urgence et d'hospitalisations pour cette cause, et ce, jusqu'à l'âge de 13 ans (Tétreault *et al.*, 2016b). En revanche, l'exposition à l'ozone n'était pas associée avec l'exacerbation des symptômes asthmatiques, même si une faible association a été observée pour les PM_{2,5}. À Windsor, en Ontario, chaque augmentation d'une unité de l'indice de la qualité de l'air du Canada (échelle de 10) a été associée à un risque accru de 11 % d'être hospitalisé pour des symptômes asthmatiques chez les enfants de 2 à 14 ans, la journée même de l'exposition, mais pas chez les adultes (Szyszkowicz et Kousha, 2014). Pour ces derniers, il fallait attendre 9 jours pour observer un effet, ce qui semble indiquer que les enfants seraient plus sensibles aux effets des polluants atmosphériques sur l'appareil respiratoire.

Plusieurs études ont suggéré une association entre l'exposition aux polluants atmosphériques chez les aînés et le développement de MPOC et d'infections pulmonaires comme la pneumonie (Simoni *et al.*, 2015). En concordance, les concentrations de polluants atmosphériques, particulièrement les particules fines, augmentaient leur risque de mortalité, d'hospitalisation et d'admission à l'urgence, souvent de façon plus marquée que dans le reste de la population (Simoni *et al.*, 2015). Une méta-analyse a aussi dévoilé qu'ils présentaient un risque de mortalité et d'hospitalisation relatif à l'exposition à l'ozone au moins 2 fois plus important que les personnes âgées de moins de 65 ans pour une période de 8 heures suivant l'exposition (M. L. Bell *et al.*, 2014). La différence de mortalité apparaissait pour les maladies cardiovasculaires principalement, et non pour les maladies respiratoires, au contraire des hospitalisations, où une différence majeure était observée dans les deux cas, exception faite de l'asthme.

La pollution atmosphérique accélère également le déclin cognitif chez les aînés (voir sous-section **Problèmes physiques** dans 7.2.1 **Effets généraux**) (H. Chen *et al.*, 2017; Clifford *et al.*, 2016; R. Peters *et al.*, 2019; Tsai *et al.*, 2019). Par exemple, en Ontario, une étude a démontré que 6,1 % des cas de démence chez les personnes âgées seraient attribuables aux PM_{2,5}, sans toutefois détecter d'association pour l'ozone (H. Chen *et al.*, 2017). Les personnes âgées et les enfants, qui passent plus de temps à l'intérieur, pourraient même s'exposer à des concentrations accrues de polluants intérieurs (p. ex., moisissures, radon) en ouvrant leurs fenêtres pendant les mois estivaux, particulièrement lors des journées chaudes et si leur logement n'est pas adapté (Laumbach *et al.*, 2015; Potera, 2011; Vardoulakis *et al.*, 2015).

7.3.2 SEXE

Une méta-analyse sur les effets de l'ozone sur la santé a démontré que les femmes y seraient généralement un peu plus sensibles que les hommes (M. L. Bell *et al.*, 2014). Dans une étude réalisée auprès de 2,5 millions de Canadiens, les femmes affichaient un risque de mortalité non accidentelle, en lien avec une exposition aux PM_{2,5} et à l'ozone, plus élevé que les hommes (Crouse *et al.*, 2015). En revanche, l'effet de la pollution atmosphérique sur le taux de suicides serait plus important chez les hommes que chez les femmes (J. G. Lu, 2020). De plus, les polluants atmosphériques pourraient causer davantage de problèmes cardiaques ou d'accidents vasculaires cérébraux chez les hommes à cause de leur plus grande prévalence de maladies cardiovasculaires (WHO, 2016). Néanmoins, certaines études ont également suggéré que les femmes seraient plus sujettes aux effets cardiovasculaires découlant d'une exposition aux polluants atmosphériques (Brook *et al.*, 2010).

7.3.3 DÉFAVORISATION ET ETHNICITÉ

Une méta-analyse a conclu que les preuves scientifiques étaient suffisamment fortes pour affirmer que les personnes sans emploi ou avec un faible statut professionnel présentaient un risque de mortalité plus élevé en cas d'exposition à des concentrations importantes d'ozone à court terme (M. L. Bell *et al.*, 2014). Même si plusieurs études ont suggéré une vulnérabilité accrue, les preuves sont moins solides pour les minorités raciales et les personnes avec un faible niveau de scolarité, vivant dans la pauvreté, ou habitant un logement sans climatisation. Par exemple, une étude réalisée dans le nord-est des États-Unis a conclu que la proportion de familles vivant sous le seuil de la pauvreté diminuait le taux de mortalité observée en lien avec l'ozone (Madrigano *et al.*, 2015). Cependant, un suivi effectué pendant 16 ans auprès de 2,5 millions de Canadiens a indiqué que les personnes plus fortunées (> 75^e percentile) présentaient un risque moins élevé de mortalité non accidentelle que celles moins fortunées (< 25^e percentile), en fonction de l'exposition à l'ozone et aux PM_{2,5} (Crouse *et al.*, 2015). Une autre étude a néanmoins suggéré que les personnes non immigrantes seraient moins sensibles que les personnes immigrantes, malgré le fait qu'elles sont généralement plus exposées aux particules fines (Pinault, van Donkelaar, *et al.*, 2017; Villeneuve *et al.*, 2011).

Les milieux socio-économiques plus défavorisés ne sont pas nécessairement exposés à des concentrations plus élevées de polluants atmosphériques, l'inverse pouvant s'avérer (A. Hajat *et al.*, 2015; Villeneuve *et al.*, 2011). Ces milieux sont généralement caractérisés par un faible niveau de végétation et de perméabilisation du sol, en plus d'avoir un stock de logements plus vieux et moins aptes à filtrer les polluants. À ce titre, les ménages défavorisés habitent généralement des logements plus âgés et moins adaptés (p. ex., isolation ou ventilation insuffisantes, infiltrations d'air et d'eau), les exposant davantage aux conséquences des changements climatiques sur la QAI (Potera, 2011; Vardoulakis *et al.*, 2015). Ils sont également locataires dans une plus grande proportion, ce qui leur donne moins de contrôle sur leur logement et la mise en place de mesures diminuant les concentrations intérieures de polluants (p. ex., installation d'un système de ventilation centralisé ou de climatisation) (Laumbach *et al.*, 2015; Potera, 2011).

7.3.4 MALADIES PRÉEXISTANTES

Plusieurs études ont suggéré que les personnes avec des maladies respiratoires et cardiovasculaires préexistantes seraient plus sensibles à la pollution atmosphérique, par exemple les enfants souffrant d'asthme ou les personnes âgées avec une MPOC (K.-H. Kim *et al.*, 2015; Qiu *et al.*, 2015; WHO, 2013a). L'obésité, certains génotypes (p. ex., GSTM1, GSTP1, etc.) et la carence en certains nutriments, comme les vitamines C et E, exacerberaient également l'inflammation de l'appareil respiratoire et, conséquemment, les symptômes respiratoires associés aux polluants atmosphériques, du moins pour l'ozone (Vinikoor-Imler *et al.*, 2014). Cette sensibilité peut néanmoins varier en fonction du type de polluants et des maladies préexistantes. Dans une étude réalisée à Montréal, le risque de mortalité non accidentelle associée aux particules fines était plus élevé chez les personnes âgées avec un problème cardiovasculaire, de l'hypertension ou du diabète (Goldberg *et al.*, 2013). Pour l'ozone, les maladies aggravantes comprenaient aussi certaines maladies coronariennes et l'hypertension, mais également le cancer. La présence d'une maladie cérébrovasculaire ou respiratoire ne semblait pas avoir d'incidence sur le risque de mortalité non accidentelle dans les deux cas. Une autre étude menée à Montréal a suggéré que l'insuffisance cardiaque aggravait le risque de mortalité liée à l'ozone (Buteau *et al.*, 2018). Malgré tout, les effets des maladies chroniques préexistantes sur la sensibilité à l'ozone ne sont pas bien documentés comparativement aux PM_{2,5}, exception faite de l'asthme (M. L. Bell *et al.*, 2014; Vinikoor-Imler *et al.*, 2014; WHO, 2013a).

Une étude réalisée en Ontario a démontré que le nombre de consultations externes, d'admissions à l'urgence et d'hospitalisations chez les personnes avec au moins 1 des 11 maladies chroniques communes recensées (p. ex., diabète, hypertension, cancers non respiratoires, etc.) changeait peu, et parfois aucunement, en fonction des concentrations de PM_{2,5} et d'ozone (To *et al.*, 2015). Pour les PM_{2,5}, seules les personnes avec un diagnostic de MPOC, d'asthme ou de diabète se rendaient plus souvent à l'urgence en fonction des concentrations ambiantes. Pour l'ozone, les personnes souffrant d'asthme étaient hospitalisées plus souvent selon le niveau d'exposition. Dans une majorité de cas, les concentrations des deux polluants semblaient plutôt diminuer la charge du réseau de la santé et des services sociaux à mesure qu'elles augmentaient.

Une autre étude menée à Edmonton a conclu que les personnes avec un historique d'accident vasculaire cérébral (AVC) ou de maladie cardiovasculaire et celles prenant de la médication pour le diabète étaient au moins 2 fois plus susceptibles de subir un accident ischémique transitoire (AIT) en lien avec l'exposition aux polluants atmosphériques (Villeneuve *et al.*, 2012). Néanmoins, les fumeurs, de même que les personnes avec des maladies respiratoires préexistantes ou prenant d'autres types de médicaments que pour le diabète, ne semblaient pas afficher une sensibilité accrue. De plus, dans cette étude, seules les concentrations de NO₂ avaient un effet sur le risque d'AIT, aucun effet n'ayant été observé pour les concentrations isolées d'ozone et de PM_{2,5}. Une étude menée à Londres a confirmé ces résultats (Maheswaran *et al.*, 2016). Une revue de la littérature incluant 17 études a également montré que la mortalité cardiovasculaire en lien avec les concentrations de particules fines s'accroissait en fonction de l'IMC (Weichenthal *et al.*, 2014).

Cette absence d'effet aggravant chez les personnes avec des maladies préexistantes dans certaines études peut être expliquée par le fait qu'elles seraient plus à l'affût des effets des polluants atmosphériques sur leur santé puisqu'elles les ressentent davantage (Neidell, 2009; Semenza *et al.*, 2008). Elles pourraient ainsi être plus enclines à adopter rapidement des comportements préventifs (p. ex., limitation des sorties extérieures, prise de médicaments).

7.3.5 TRAVAIL ET SPORT

Les changements climatiques pourraient accroître l'exposition des travailleurs aux polluants extérieurs en prolongeant la période estivale de travail (p. ex., construction, foresterie, tourisme d'été, etc.), en plus de l'augmentation projetée des concentrations extérieures de polluants (Applebaum *et al.*, 2016). La chaleur pourrait également accentuer l'effort physique associé au travail et intensifier l'inhalation de polluants (Oravisjärvi *et al.*, 2011). Une diminution des capacités pulmonaires et l'altération de l'ADN ont été soulevées pour divers types de travailleurs, des agriculteurs aux facteurs, particulièrement en lien avec l'exposition à l'ozone (Applebaum *et al.*, 2016; Vinikoor-Imler *et al.*, 2014). Une étude menée au Québec a montré que le nombre de réclamations pour maladies respiratoires augmentait en fonction des concentrations d'ozone chez les travailleurs extérieurs, mais cette association n'était pas statistiquement significative (Adam-Poupart, Labrèche, *et al.*, 2015). Aucune relation pour l'ensemble des industries n'était observée dans cette étude. Les employés travaillant dans des milieux intérieurs pourraient néanmoins s'exposer à des concentrations plus importantes de polluants intérieurs, entre autres à cause du réchauffement des températures intérieures (Potera, 2011; Vardoulakis *et al.*, 2015). La pollution atmosphérique peut aussi réduire la productivité des travailleurs. Une étude réalisée aux États-Unis a indiqué qu'une réduction de 10 ppb des concentrations d'ozone pourrait hausser de 4,2 % la productivité des travailleurs de tous les domaines (Zivin et Neidell, 2012). Cette réduction de la productivité peut les obliger à travailler davantage ou à réduire leur revenu, particulièrement ceux rémunérés en fonction de leur production, tels que les agriculteurs.

Les sportifs extérieurs s'exposent aussi aux concentrations atmosphériques de polluants et inhalent de plus grandes quantités de ces polluants, en particulier par la bouche, contournant ainsi la filtration des voies nasales (Giles et Koehle, 2014). Les personnes se déplaçant à vélo ou à pied font partie de cette population à risque (Hatzopoulou *et al.*, 2013; Weichenthal *et al.*, 2011). La déposition de particules fines dans l'appareil respiratoire peut être multipliée de 3 à 10 fois, selon l'intensité de l'exercice, en comparaison avec une personne au repos (Oravisjärvi *et al.*, 2011). L'augmentation du risque cardiaque lors de l'exercice pourrait également prédisposer les sportifs extérieurs aux effets cardiovasculaires associés aux polluants atmosphériques, en plus de réduire leur performance. Malgré tout, plusieurs études ont démontré que les effets bénéfiques de l'activité physique surpassaient les effets néfastes d'une exposition accrue aux polluants atmosphériques (Mueller *et al.*, 2015; Tainio *et al.*, 2016).

7.3.6 URBANITÉ ET RURALITÉ

Au Québec et en Amérique du Nord, les personnes habitant dans les milieux urbains sont généralement exposées à des concentrations de polluants atmosphériques plus élevées qu'en milieu rural, particulièrement pour les polluants émis par le transport routier tels que les oxydes nitreux, l'oxyde de soufre et les particules fines (Foucreault, 2019; Lebel *et al.*, 2012; Strosnider, 2017). Au Québec, les concentrations moyennes de PM_{2,5} des stations de surveillance de la qualité de l'air étaient inférieures de 4 µg/m³ dans les milieux ruraux ou industriels (6 µg/m³ contre 10 µg/m³) en 2009. En revanche, les concentrations d'ozone étaient plus élevées en milieu périurbain qu'en milieu urbain, car les vents déplacent l'ozone ainsi que certains de ses précurseurs (p. ex., NO_x le jour) vers les milieux périurbains, et les émissions de certains polluants atmosphériques dégradant l'ozone (p. ex., NO_x la nuit) sont émis en moindres quantités dans les milieux non urbains (Künzli *et al.*, 2010). Au Québec, les concentrations rurales d'ozone surpassaient en moyenne de 4 µg/m³ celles observées dans les milieux urbains (25 µg/m³ contre 21 µg/m³) en 2009 (Lebel *et al.*, 2012).

Pour les effets sur la santé, les preuves scientifiques démontrent des résultats mixtes quant à la différence entre les populations urbaines et les populations rurales, entre autres du fait que les sources d'émissions diffèrent entre les deux milieux. Dans les milieux urbains, les émissions de la circulation routière prédominent, alors que les émissions associées aux poêles à bois, aux industries ou aux activités agricoles peuvent jouer un plus grand rôle. Une évaluation internationale a conclu que le taux de mortalité liée aux polluants atmosphériques était 50 % supérieur dans les populations urbaines que dans les populations rurales en 2010 (Lelieveld *et al.*, 2015). Les auteurs de cette étude ont également estimé que ce surplus serait de 90 % en 2050, sans cependant tenir compte des changements climatiques. Néanmoins, d'autres études viennent plutôt à la conclusion que le fardeau sanitaire lié à la pollution atmosphérique est semblable dans les populations urbaines et rurales dans un contexte nord-américain (M. L. Bell et Dominici, 2008; Garcia *et al.*, 2016; WHO, 2016). Pour l'ozone, plus précisément, une étude menée dans le nord-est des États-Unis a conclu que la mortalité s'accroissait de 0,45 % (PI 95 % : 0,08 – 0,83) par incrément de 10 µg/m³ des concentrations dans les comtés urbains (≥ 2600 habitants/km²), alors que ce pourcentage s'élevait à 0,73 % (PI 95 % : 0,19 – 1,26) pour les comtés non urbains (< 2600 habitants/km²), soit une différence non significative (Madrigano *et al.*, 2015). Les caractéristiques des milieux urbains (p. ex., niveaux de circulation, prévalence du chauffage au bois, accès au système de santé, etc.) et des milieux ruraux (p. ex., présence d'industries lourdes ou d'élevage, niveau élevé de défavorisation, etc.) seraient plus décisives pour estimer le fardeau sanitaire des polluants atmosphériques que la simple dichotomie ruralité-urbanité.

7.4 Les mesures d'adaptation à la pollution de l'air ambiant

7.4.1 LES MESURES INDIVIDUELLES D'ADAPTATION À LA POLLUTION DE L'AIR AMBIANT

Autant en hiver qu'en été, les occupants d'un logement peuvent diminuer les sources de polluants intérieurs à la source (tabagisme, produits d'entretien, appareils de combustion, peinture sans COV, etc.) pour s'assurer que leur logement soit un refuge sécuritaire. Sinon, un individu peut suivre les prévisions de la qualité de l'air et prévoir ses activités en conséquence. De préférence, les activités extérieures devraient s'effectuer le matin et loin de toutes sources d'émissions pour limiter l'exposition aux autres polluants atmosphériques. La prise en compte de la localisation et des sources potentielles de pollution s'avère particulièrement importante pour planifier ses activités physiques (p. ex., sports, rénovation extérieure, etc.) (Giles *et al.*, 2014). Les individus avec des maladies respiratoires ou cardiaques préexistantes devraient consulter leur médecin avant de pratiquer une activité physique à l'extérieur. Les personnes souffrant de maladies respiratoires devraient également transporter leurs médicaments si elles doivent sortir (Mehiriz *et al.*, 2018; Szyszkowicz *et al.*, 2014). Autrement, le confinement au domicile a été associé à une réduction des effets des polluants atmosphériques et de la charge du réseau de la santé et des services sociaux lorsque la QAI était meilleure qu'à l'extérieur (Giles *et al.*, 2014; Neidell, 2009; Neidell et Kinney, 2010; Semenza *et al.*, 2008).

La fermeture des fenêtres constitue une solution simple à adopter à l'échelle individuelle, mais elle peut également nuire à la santé si la chaleur intérieure ou les concentrations de polluants intérieurs sont trop élevées. La ventilation naturelle peut ainsi autant accroître que diminuer les concentrations de polluants ambiants. L'ouverture fréquente des portes et des fenêtres au domicile peut augmenter d'au moins 30 % la ventilation, et davantage en fonction de la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur (I. C. Ward, 2008). La ventilation naturelle pourrait être plus utile la nuit, pendant que les concentrations extérieures de polluants sont généralement les plus basses.

L'utilisation d'un appareil de climatisation ou de ventilation lors de jours de chaleur, accompagnée de la fermeture des fenêtres, diminue l'infiltration de polluants extérieurs (Vedal, 2009). L'entretien du système de climatisation s'avère ici essentiel puisqu'il peut autrement favoriser la prolifération de bactéries dans l'air (M. N. Khan *et al.*, 2018). La climatisation a tout de même été associée à une diminution des polluants ambiants et des symptômes cardiovasculaires reliés (variation du rythme cardiaque, fibrinogène dans le plasma sanguin, etc.) (L.-Y. Lin *et al.*, 2013). Également, la diminution de la chaleur intérieure peut limiter la formation de certains composés chimiques néfastes comme les formaldéhydes (Poulin *et al.*, 2016). Enfin, l'interruption de la ventilation lors d'épisodes de smog peut diminuer l'infiltration de polluants extérieurs (Levasseur, Poulin, *et al.*, 2017).

7.4.2 LES MESURES POPULATIONNELLES ET INSTITUTIONNELLES D'ADAPTATION À LA POLLUTION DE L'AIR AMBIANT

Surveillance

ECCC évalue quotidiennement la qualité de l'air en fonction du risque pour la santé pour les centralités canadiennes à partir de sa [Cote air santé](#). Celle-ci informe le public en temps semi-réel sur les risques immédiats associés à la qualité de l'air dans une soixantaine de communautés à travers les 10 provinces canadiennes. La Cote air santé émet des alertes lorsqu'un certain seuil est dépassé et propose alors des mesures d'adaptation pour la population générale et certains sous-groupes de populations vulnérables (ECCC, 2019b). Des [cartes de la qualité de l'air](#) sont aussi disponibles en temps quasi réel pour toute l'Amérique du Nord par analyse automatisée d'images satellitaires. [Info-Smog](#), né d'une collaboration entre les gouvernements fédéral et provincial, utilise également les données de surveillance de la qualité de l'air (particules fines et ozone) pour prévoir les épisodes de smog dans la province québécoise.

Au Québec, le ministère de l'Environnement ainsi que la Ville de Montréal diffusent en temps réel un indice de qualité de l'air (IQA) (MELCC, s. d.-b; Ville de Montréal, s. d.). Cet indice utilise les données du [Réseau de surveillance de la qualité de l'air du Québec](#) qui se compose d'une soixantaine de stations. Ayant des objectifs différents, ces stations peuvent brosser un portrait incomplet des quantités de polluants sur le territoire. Les données de surveillance et les concentrations de polluants atmosphériques peuvent également être extrapolées et estimées en fonction de l'utilisation du sol et d'autres facteurs tels que la densité de circulation ou de végétation, certains modèles ayant été validés dans la région métropolitaine de Montréal (Adam-Poupart, Brand, *et al.*, 2014; Ramos *et al.*, 2018; Weichenthal, Ryswyk, *et al.*, 2016).

Le gouvernement du Québec a adopté en 2011 le [Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère](#) qui a mis à jour les normes de qualité de l'atmosphère des contaminants conventionnels, a introduit de nouvelles normes pour plus de 80 contaminants et prescrit pour la première fois des mesures de surveillance et de contrôle des émissions pour les entreprises (Goulet et Lecours, 2011). Suivant l'adoption de ce projet de règlement, le nombre moyen annuel de jours de mauvaise qualité de l'air par région administrative est passé de 46,3 en 2011 à 19,7 en 2016, avec une diminution de 13,1 jours de 2012 à 2013 seulement (MELCC, s. d.-e).

Système d'alertes

Malgré la disponibilité des informations relatives à la pollution de l'air, peu d'individus se renseignent régulièrement et de façon autonome à ce sujet (Huppé *et al.*, 2013; B. B. Johnson, 2012; F. J. Kelly *et al.*, 2012). Les systèmes d'alertes préventives personnalisées (c.-à-d. rejoignant individuellement la personne) peuvent ainsi jouer un rôle crucial d'information, d'autant plus s'ils sont comparés aux autres mécanismes de diffusion tels que la télévision, la radio et Internet (B. B. Johnson, 2012; F. J. Kelly *et al.*, 2012, 2015; Oltra et Sala, 2014; Semenza *et al.*, 2008). Certaines études ont montré

que les systèmes d'alertes amenaient certains résultats sur le temps passé à l'intérieur et d'autres comportements préventifs, la perception du risque et la santé (F. J. Kelly *et al.*, 2015).

Par exemple, en 2016, un projet pilote d'un système d'alertes téléphoniques automatisées a été lancé dans la région de la Montérégie auprès de personnes vulnérables à la chaleur et au smog habitant dans la région de Longueuil (Mehiriz *et al.*, 2017, 2018). Les avertissements, automatisés et envoyés à l'avance en fonction des prévisions météorologiques, indiquaient une série de mesures d'adaptation afin de mitiger les effets de ces aléas. Le système utilisait les données du SUPREME et d'Info-Smog pour l'émission des avertissements. Pour les avertissements de smog, le sondage post-intervention a démontré que les participants étaient mieux informés sur la survenue des épisodes de smog, sur leurs effets sur la santé et sur les manières de s'en protéger, par rapport au groupe témoin. Les alertes incitaient les personnes à rester chez elles, à fermer les fenêtres lors des épisodes de smog et à traîner leurs médicaments pour des problèmes respiratoires s'il y a lieu. Toutefois, les alertes n'ont pas eu d'effet sur la réduction de l'effort physique ni sur l'utilisation des services de santé.

De plus, un sondage effectué auprès de 120 résidents de la ville de Québec souffrant d'un problème cardiaque et respiratoire a permis d'estimer les attitudes et les effets des messages des alertes de la Cote air santé d'ECCC, avec les résultats suivants (Huppé *et al.*, 2013) :

- Plus du trois quarts des personnes sondées ont affirmé qu'elles étaient prêtes à poser certains gestes pour réduire leur exposition aux polluants atmosphériques et qu'elles estimaient que la réception de messages personnalisés leur serait utile à cette fin;
- Plus de 80 % des répondants considéraient que le contenu des messages des alertes de la Cote air santé étaient faciles à comprendre et utiles;
- 70 % des répondants au sondage final ont dit croire que les alertes les ont aidés à prévenir l'apparition de symptômes;
- 67 % d'entre eux ont changé leurs comportements afin de réduire leur exposition en été, 56 % en hiver;
- La probabilité d'adopter un des comportements préventifs suggérés était plus élevée chez les participants qui considéraient que les recommandations de santé étaient faciles à comprendre et utiles.

Cependant, ces résultats ne s'appliquent pas à l'ensemble de la population québécoise étant donné la sélection non aléatoire des participants, la petite taille de l'échantillon et l'absence de personnes ne souffrant pas de maladies respiratoires et cardiovasculaires.

À Toronto, des auteurs ont estimé l'effet d'un système d'alertes préventives non personnalisées (emploi des médias grand public) sur 6 effets sur la santé (c.-à-d. mortalité, hospitalisations, admissions à l'urgence en lien avec des problèmes respiratoires et cardiovasculaires) dans une cohorte de 2,6 millions de personnes de 2003 à 2012 (H. Chen *et al.*, 2018). Parmi ces effets, seule une réduction de 25 % des admissions à l'urgence pour l'asthme était attribuable au système d'alertes, avec des tendances moins robustes concernant les hospitalisations pour l'asthme et les MPOC. Aucun effet bénéfique sur la mortalité et la morbidité cardiovasculaires n'a été détecté. En Australie, une étude a conclu que les alertes de smog avaient réduit le nombre de déplacements à vélo de 14 à 35 %, principalement ceux à des fins récréatives (Saberian *et al.*, 2017).

Il est possible que les personnes vulnérables adoptent déjà en majorité des comportements préventifs lorsque les seuils d'alertes sont atteints, étant donné la visibilité des épisodes de smog et de ses effets (Neidell *et al.*, 2010; Semenza *et al.*, 2008). Dans le sondage mentionné plus haut, près de la moitié des répondants avait déjà adopté des comportements préventifs lors d'épisodes passés de mauvaise qualité de l'air, cette proportion s'élevant aux deux tiers en été pour ceux ayant reçu l'alerte de la Cote air santé. Une étude menée dans 6 États des États-Unis a aussi conclu que le temps passé à l'extérieur avait diminué de 16 % à la suite d'une campagne d'avertissements non personnalisés, et de 31 % auprès des personnes souffrant d'asthme (Wen *et al.*, 2009). Les individus peuvent adapter leurs comportements en fonction du niveau de qualité de l'air perçu plutôt que réel, incluant les odeurs pouvant découler d'une mauvaise qualité de l'air (Atari *et al.*, 2009; F. J. Kelly *et al.*, 2015; J. G. Lu, 2020; Semenza *et al.*, 2008).

D'autres personnes pourraient ne pas suivre les recommandations émises dans les alertes si elles ne comprennent pas bien les informations des messages, ne perçoivent pas de risque pour leur santé, ne considèrent pas la pollution de l'air comme étant problématique ou encore si les mesures d'adaptation s'avèrent trop coûteuses (p. ex., confinement au domicile), contradictoires ou difficiles à mettre en place (p. ex., rénovation du bâtiment, fermeture de fenêtres lors de chaleurs, installation d'un système de climatisation) (Neidell, 2009; Semenza *et al.*, 2008; Zivin et Neidell, 2009). Un effet de fatigue pourrait s'installer également après la première alerte. Une étude réalisée en Californie a démontré que l'affluence à certaines activités récréatives revenait à un niveau normal dès le deuxième jour lorsqu'une alerte était émise 2 ou 3 jours consécutifs (Zivin *et al.*, 2009). Le confinement à la résidence pourrait aussi exposer certaines personnes à des concentrations de polluants intérieurs supérieures à celles qui se retrouvent à l'extérieur.

Réglementation des sources de polluants

Le Québec possède également des règlements pour augmenter l'efficacité énergétique des véhicules et des bâtiments (Régie du bâtiment du Québec [RBQ], s. d.). Une plus grande efficacité énergétique diminue l'énergie utilisée pour le même usage, et ainsi les coûts associés, et peut alors atténuer les émissions de GES et de polluants lorsqu'elle est appliquée aux sources de consommation d'énergie fossile. Cette économie peut toutefois inciter les consommateurs à utiliser davantage leur véhicule ou d'autres sources d'énergie fossile, compensant partiellement les gains énergétiques (Azevedo, 2014; Clement, 2011; Copiello et Bonifaci, 2015). Les personnes à l'aise financièrement pourraient utiliser ces économies en énergie pour consommer des biens plus intensifs en carbone. Cet effet serait moins présent chez les personnes moins nanties, puisqu'elles atteignent plus facilement un plafond de consommation (Copiello *et al.*, 2015).

Relativement à la problématique du smog hivernal, le gouvernement du Québec a décrété le [Règlement sur les appareils de chauffage au bois](#) qui exige que tout appareil de chauffage au bois soit certifié conforme à certaines normes d'émissions (MELCC, 2019). Le [Règlement concernant les appareils et les foyers permettant l'utilisation d'un combustible solide](#) de la Ville de Montréal a également été promulgué en 2016 afin d'interdire le chauffage au bois lors d'un avertissement de smog (Ville de Montréal, 2017). Le règlement prévoit aussi l'interdiction d'utiliser des appareils à combustible solide, sauf s'ils satisfont l'une des certifications prévues au règlement. Une étude menée en Colombie-Britannique a souligné que la combustion de biomasse (dont le bois) élevait suffisamment les concentrations de PM_{2,5} pour avoir un effet sur les hospitalisations pour infarctus, particulièrement par temps froid (Weichenthal *et al.*, 2017). Une autre étude, celle-ci réalisée en Californie, a conclu que l'interdiction de la combustion résidentielle de bois pouvait réduire de près du tiers les concentrations moyennes de PM_{2,5} (Hixson *et al.*, 2012). Contrairement à la Ville de Montréal, les autres municipalités du Québec ne peuvent réglementer la pollution atmosphérique. Elles peuvent toutefois interdire l'installation de nouveaux poêles à bois sur leur territoire. Ces

règlements et cette prise de conscience peuvent expliquer la diminution du nombre de ménages utilisant le bois de chauffage comme source d'énergie et de l'occurrence de smogs hivernaux (MELCC, 2019, s. d.-c).

7.4.3 LES MESURES PHYSIQUES D'ADAPTATION À LA POLLUTION DE L'AIR AMBIANT

Aménagement urbain

La densification du milieu et la mixité des usages (p. ex., commercial, résidentiel, récréatif) diminuent la distance entre les différentes origines et destinations, même si elles peuvent entraîner également une augmentation de la circulation et des activités polluantes à l'échelle locale, dans certains cas. Elles accroissent l'attrait des déplacements actifs et du transport collectif, qui nécessitent de plus courtes distances ou une certaine charge critique afin d'être efficaces. La densification et la mixité des usages peuvent par conséquent diminuer les émissions de polluants atmosphériques par habitant à l'échelle régionale, particulièrement si elles sont combinées à d'autres mesures de limitation de l'utilisation des énergies fossiles et du bois comme combustibles (Hixson *et al.*, 2012). Par exemple, une étude réalisée dans 6 métropoles internationales a indiqué qu'une augmentation de 30 % de la densité et de la mixité du milieu pouvait réduire d'environ 10 % les quantités de particules fines dans l'air (Stevenson *et al.*, 2016). D'autres chercheurs ont estimé que les villes états-uniennes avec des densités résidentielles plus élevées, une connectivité routière plus importante et un étalement urbain moins prononcé affichaient des concentrations moindres de GES et de polluants atmosphériques, dont l'ozone et les particules fines (Bereitschaft et Debbage, 2013).

Des bâtiments hauts et rapprochés peuvent également créer des canyons urbains qui piègent et accumulent les polluants dans l'air (Salizzoni *et al.*, 2009; Vardoulakis *et al.*, 2007; J. Zhong *et al.*, 2016). Un modèle sur les caractéristiques urbaines influençant la quantité de particules fines dans l'air, telles que l'utilisation du sol, la densité et la mixité des fonctions, a été développé à Montréal afin d'aider la prise de décision en ce sens (Weichenthal, Ryswyk, *et al.*, 2016). Une densification moyenne, mixte et accompagnée de verdissement pourrait limiter la formation de canyons urbains et l'accumulation de particules fines à l'échelle locale et régionale (Yuan *et al.*, 2014).

Mobilité durable

Le secteur des transports représente 43 % des GES émis au Québec, 34,4 % en tenant seulement compte du transport routier (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques [MDDELCC], 2018). En 2008, de 10 à 20 % des particules fines et du dioxyde de soufre (SO₂) étaient émises par le secteur des transports (J. Paradis *et al.*, 2011). Ces proportions augmentaient respectivement à 37 %, à 70 % et à 75 % pour les COV, le NO₂ et le monoxyde de carbone, qui constituent des précurseurs d'ozone. Au total, les transports seraient responsables de 62 % des quantités totales de polluants atmosphériques émises. Par conséquent, le potentiel de réduction des GES et des polluants atmosphériques se concentre principalement dans ce secteur.

La promotion du transport actif et collectif représente une des façons de réduire les émissions polluantes du secteur des transports. Ces émissions augmentent en fonction de l'intensité de la circulation (véhicules/minute), du type de véhicule (utilitaires sports [VUS] et camions par rapport aux berlines; voitures électriques par rapport aux voitures à combustion, etc.) et de la superficie des routes (Amato *et al.*, 2013). Alors que les déplacements actifs ne produisent aucune émission, un autobus carburant aux énergies fossiles et transportant 7 passagers consommerait en moyenne 2 fois moins de carburant par personne qu'une automobile avec un moteur à combustion, ce taux allant jusqu'à 10 fois avec un achalandage moyen de 50 passagers (Litman, 2017). Un transfert modal des véhicules motorisés vers ces modes de transport pourrait apporter des bénéfices

substantiels pour la santé, bien que ce transfert dépende largement de l'aménagement urbain. Dans une étude états-unienne réalisée auprès de 31,7 millions de personnes dans le Midwest, la substitution de 50 % des déplacements motorisés de moins de 8 km aller-retour par des déplacements à vélo évitait environ 600 décès seulement grâce à des concentrations moins importantes de polluants atmosphériques émis (Grabow *et al.*, 2012). Une étude réalisée dans la communauté métropolitaine de Montréal a néanmoins suggéré des gains sanitaires modestes associés à un transfert modal vers des modes de transport actif et collectif, quoique d'autres études exposent plutôt de larges gains (Tétreault *et al.*, 2018).

À Londres, des chercheurs ont évalué qu'un doublement de la distance marchée, une multiplication par 8 de la distance réalisée à vélo et une augmentation du nombre de véhicules zéro émission (VZE) sur les routes pourraient diminuer la concentration de particules fines de 10 % et la quantité de GES de 62 % en 2030, en comparaison avec un scénario de continuation des habitudes de mobilité actuelles (Woodcock *et al.*, 2009). Cette amélioration de la qualité de l'air éviterait annuellement 541 morts prématurées (33, pour la réduction des polluants atmosphériques) et 5 295 années de vie perdues (319, pour la réduction des polluants atmosphériques) par million d'habitants. À San Francisco, une étude a conclu qu'une multiplication par 5,5 du temps de déplacement à pied et à vélo diminuerait de 33,5 % les quantités émises de GES et de 4 le nombre annuel de décès attribuable aux PM_{2,5} par million d'habitants (Maizlish *et al.*, 2013). Même si les piétons et les cyclistes peuvent être moins exposés que les personnes à l'intérieur des véhicules (p. ex., automobile, autobus), qui sont plus près des sources de pollution, ils peuvent inhaler davantage de polluants atmosphériques en raison de leur rythme respiratoire accru (Apparicio *et al.*, 2018; Cepeda *et al.*, 2017; Knibbs *et al.*, 2011). Dans tous les cas, les avantages associés à la pratique de l'activité physique surpassent cet inconvénient potentiel (De Hartog *et al.*, 2010; Tainio *et al.*, 2016). Une étude a notamment démontré que les cyclistes vivaient en moyenne une année de plus que les conducteurs de véhicules motorisés (Cepeda *et al.*, 2017).

L'électrification des transports constitue une autre avenue pour réduire la pollution atmosphérique. Aux États-Unis, il a été estimé qu'une décarbonisation massive du secteur des transports pourrait prévenir de 9 000 à 52 000 décès prématurés annuellement à partir de 2030, seulement grâce à des réductions d'ozone et de particules fines (Shindell *et al.*, 2016). La voiture électrique réduirait de 29 % les années de vie perdues sur son cycle de vie, en comparaison avec un véhicule à essence conventionnel, un effet largement attribuable à la diminution des quantités émises de polluants atmosphériques dans l'air (Centre international de référence sur le cycle de vie des produits, procédés et services [CIRAIG], 2016). La réduction pourrait être encore plus substantielle pour les véhicules mi-lourds ou lourds, tels que les autobus (W. Ke *et al.*, 2017; Xylia *et al.*, 2019). En revanche, les preuves scientifiques quant aux effets d'un changement de mode de transport des marchandises (p. ex., camionnage au train, train au bateau, bateau au pipeline, etc.) sur les polluants atmosphériques ne sont pas suffisantes pour affirmer avec certitude quel transfert serait le plus profitable sur le plan de la santé (Ramani *et al.*, 2019).

La tarification routière (p. ex., péage routier, surcharge lors de déplacements dans une zone à partir d'un système de caméra, etc.), les restrictions de circulation des véhicules motorisés et la diminution des vitesses ont aussi amené plusieurs résultats positifs dans la réduction des polluants atmosphériques et des émissions de GES dans les grandes villes (Slovic *et al.*, 2016). Quant aux voies réservées au covoiturage, les résultats dans la littérature sur leurs effets sur la santé (dont la qualité de l'air) sont mixtes, étant donné qu'elles peuvent autant encourager un transfert modal de l'auto solo vers le covoiturage que des modes de transports actif ou collectif vers le covoiturage (Hughes et Kaffine, 2019; Javid *et al.*, 2017; Shewmake, 2012).

Réduction générale des GES

Les mesures de réduction des GES auront comme bénéfices non seulement d'atténuer les changements climatiques et ses effets sur la pollution atmosphérique, mais également de réduire les concentrations de polluants atmosphériques à la source, incluant les précurseurs d'ozone. Cette réduction des quantités émises de polluants, et les bénéfices à la santé associés, pourraient contrebalancer les coûts associés aux mesures de réduction des GES (T. M. Thompson *et al.*, 2016). Une étude menée dans l'est de l'Amérique du Nord a démontré que les concentrations de polluants atmosphériques en 2050 pourraient s'abaisser en dessous des concentrations actuellement observées si la quantité produite de GES était réduite à un niveau intermédiaire (similaire au RCP4.5), en comparaison avec les émissions actuelles (similaire au RCP8.5) (J. Kelly *et al.*, 2012).

Au Canada, des chercheurs ont estimé que le scénario RCP4.5 entraînerait une réduction annuelle de 4 100 à 6 600 décès (cardiopulmonaires et dus aux cancers du poumon) en lien avec l'ozone et les particules fines pour les années 2030, 2050 et 2100 par rapport à l'an 2000, comparativement à un scénario de référence (voir **Tableau 6**) (J. J. West *et al.*, 2013). Ce scénario présume une croissance populationnelle et économique intermédiaire, une utilisation constante des sources d'énergie et du sol ainsi qu'une mise en œuvre limitée de politiques climatiques. Mondialement, les réductions seraient respectivement de 530 000, de 1 330 000 et de 2 240 000 décès pour les mêmes années.

Tableau 6 Réduction du nombre de décès découlant de la pollution atmosphérique pour le scénario RCP4.5 par rapport à l'an 2000, comparativement à un scénario de laisser-faire

Territoire	Nombre de décès évités*					
	2030		2050		2100	
	Ozone	PM _{2,5}	Ozone	PM _{2,5}	Ozone	PM _{2,5}
Canada	368	4 270	792	5 750	1 180	2 880
États-Unis	2 440	19 300	7 550	29 500	24 800	35 400
Europe (ouest)	4 130	23 700	9 100	32 200	21 600	41 700
Europe (est)	649	5 390	1 590	8 220	4 160	15 400
Mondial	90 700	440 000	202 000	1 130 000	719 000	1 520 000

* L'ozone inclut seulement les décès prématurés pour causes respiratoires, alors que les PM_{2,5} incluent les décès prématurés pour causes cardiopulmonaires et de cancers du poumon.

Source : J. J. West *et al.*, 2013.

Aux États-Unis, une évaluation comparant le même type de scénarios d'émissions de GES a conclu que 16 000 et 8 000 décès toutes causes occasionnés par l'ozone et les PM_{2,5} pourraient être évités en 2050 (Yuqiang Zhang *et al.*, 2017). Il se trouve que 62 % (ozone) et 15 % (PM_{2,5}) de ces réductions étaient attribuables aux diminutions de GES externes aux États-Unis. Une autre étude états-unienne a démontré que le nombre de décès prématurés évités par année pourrait s'élever à 36 000 (de 20 000 à 148 000) en moyenne après 2030 si le réchauffement global se limitait à 2 °C d'ici 2100, soit un scénario avec un niveau d'émissions légèrement inférieur au RCP4.5. À long terme, les auteurs ont estimé que les bénéfices sanitaires pourraient être multipliés par 5 si une réduction internationale de cette magnitude se réalisait (Shindell *et al.*, 2016). Une étude a confirmé ces résultats pour un réchauffement de 1,5 °C des températures d'ici 2100, avec 11 000 et 52 000 décès prématurés évités pour 2050 et 2100, comparativement à un scénario où la température mondiale se réchaufferait de 6 °C (similaire au RCP8.5) (Garcia-Menendez *et al.*, 2015). En Californie, une réduction de 80 % des émissions de GES d'ici 2050 abaisserait de 18 à 37 % les concentrations de PM_{2,5} dans les milieux urbains, évitant ainsi 12 000 décès annuellement (B. Zhao *et al.*, 2019).

Ces études mettent en lumière le rôle déterminant d'une stratégie multilatérale de réduction des GES. Elles indiquent également que les bénéfices monétarisés des réductions de la mortalité prématurée liée à la pollution atmosphérique excédaient les coûts d'implantation des mesures de réduction des GES pour l'an 2030 ou 2050. En revanche, une évaluation internationale arrivait à des résultats plus mitigés. Les auteurs ont plutôt estimé que les bénéfices associés à une réduction de la population couvraient de 7 à 41 % des coûts d'implantation des stratégies de réduction des GES aux États-Unis d'ici 2050 et de 7 à 81 % en Europe afin de restreindre le réchauffement global des températures à 1,5 ou 2 °C (Markandya *et al.*, 2018). Mondialement, le ratio bénéfices-coûts est néanmoins positif, variant de 1,4 à 2,4. Dans tous les cas, ces études n'incluent pas les bénéfices sanitaires n'étant pas reliés aux polluants atmosphériques.

Verdissement

Les végétaux absorbent les polluants atmosphériques avec leurs pores, capturent les particules fines sur leur surface collante (feuilles, troncs) et affectent la déposition (obstacle physique) ainsi que la dispersion (circulation du vent) de ces polluants (Abhijith *et al.*, 2017; Janhäll, 2015; Nowak *et al.*, 2013). Une étude réalisée à Londres a suggéré qu'une augmentation de 10 % du couvert arborescent réduirait la quantité de PM₁₀ de 1,1 à 2,6 % (Tallis *et al.*, 2011). Les arbres diminuaient également l'effet d'îlot de chaleur et pouvaient ainsi contribuer à atténuer la transformation de certains polluants en ozone lors de chaleurs importantes. La végétalisation du milieu permettait une meilleure gestion des eaux pluviales et pouvait ainsi réduire les infiltrations d'eau dans le bâtiment et limiter la prolifération de moisissures.

Des barrières végétales assez poreuses et proches des sources de pollution accroissent l'efficacité de la végétation à épurer l'air tout en diminuant l'effet de déposition (Janhäll, 2015). En revanche, les arbres en bordure de rue dans les canyons urbains peuvent piéger les émissions des véhicules à la hauteur des voies respiratoires (Abhijith *et al.*, 2017; Kessler, 2013). Une revue de la littérature a démontré que les haies basses ainsi que les murs et les toits verts seraient plus efficaces que les arbres pour diminuer les quantités de polluants en bordure de rue et dans les canyons urbains (Abhijith *et al.*, 2017). Une végétalisation appropriée dans un canyon urbain peut réduire de 7 à 30 % les quantités de PM₁₀ et de NO₂ (Pugh *et al.*, 2012). L'entretien des espaces verts et de la forêt urbaine est également un facteur important afin de minimiser le taux de mortalité des arbres. Une réduction de moitié de la mortalité annuelle peut augmenter jusqu'à environ 4 fois la quantité de polluants atmosphériques absorbés et jusqu'à 6 fois la quantité de carbone séquestrée (Morani *et al.*, 2011). La végétation peut également émettre des COV biologiques, même si elle absorbe généralement plus de polluants qu'elle en produit, sans compter les pollens (voir section 8.4.3 **Les mesures physiques d'adaptation aux allergènes**) (Barwise et Kumar, 2020). Plusieurs espèces, entre autres certaines des genres *Cedrus* (cèdre), *Pinus* (pin), *Celtis* (micocoulier) ou *Acer* (érable), tolèrent bien la pollution atmosphérique et possèdent plusieurs caractéristiques (p. ex., forte canopée, hauteur avec feuillage, feuilles complexes ou petites) favorables à la captation des polluants, tout en émettant des concentrations faibles ou modérées de COV ou de pollens (Barwise *et al.*, 2020; Kumar *et al.*, 2019).

Bien que les arbres et les arbustes puissent capter davantage de polluants, le verdissement des infrastructures constitue une option intéressante en milieu urbain, où la plantation d'arbres au sol peut être difficile en raison de l'espace restreint (Currie et Bass, 2008; Jayasooriya *et al.*, 2017). Un mètre carré de toit vert peut réduire en moyenne les émissions annuelles de particules fines d'une voiture (Rowe, 2011). Une étude a également démontré que chaque hectare (10 000 m²) de toit vert pouvait capter 85 kg de polluants atmosphériques, la moitié de ce total comprenant de l'ozone (Yang *et al.*, 2008). Dans une évaluation des effets d'une implantation généralisée de toits verts à Manchester (Royaume-Uni), des auteurs ont estimé qu'elle pourrait réduire de 2,3 % les

concentrations de PM₁₀ (Speak *et al.*, 2012). La capacité des toits verts à absorber des polluants dépendra principalement des types de plantes, de la densité de végétation ou de surface foliaire, de la profondeur du substrat, de la localisation du toit vert (hauteur et proximité des sources de pollution) et de la circulation de l'air à proximité (Vijayaraghavan, 2016). Les toits intensifs (végétation haute) sont ainsi plus efficaces que les toits extensifs (végétation basse) (Currie *et al.*, 2008). Les murs végétalisés ne sont pas à négliger, puisqu'ils sont plus près du sol et des sources de polluants (Perini *et al.*, 2013).

Les études démontrent bien les effets bénéfiques de la végétation sur les concentrations de polluants atmosphériques et les impacts associés sur la santé, quoique l'amplitude de ces effets varie (M. Beaudoin *et al.*, 2017). Une étude menée dans 86 villes canadiennes, dont les plus peuplées, a déterminé que le couvert végétal avait réduit de 30 le nombre de décès et de 22 000 les épisodes de symptômes respiratoires aigus en 2010 en raison de la capture de polluants atmosphériques par la canopée (tableau 7) (Nowak *et al.*, 2018). Aux États-Unis, ces réductions s'élevaient à 850 décès et 670 000 symptômes respiratoires aigus pour la même année, des effets sanitaires se traduisant par des gains économiques évalués à 6,8 milliards annuellement (1,5 à 13 milliards en dollars américains courants de 2010) (Nowak *et al.*, 2014). Ils découleraient d'une réduction d'un peu moins de 1 %, indiquant que même une mince amélioration de la qualité de l'air peut apporter des résultats substantiels. Pour l'étude canadienne, les effets sur la santé équivalaient à des économies de 52,5 à 402,6 millions annuellement, en dollars canadiens courants de 2010.

Parmi les 19 municipalités québécoises évaluées, les chercheurs de l'étude canadienne ont estimé une réduction annuelle d'environ 8 décès découlant de la captation d'ozone et de PM_{2,5} par la canopée. Des villes comme Québec, Sherbrooke ou Gatineau n'affichaient qu'une réduction d'un décès tous les 1 à 3 ans, et d'autres, comme Belœil, Rimouski, Shawinigan ou Victoriaville, s'approchaient plutôt d'une réduction de 1 décès après plus de 12 ans. Ces résultats limités peuvent s'expliquer dans plusieurs cas par le faible niveau de végétation de certaines villes et la proportion importante de conifères. Il reste que la superficie arborescente de ces municipalités éviterait 7 593 maladies ou symptômes respiratoires, essentiellement l'exacerbation de l'asthme et les symptômes respiratoires aigus.

Bâtiments

En date de 2016, la réglementation au Québec touchant les bâtiments faisait rarement mention de la QAI de façon directe, encore moins d'un point de vue des changements climatiques, même si plusieurs guides et normes ont été développés pour encadrer la QAI dans certains types de bâtiments (p. ex., hôpitaux, centres d'hébergement et de soins de longue durée [CHSLD], etc.) (Gervais *et al.*, 2016; Poulin *et al.*, 2016). Certaines normes de bâtiments, telles que LEED, incluent souvent directement ou indirectement des dispositions relatives à la QAI, mais la plupart ne sont pas obligatoires (Poulin *et al.*, 2016). Une approche intégrée devrait être adoptée pour les bâtiments afin de considérer les effets des changements climatiques sur la QAI, d'impliquer les parties prenantes pertinentes (telles que les organisations de santé publique, l'industrie de la construction et les autorités gouvernementales), et d'émettre des directives en la matière (Levasseur, Poulin, *et al.*, 2017; Poulin *et al.*, 2016).

Plusieurs aspects du bâtiment peuvent limiter l'exposition aux polluants atmosphériques. Entre autres, une réduction du taux de renouvellement de l'air des bâtiments abaisse l'infiltration passive de polluants extérieurs (Rosofsky *et al.*, 2019). Cependant, un bâtiment trop étanche peut augmenter l'exposition aux polluants ambiants de sources intérieures. Les bâtiments plus vieux affichent souvent un taux de renouvellement de l'air plus élevé, les résidents étant ainsi exposés à des concentrations supérieures de polluants ambiants (Poulin *et al.*, 2016; Rosofsky *et al.*, 2019). Les bâtiments plus

étanches et mieux isolés diminuent également la chaleur intérieure et, par le fait même, la formation de certains polluants intérieurs, de même que les infiltrations d'eau pouvant amener une humidité excessive et la prolifération de moisissures ou d'allergènes (Gervais *et al.*, 2016).

La ventilation est également essentielle à considérer dans la conception des bâtiments pour diminuer l'exposition aux polluants ambiants. Les auteurs d'une étude réalisée dans 83 maisons unifamiliales de la région de la Capitale-Nationale ont d'ailleurs estimé que l'installation d'un système de ventilation récupérateur de chaleur ou d'énergie diminuait les concentrations de formaldéhyde, de spores, de toluène et d'autres composés chimiques dans l'air (Lajoie *et al.*, 2015). Ils ont aussi observé une réduction des symptômes de respiration sifflante chez les enfants habitant ces logements, mais la différence avec le groupe contrôle pour les symptômes asthmatiques n'était pas significative sur le plan statistique.

Tableau 7 Effets estimés sur la santé, la charge des établissements et la productivité de la réduction des polluants atmosphériques attribuables à la canopée (2010)

Ville	Superficie arborescente	Maladies/symptômes respiratoires*	Admissions à l'hôpital ou à l'urgence	Décès**	Jours de travail/d'école perdus**
Belœil	21,6 %	42,9	0,1	0,04	7,3
Châteauguay	22,3 %	80,3	0,3	0,08	12,0
Drummondville	31,2 %	89,2	0,2	0,06	16,1
Gatineau	30,6 %	439,9	1,0	0,49	69,4
Granby	36,8 %	146,9	0,4	0,13	26,1
Joliette	30,3 %	54,1	0,1	0,08	8,5
Montréal	22,7 %	3 866,4	7,1	4,20	540,1
Québec	47,0 %	1 580,3	3,2	1,18	219,0
Rimouski	9,8 %	18,0	0,1	0,02	3,5
Saguenay	32,8 %	322,1	0,6	0,39	43,9
Saint-Hyacinthe	8,6 %	24,2	0,1	0,02	4,1
Saint-Jean-sur-Richelieu	39,9 %	212,9	0,3	0,20	31,8
Saint-Jérôme	14,6 %	45,5	0,1	0,06	6,7
Salaberry-de-Valleyfield	27,2 %	38,9	0,1	0,05	6,9
Shawinigan	39,3 %	68,0	0,2	0,08	11,3
Sherbrooke	44,7 %	294,1	0,5	0,33	53,2
Sorel	33,1 %	50,2	0,2	0,08	7,8
Trois-Rivières	36,3 %	174,6	0,5	0,22	28,7
Victoriaville	23,7 %	44,1	0,1	0,06	7,2
Total	-	7 592,6	15,2	7,77	1 103,6

* Ces nombres incluent les exacerbations de l'asthme, les symptômes respiratoires aigus ou des voies respiratoires (inférieures et supérieures) et les bronchites (aiguës ou chroniques).

** Ozone et PM_{2,5} seulement, contrairement aux autres effets qui incluent le NO₂ et le SO₂.

Source : Nowak *et al.*, 2018.

La ventilation peut être naturelle, mécanique ou centralisée. La ventilation naturelle, c'est-à-dire l'ouverture des fenêtres, peut être problématique, car elle exige une action de la part des occupants. Or, ces derniers opteront pour ce type de ventilation en fonction de leur confort perçu et des coûts d'énergie (Bangalee *et al.*, 2012; Sharpe *et al.*, 2015; I. C. Ward, 2008). De plus, elle ne peut garantir à elle seule un taux de renouvellement acceptable de l'air, en plus de favoriser l'infiltration de polluants extérieurs (Poulin *et al.*, 2016; Sharpe *et al.*, 2015). Pour ce qui est de la ventilation mécanique, elle s'observe déjà dans la plupart des logements au Québec, principalement dans la salle de bain ou par l'intermédiaire de hottes au-dessus de la cuisinière. Elle peut faciliter les échanges d'air entre l'intérieur et l'extérieur ou être modulée afin d'assurer une recirculation de l'air intérieur. Une ventilation optimale devrait permettre de diluer les contaminants intérieurs et d'optimiser le confort thermique tout en limitant la pénétration des contaminants extérieurs (Gervais *et al.*, 2016; Poulin *et al.*, 2016). Autrement, la ventilation mécanique peut simplement faciliter l'infiltration de polluants ambiants extérieurs (Spiru et Simona, 2017).

L'installation systématique d'un système de climatisation dans les bâtiments pourrait limiter l'infiltration d'air en limitant l'ouverture des fenêtres (Gervais *et al.*, 2016). Cependant, cette option n'est pas nécessairement accessible aux personnes avec un revenu moindre, sans compter qu'une utilisation généralisée peut accroître la chaleur extérieure et, possiblement, la formation d'ozone (L. W. Davis et Gertler, 2015; de Munck *et al.*, 2013; Lundgren, Kuklane, *et al.*, 2013; Salamanca *et al.*, 2014). Sinon, l'implantation d'un système centralisé et intelligent de ventilation ajustant automatiquement le taux de renouvellement de l'air en fonction des conditions intérieures et extérieures (quantités de polluants, humidité, chaleur, etc.) permettrait d'optimiser les échanges d'air afin de minimiser l'exposition aux polluants ambiants (Laverge *et al.*, 2011; Hongbin Liu *et al.*, 2014; Woloszyn *et al.*, 2009). Les systèmes centralisés ou les unités portables munis d'un filtre (comme HEPA [*high efficiency particulate air*]) peuvent également diminuer fortement les quantités de polluants dans l'air ambiant, bien qu'il s'agisse de systèmes coûteux (Poulin *et al.*, 2016). En somme, l'installation et l'entretien assidu d'un système adaptable de climatisation et de ventilation mécanique avec un récupérateur d'air vicié (échangeur de chaleur) et d'un système de filtration de l'air, combiné à une meilleure étanchéité du bâtiment, amélioreraient la QAI et limiteraient l'infiltration de polluants extérieurs (Spiru *et al.*, 2017; Vardoulakis *et al.*, 2015).

8 Allergènes

8.1 Les effets des changements climatiques sur les tendances et les projections des sources d'allergènes

L'accroissement des concentrations de CO₂ dans l'atmosphère influence l'exposition aux allergènes de plusieurs façons. Les phénomènes suivants en sont principalement à l'origine (Beggs, 2015; Bielory *et al.*, 2012; D'Amato *et al.*, 2014; Demers, 2013; Lake *et al.*, 2017; Sierra-Heredia *et al.*, 2018; Sittaro *et al.*, 2017; Ziello *et al.*, 2012) :

- Le réchauffement des températures raccourcit la période de gel et allonge conséquemment la période de croissance des plantes et la saison pollinique;
- Les plantes se nourrissant de CO₂, une augmentation des émissions fait en sorte de promouvoir leur croissance, la production de pollens de même que leur potentiel allergénique;
- Les précipitations et l'humidité favorisent la croissance des plantes allergènes et diminuent la dispersion des aéroallergènes en favorisant leur dépôt au sol, alors que les conditions sèches entraînent l'effet inverse en plus de faciliter la rupture des anthères (c.-à-d. les parties fertiles des étamines, soit les sacs qui contiennent le pollen) et la libération des grains de pollen;
- Le réchauffement des températures pourrait favoriser l'expansion territoriale de certaines plantes et d'autres sources d'allergènes, dont certains insectes et micro-organismes;
- La dispersion des allergènes dans l'air est fortement influencée par le vent, quoique l'effet du réchauffement des températures sur le vent reste encore incertain au Québec;
- Les changements climatiques pourront changer l'exposition aux pollens allergènes en influençant certains comportements, comme le temps passé à l'extérieur ou dans des milieux avec des concentrations polliniques élevées (p. ex., activités en nature) ainsi que l'adoption de certaines mesures d'adaptation (p. ex., ouverture des fenêtres par temps chaud).

8.1.1 CROISSANCE, EXPANSION ET ALLERGÉNICITÉ DES PLANTES ALLERGÈNES

Au Québec, la durée de la saison de croissance pour les cultures (nombre de jours au-dessus de 5 °C) s'est accrue de 25,6 jours de 1948 à 2016 (X. Zhang *et al.*, 2019). Pour la même période, une augmentation de 182,3 du nombre de degrés-jours¹⁹ de croissance pour les cultures (c.-à-d. la somme des degrés quand la température moyenne est au-dessus de 5 °C) a été observée. Déjà de 1994 à 2002, la durée de la saison pollinique a augmenté de 62 % (de 42 à 68 jours) à Montréal (Breton *et al.*, 2006). Les concentrations polliniques ont ainsi augmenté, quoiqu'à différents degrés en fonction des régions (Ouranos, 2015). Dans certaines régions, le nombre de degrés-jours au-dessus de 5 °C pourrait presque doubler d'ici la fin du siècle pour le scénario RCP8.5 en comparaison avec 2010 (ECCC, s. d.). Un scénario d'émissions modérées limiterait cette hausse à un maximum d'environ 50 % dans la plupart des régions. Selon toute vraisemblance, la saison pollinique et la croissance des plantes allergènes devraient continuer à augmenter. Les arbres (pollinisation au printemps), comme les bouleaux, les aulnes, les frênes et les peupliers, les graminées (pollinisation au printemps et à l'été) et les mauvaises herbes, comme l'herbe à poux (pollinisation à la fin de l'été et à l'automne), figurent parmi ces plantes allergènes (D'Amato *et al.*, 2014; Demers, 2013; PolleNation, 2012). En 2015, des experts ont considéré que près de 75 % de la population québécoise habitait dans une région où croît l'herbe à poux, qui constitue la plante la plus allergène au Québec, et il est prévu que ce chiffre augmente à 95 % d'ici 2050 (Larrivée *et al.*, 2015).

¹⁹ Les degrés-jours sont les degrés cumulés dans une journée lorsque la température moyenne quotidienne franchit une température seuil.

L'augmentation des épisodes de précipitations extrêmes et d'orages pourrait aussi influencer l'exposition aux pollens allergènes. Ce type d'événements peut faire éclater les grains de pollen, libérant ainsi ses composantes allergènes, alors plus puissantes et facilement inhalables (D'Amato *et al.*, 2013, 2014). Certains polluants atmosphériques peuvent aussi déformer les parois des grains de pollen et entraîner leur rupture. Les fragments de ces grains, de taille plus petite, peuvent alors pénétrer plus profondément et atteindre les bronches (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail [ANSSAET], 2014). Des vents forts peuvent aussi transporter sur plusieurs kilomètres des particules polliniques (Schweitzer *et al.*, 2018).

8.1.2 AUTRES ALLERGÈNES INFLUENCÉS PAR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

En plus des pollens, les changements climatiques pourraient influencer la croissance, la force allergénique et la dispersion des moisissures, des champignons et d'autres sources d'allergènes (p. ex., *Alternaria*, insectes, etc.) (Beggs, 2015; Bielory *et al.*, 2012). Entre autres, un réchauffement des températures et une augmentation de l'humidité accroissent les concentrations de spores fongiques (Blando *et al.*, 2012). Les inondations, les précipitations et l'humidité affectent aussi la prolifération des moisissures et la QAI (Azuma *et al.*, 2014; Poulin *et al.*, 2016).

Les interactions entre les insectes, dont les insectes piqueurs du genre *Hymenoptera* ou *Solenopsis* (abeilles, guêpes, fourmis, etc.), et les humains s'altèrent à mesure que le climat change. Quelques études semblent démontrer une hausse des populations et de l'allergénicité des venins de ces insectes allergènes de même qu'une expansion nordique qui pourraient se perpétuer avec les changements climatiques (Bielory *et al.*, 2012; Vega et Castro, 2019). L'effet net sur ces insectes n'est cependant pas évident, d'autant plus que d'autres facteurs, comme l'expansion urbaine, l'agriculture et les pesticides, peuvent influencer négativement leur distribution et leur croissance. Le potentiel allergène de certains aliments, comme les arachides, et de l'herbe à puce pourrait aussi être influencé par les changements climatiques (Beggs et Walczyk, 2008; Katelaris et Beggs, 2018; Ziska *et al.*, 2016).

8.2 Les effets des allergènes sur la santé

8.2.1 ALLERGIES

Une des principales conséquences de l'exposition au pollen est la rhinite allergique saisonnière (aussi « rhume des foins ») qui provoque des écoulements nasaux, des éternuements ainsi que, dans une moindre proportion, des conjonctivites, des sinusites, de la fatigue, des difficultés à se concentrer et une réduction de la productivité (Keith *et al.*, 2012). Environ 75 % de ces cas de rhinite allergique au Québec seraient causés par les pollens (Canuel et Lebel, 2014). Au Québec, 18 % de la population québécoise âgée de 15 ans et plus a manifesté des symptômes de rhinite allergique au cours des 12 derniers mois selon l'Enquête québécoise sur la santé de la population (EQSP) de 2015 (MSSS, 2019a). Les deux tiers des Canadiens souffrant de rhinite allergique ont déclaré que cette condition perturbait leur mode de vie (Keith *et al.*, 2012). Parmi les espèces polliniques allergènes se retrouvant au Québec, l'herbe à poux est de loin la plus allergène, avec 50 à 90 % des cas de rhinite allergique qui y seraient associés (Comtois et Gagnon, 1988; Demers, 2013). L'augmentation et l'exacerbation des symptômes de rhinite allergique en raison des changements climatiques peuvent aussi accroître la demande pour des services de santé. Par exemple, une étude réalisée à Montréal de 1994 à 2002 a démontré un risque de consultation pour des problèmes liés à la rhinite allergique de 2 à 3 fois plus important lorsque les concentrations de pollens d'herbe à poux étaient élevées (Breton *et al.*, 2006). Cette association était valide le jour même de l'exposition et jusqu'à 5 jours suivant la survenue de ces concentrations, à l'exception du 4^e jour, où aucun effet n'était observé.

En plus d'être exposés à des concentrations polliniques plus élevées, les individus sont exposés plus tôt et sur une plus longue période aux aéroallergènes, ce qui peut accroître davantage leur sensibilisation à ce type de pollens (Ariano *et al.*, 2010; D'Amato *et al.*, 2014; J.-H. Kim *et al.*, 2012). Une étude réalisée en Europe a indiqué que le nombre de personnes sensibilisées à l'herbe à poux doublerait minimalement pour la période 2041-2060 dans le cas d'un scénario d'émissions modérées (RCP4.5) et d'une expansion normale de l'herbe à poux (Lake *et al.*, 2017). Les personnes sensibilisées à un type de pollens auront aussi tendance à le devenir plus facilement pour d'autres types d'allergènes, des pollens d'arbres aux acariens (Ellis *et al.*, 2010; Sierra-Heredia *et al.*, 2018).

La sensibilité aux pollens allergènes peut aussi amener un individu à réagir à des allergènes de nature alimentaire (réactivité croisée), et inversement. Au Québec, les élèves ayant eu une respiration sifflante étaient 2 fois plus susceptibles d'avoir reçu un diagnostic d'allergies alimentaires que les autres en 2010-2011 (Canuel, 2019). Pour citer quelques exemples, certaines réactions croisées ont été observées entre le bouleau et les pommes ainsi qu'entre l'herbe à poux et les bananes ou les melons (Popescu, 2015). Une augmentation des personnes allergiques aux plantes comestibles s'observe également dans le monde occidental (de 3 à 4 % pour les adultes; le double pour les enfants), une tendance qui pourrait s'intensifier avec une exposition accrue aux pollens allergènes (Burks, 2015). La sensibilisation à des allergènes, peu importe leur source, peut aussi entraîner des problèmes cutanés, particulièrement de l'eczéma (Hammer-Helmich *et al.*, 2014; Schoefer *et al.*, 2008; Sheffield *et al.*, 2011).

Les personnes affichant à la fois une allergie aux pollens et une allergie alimentaire seraient plus susceptibles de développer une œsophagite à éosinophiles (type de globules blancs) causant l'inflammation de l'œsophage et des symptômes tels qu'une déglutition douloureuse ou difficile, des reflux d'estomac, de la toux et des douleurs à la poitrine ou au ventre (Mahdavinia *et al.*, 2017; van Rhijn *et al.*, 2013). Il s'agit d'un problème de santé émergent en Occident et dont l'incidence pourrait s'intensifier avec une exposition accrue aux allergènes.

En quantité suffisante, les spores fongiques et les moisissures provoquent des effets similaires à la rhinite allergique et exacerbent les symptômes de l'asthme (Association des Allergologues et Immunologues du Québec [AAIQ], 2016b; Gouvernement du Québec, 2019). Elles peuvent également causer des conditions comme l'aspergillose broncho-pulmonaire, des pneumopathies d'hypersensibilité, des sinusites allergiques, des dermatites et de l'eczéma (Katelaris *et al.*, 2018). Pour les piqûres d'insectes, de 1 % à 4 % de la population y serait allergique (AAIQ, 2016a). Les réactions sont généralement locales et bénignes (p. ex., rougeur, enflure, légère douleur), mais dans approximativement 10 % des cas, elles sont systémiques et plus graves (p. ex., urticaire généralisée, réaction anaphylactique).

8.2.2 ASTHME

Les allergies, dont celles aux pollens, sont aussi associées à l'asthme (Beggs, 2015; Olaniyan *et al.*, 2016; Schoefer *et al.*, 2008). Aux États-Unis, plus des deux tiers des personnes asthmatiques sont allergiques aux pollens, une proportion pouvant s'élever à 90-95 % chez certaines populations (Craig, 2010; Lafeuille *et al.*, 2013). Pour chaque augmentation d'un quartile des concentrations d'aéroallergènes, une étude réalisée dans 9 milieux urbains au Canada a démontré une hausse de plus de 2 % des hospitalisations ayant pour cause des symptômes relatifs à l'asthme (Dales *et al.*, 2008). Les personnes asthmatiques affichaient aussi un taux de mortalité plus élevé. Ce taux pour les personnes atteintes d'asthme au Canada était 50 % plus élevé que pour celles qui n'en souffraient pas, entre autres parce que l'asthme est associé à des facteurs de comorbidité comme les MPOC, les troubles anxieux et de l'humeur, l'hypertension et le diabète (Agence de la santé publique du

Canada [ASPC], 2018). Une étude de Chicago a aussi conclu que le risque de décéder de symptômes asthmatiques doublait lors des jours avec des concentrations de moisissures au-dessus de 1 000 spores/m³ comparativement à des concentrations en dessous de cette valeur (Targonski *et al.*, 1995).

Malgré la prépondérance de l'herbe à poux dans le développement de la rhinite allergique, les pollens rejetés par les arbres et les graminées pourraient avoir des effets plus importants sur les problèmes asthmatiques. À Montréal, des chercheurs ont estimé que les admissions à l'urgence pour des troubles asthmatiques chez les enfants âgés de 9 ans et moins augmentaient de 1,7 à 2,1 % par hausse de 10 grains/m³ des concentrations de pollens de graminées 3 jours après l'exposition, un effet positif aussi observé 4 jours après l'exposition pour les réadmissions à l'urgence (Héguy *et al.*, 2008). Ils ont aussi évalué que l'effet des concentrations de pollens de l'herbe à poux diminuait les admissions à l'urgence jusqu'à 2 ou 3 jours après l'exposition, alors que l'effet inverse était généralement supposé.

Des études effectuées dans l'est des États-Unis semblent aussi démontrer que les pollens rejetés par les arbres auraient des effets plus importants et plus durables sur les problèmes asthmatiques que l'herbe à poux (Gleason *et al.*, 2014; X. Sun *et al.*, 2016). Par exemple, une étude effectuée à Atlanta a indiqué que les admissions à l'urgence pour l'asthme s'amplifiaient de 10 à 15 % jusqu'à un délai de 3 jours après les journées où les concentrations de pollens d'arbres de type *Quercus* (chênes) et les graminées étaient les plus élevées (5 % des jours avec les concentrations les plus élevées par rapport aux 50 % avec les concentrations les plus basses) (Darrow *et al.*, 2012). Aucune association avec l'herbe à poux n'a été décelée. En France, chaque augmentation de 10 grains/m³ de pollens de bouleaux a été associée à un risque accru de 7 % et de 17 % de présenter des symptômes allergiques oculaires et bronchiques, jusqu'à un plateau de 70 grains/m³ (Caillaud, Martin, *et al.*, 2014). Des résultats d'intensité parfois plus élevée, parfois moindre, en fonction de la période, ont été calculés pour les concentrations de pollens provenant de l'herbe à poux (Caillaud, Thibaudon, *et al.*, 2014). Finalement, les auteurs d'une étude réalisée dans les États du Massachusetts et de New York auprès d'une cohorte de 432 enfants de 4 à 12 ans sensibilisés aux pollens ont estimé que les symptômes respiratoires et l'utilisation de médicaments pour l'asthme se manifestaient à des concentrations de pollens aussi basses que 6 grains/m³ pour les mauvaises herbes et de 3 grains/m³ pour les graminées (DellaValle *et al.*, 2012). Ces études semblent ainsi indiquer que les effets sur la santé des pollens d'arbres et de graminées peuvent se faire sentir à des concentrations polliniques assez basses et, minimalement, jusqu'à 3 jours après l'exposition aux pollens (Ito *et al.*, 2015).

Les épisodes de tempêtes ou d'orages peuvent aussi induire une épidémie d'asthme dans la population souffrant d'allergies aux pollens. Par exemple, une étude effectuée dans la Nouvelle-Galles du Sud en Australie a évalué que 48 % des jours épidémiques d'asthme en été correspondaient à un épisode d'orage, alors que les services d'urgence de Londres ont reçu 9 fois plus de patients que la normale sur une période de 30 heures à cause de symptômes respiratoires lors d'un orage en 1994 (D'Amato *et al.*, 2012, 2016). Les polluants atmosphériques peuvent également présensibiliser les individus aux pollens en irritant les muqueuses respiratoires, en augmentant leur perméabilité ou en servant de véhicules aux pollens allergènes jusqu'aux parties inférieures du système respiratoire (ANSSAET, 2014; D'Amato, 2002; Olaniyan *et al.*, 2016; Sario *et al.*, 2013). À ce sujet, une étude menée en Hongrie a suggéré que les admissions à l'urgence en lien avec l'asthme culminaient lorsque les concentrations de pollens et de polluants atmosphériques atteignaient leur maximum annuel, une période coïncidant avec la saison pollinique de l'herbe à poux (Makra *et al.*, 2012). Cet effet amplificateur n'a cependant pas toujours été décelé dans d'autres études (Gleason *et al.*, 2014; Héguy *et al.*, 2008).

8.2.3 SANTÉ PSYCHOLOGIQUE

La rhinite allergique a été associée à plusieurs effets sur la santé psychologique. Particulièrement, elle augmenterait le risque de dépression, d'anxiété, de comportement agressif et de privation de sommeil (Manalai *et al.*, 2012; Muñoz-Cano *et al.*, 2018; Postolache, Langenberg, *et al.*, 2008; Sansone et Sansone, 2011; Trikojat *et al.*, 2017), et pourrait être associée au suicide (Postolache, Komarow, *et al.*, 2008). Une étude a démontré que l'apparition de rhinite allergique à l'adolescence avait une incidence sur le risque de dépression à l'âge adulte (M.-H. Chen *et al.*, 2013). La nature de la relation entre la santé mentale et la sensibilisation allergique reste néanmoins à développer.

Une relation entre l'asthme et certains effets négatifs sur la santé psychologique a aussi été établie. En 2002, les Canadiens souffrant d'asthme avaient un risque de développer une dépression majeure (aOR = 1,6), un épisode maniaque (1,9) un trouble panique (1,7), un trouble d'anxiété sociale (1,5) et un état de stress post-traumatique (2,6) plus élevé que les personnes sans problème d'asthme, en plus d'utiliser plus souvent les services de santé (Goodwin *et al.*, 2010). Au Québec, les élèves ayant eu des sifflements dans la poitrine étaient plus susceptibles d'avoir reçu un diagnostic de dépression (11 % contre 3 %), d'anxiété (16 % contre 7 %) ou de trouble de l'alimentation (5 % contre 1 %) que les autres élèves (Canuel, 2019). Ces effets pourraient apparaître, que l'asthme soit de cause allergique (atopique) ou autre (non atopique) (Coban et Aydemir, 2014).

8.2.4 MALADIES CARDIOVASCULAIRES ET SANTÉ PÉRINATALE

L'exposition au pollen pourrait aussi avoir un impact sur le risque de maladie cardiovasculaire en entraînant un stress accru. En Ontario, une étude a déterminé que le risque d'être hospitalisé pour un infarctus était 5,5 % plus élevé les jours où les concentrations de pollens se situaient dans le tercile supérieur plutôt que dans le tercile inférieur, indépendamment des concentrations de polluants atmosphériques (Weichenthal, Lavigne, *et al.*, 2016). En Californie, le suivi d'une cohorte de 203 595 adultes pendant 12 ans a permis de démontrer que les personnes allergiques avaient un risque 31 % plus élevé de souffrir d'une maladie coronarienne (26 % pour les maladies cérébrovasculaires et 11 % pour l'insuffisance cardiaque) (Iribarren *et al.*, 2012). À New York, les auteurs d'une étude ont aussi estimé que, lors des jours de hautes concentrations de pollens de graminées, le nombre d'admissions à l'urgence pour un AVC augmentait d'environ 20 % en comparaison avec les jours sans pollens (Low *et al.*, 2006).

Les pollens pourraient également provoquer un accouchement précoce par l'activation du système immunitaire et des cytokines causant une réaction inflammatoire des organes reproducteurs (Gomez-Lopez *et al.*, 2014). Une étude réalisée en Ontario a démontré que les concentrations de pollens diminuaient la durée de gestation sans toutefois affecter de façon notable le taux d'accouchements précoces (É. Lavigne, Gasparrini, *et al.*, 2017). Un effet similaire a été constaté pour les concentrations de spores fongiques. L'exposition aux pollens durant la grossesse pourrait également sensibiliser l'enfant aux pollens (voir section 8.3 **Les populations à risque par rapport aux allergènes**).

8.2.5 COÛTS SOCIAUX DES EFFETS SUR LA SANTÉ

Sans tenir compte des changements climatiques, les coûts gouvernementaux et sociaux associés au pollen sont estimés à 3,5 milliards pour la période 2015-2065 (Larrivée *et al.*, 2015). En considérant les changements climatiques, il faut ajouter à ce montant 477 millions en coûts sociaux et 359 millions en coûts de santé directs (c.-à-d. charge du réseau de la santé et des services sociaux), pour un cumulatif d'environ 4,3 milliards et un montant annuel de 86 millions en moyenne pour la période. Une étude précédente a évalué les coûts sociaux et gouvernementaux de l'herbe à poux à

150 millions annuellement en dollars de 2005 (Tardif, 2008). Puisque le pollen n'entraîne pas directement des pertes de vie, les coûts sociaux comprennent principalement les pertes de productivité et de bien-être découlant de l'absentéisme et du présentéisme – directement ou indirectement en s'occupant d'un enfant ou d'un proche souffrant des effets des pollens allergènes – ainsi que de l'achat de médicaments.

8.3 Les populations à risque par rapport aux allergènes

8.3.1 ÂGE

Plusieurs études ont démontré que la santé respiratoire des enfants était atteinte même à la suite d'une faible exposition à des allergènes (voir section 8.2.2 **Asthme**) (Darrow *et al.*, 2012; DellaValle *et al.*, 2012; Héguy *et al.*, 2008; Olaniyan *et al.*, 2016; Schmier et Ebi, 2009). Plus l'enfant avance en âge, plus il risque de manifester des symptômes d'allergie ou de rhinite allergique (Hammer-Helmich *et al.*, 2014). Chez les élèves québécois, 14 % ont déclaré avoir reçu un diagnostic d'asthme en 2010-2011, alors que 18 % ont affirmé avoir eu la respiration sifflante dans les 12 derniers mois (Canuel, 2019). En revanche, les enfants n'étaient pas nécessairement plus atteints par l'asthme que les adultes. Au Québec, aucune différence statistiquement significative dans la prévalence de l'asthme n'a été observée entre les tranches d'âge (MSSS, 2018b). Les adolescents et les jeunes adultes tendraient tout de même à afficher une prévalence plus élevée que les autres groupes d'âge, dont les enfants, bien que la mortalité associée à l'asthme soit plus élevée pour les personnes plus âgées (Doucet *et al.*, 2020). Toujours au Québec, la prévalence de respiration sifflante a augmenté chez les élèves de 2010 à 2011 et de 2016 à 2017, mais pas les crises d'asthme (Lebel *et al.*, 2020). Une étude menée à New York a aussi indiqué que l'achat de médicaments contre les allergies et les admissions à l'urgence étaient jusqu'à 40 % plus fréquentes chez les enfants de 5 à 17 ans que chez les adultes, en comparant les jours sans pollens avec les pics de concentrations polliniques rattachées à 9 types d'arbres (Ito *et al.*, 2015).

Malgré tout, les enfants constituent un groupe d'âge pour lequel une attention particulière doit être portée. Le développement d'allergies et de l'asthme pourraient faciliter l'apparition de comorbidité, comme des problèmes de santé mentale, des troubles du développement ou d'autres allergies (M.-H. Chen *et al.*, 2013; Goodwin *et al.*, 2013; Popescu, 2015). Les enfants pourraient aussi être plus facilement sensibilisés aux allergènes que les adultes, alors que la réactivité aux allergènes diminuerait avec l'âge (Beggs, 2015; Bjerg *et al.*, 2016; Jung *et al.*, 2010; Sekerková et Poláčková, 2011). Au Québec, les moins de 65 ans affichent une prévalence plus haute de rhinite allergique que les plus de 65 ans (Canuel *et al.*, 2014). Même si leur réactivité aux allergènes est moindre, les personnes âgées auraient tout de même un risque plus élevé d'être hospitalisées pour un infarctus lorsqu'elles sont exposées à des concentrations importantes de pollens (Weichenthal, Lavigne, *et al.*, 2016).

De plus, une exposition à des allergènes en jeune âge, et même dans le ventre de la mère, accroît la possibilité de développer des allergies et des problèmes respiratoires. En Suède, l'exposition à des niveaux élevés de pollens dans les 12 dernières semaines de grossesse a été associée à un risque plus élevé d'être hospitalisé à cause de symptômes asthmatiques dans la première année de vie de l'enfant (A. J. Lowe *et al.*, 2012). En Californie, des auteurs ont estimé que les enfants exposés dans les 3 premiers mois de leur vie à des concentrations plus élevées de spores fongiques (p. ex., basidiospores et ascospores) et de pollens allergènes (tous types) présentaient un risque plus élevé de souffrir de difficultés respiratoires dans les 2 premières années de leur existence (Harley *et al.*, 2009). Plusieurs autres études ont aussi démontré une association plus générale entre la naissance pendant la saison pollinique et la sensibilisation aux pollens ou à l'asthme (É. Lavigne, Gasparini, *et al.*, 2017; Sheffield *et al.*, 2011).

8.3.2 SEXE

Les femmes subiraient davantage les contrecoups des allergènes pour des raisons potentiellement en lien avec les hormones, la réponse immunitaire, la capacité pulmonaire, la perception de la douleur et les comportements (Zein et Erzurum, 2015). Une méta-analyse a montré que les hommes seraient plus affectés par la rhinite allergique et l'asthme pendant l'enfance, mais qu'une transposition s'effectuerait à l'adolescence (Fröhlich *et al.*, 2017). Au Québec, les femmes affichaient une prévalence de rhinite allergique (20 % contre 16 %) et d'asthme (9,7 % contre 7,7 %) plus élevée que les hommes (Canuel *et al.*, 2014; MSSS, 2019a). Une étude menée en Ontario a également souligné que les femmes étaient hospitalisées plus souvent que les hommes pour un infarctus, en fonction des concentrations de pollens (Weichenthal, Lavigne, *et al.*, 2016).

Même si elles affichent une prévalence plus élevée d'asthme, les femmes pourraient ne pas être plus susceptibles de développer des symptômes asthmatiques en lien avec l'exposition aux allergènes. Une étude effectuée en 2004 dans 10 villes canadiennes hors Québec a indiqué que les femmes étaient hospitalisées pour des symptômes asthmatiques moins souvent que les hommes lorsqu'elles s'exposaient à des concentrations de pollens ou de spores fongiques (Cakmak *et al.*, 2005). En Europe, l'augmentation de la proportion de femmes souffrant d'asthme n'était pas différente de celle des hommes pour l'asthme atopique (allergénique), contrairement aux résultats pour l'asthme non atopique (Leynaert *et al.*, 2012). Malgré tout, il a été estimé, en Californie, que les femmes asthmatiques étaient 49 % plus susceptibles de subir une maladie cardiovasculaire – 22 % pour les maladies cérébrovasculaires – en comparaison avec les personnes non asthmatiques, alors que l'aggravation du risque pour les hommes était respectivement de 28 % et de 16 % (Iribarren *et al.*, 2012).

8.3.3 STATUT SOCIO-ÉCONOMIQUE

Les résultats dans la littérature scientifique quant à l'influence de l'éducation et du revenu sur la prévalence de la rhinite allergique, de l'asthme et de leurs symptômes respiratoires et dermatologiques s'avèrent mitigés (Bergmann *et al.*, 2000; Hammer-Helmich *et al.*, 2014; Victorino et Gauthier, 2009). À Montréal, une étude a conclu que le risque de consulter pour la rhinite allergique après un jour de concentrations élevées de pollens d'herbe à poux était presque 2 fois plus élevé pour les personnes à faible revenu que pour les personnes à haut revenu (Breton *et al.*, 2006). Une étude réalisée à Copenhague a plutôt indiqué que le risque de souffrir de rhinite allergique et d'asthme serait de 50 à 70 % plus élevé pour les enfants dont les parents ont un faible niveau de scolarité, comparativement aux parents avec le niveau de scolarité le plus élevé, quoique l'inverse a été relevé pour l'eczéma (Hammer-Helmich *et al.*, 2014). Le revenu n'avait aucune incidence sur l'apparition de ces effets, alors que le chômage diminuait le risque pour l'enfant de développer de l'eczéma. Une étude menée au Japon est arrivée aux conclusions inverses, le risque d'avoir un diagnostic d'asthme ou de souffrir de respiration sifflante étant plutôt de 2,4 à 2,7 fois plus élevé pour les enfants dont la mère avait 15 années d'éducation ou plus, comparativement à celles avec moins de 13 années, avec une relation en sens contraire pour l'eczéma (Miyake *et al.*, 2012). Le statut d'emploi et le revenu n'avaient aucun effet dans ce dernier cas.

La raison de ces résultats divergents n'est pas élucidée, mais une sensibilisation accrue dans les extrêmes d'exposition aux allergènes – par une surexcitation (milieux défavorisés moins aseptisés) ou un manque d'accoutumance (milieux favorisés plus aseptisés) du système immunitaire – pourrait l'expliquer. La QAI au domicile (p. ex., tabagisme et utilisation du poêle à bois plus prévalents chez les ménages à faible revenu), l'exposition aux polluants atmosphériques (p. ex., les milieux défavorisés peuvent être plus exposés) et les conditions de logement influencent aussi vraisemblablement ces résultats.

8.3.4 HABITUDES DE VIE

Les fumeurs ou les personnes fortement exposées à la fumée de cigarette présentent également un risque plus élevé de développer de l'asthme ou de manifester des symptômes plus sévères, puisque la fumée inhalée sensibilise le système respiratoire et affaiblit le système immunitaire (Domagala-Kulawik, 2008; McLeish et Zvolensky, 2010; Polosa et Thomson, 2013). Ils sont également moins réactifs aux médicaments contre l'asthme (N. C. Thomson et Chaudhuri, 2009). Au Québec, la prévalence des symptômes de rhinite allergique était plus élevée chez les fumeurs dans la population en général, alors que les élèves fumeurs, ou habitant un ménage avec au moins un membre fumeur, affichaient des symptômes ou avaient eu un diagnostic d'asthme dans une plus grande proportion (Canuel, 2019; Canuel *et al.*, 2014). Les élèves obèses ou sédentaires étaient aussi plus susceptibles de déclarer ces résultats.

À ce titre, quelques études ont suggéré un lien entre le surpoids, l'asthme et les allergies du fait que le surpoids accroît l'inflammation systémique des poumons et le risque de comorbidité (p. ex., diabète, hypertension, etc.), en plus de décroître la capacité pulmonaire et le niveau d'hormones anti-inflammatoires (Bråbäck *et al.*, 2005; Ciprandi *et al.*, 2008; Holguin *et al.*, 2011; Mosen *et al.*, 2008; Shore, 2008). L'asthme pourrait également affecter le risque de surpoids en rendant plus difficile l'activité physique. Une étude menée dans 8 pays européens a conclu qu'une croissance de l'IMC au-delà de la norme dans les 2 premières années de vie accroissait le risque d'asthme jusqu'à l'âge de 6 ans (Rzehak *et al.*, 2013). Des résultats semblables ont été estimés à Manchester (Royaume-Uni), où les enfants en surpoids à l'âge de 3 ans affichaient un risque 4 fois plus important d'être accablés de façon permanente par une respiration sifflante et un risque 1,8 fois plus important d'éprouver une variété persistante d'eczéma.

Une étude réalisée dans 2 villes de l'ouest des États-Unis (Portland et Denver) a démontré quant à elle que les personnes avec un IMC au-dessus de 25 avaient un risque plus important d'être hospitalisées pour des symptômes asthmatiques (4,6 fois), de déclarer une qualité de vie médiocre liée à l'asthme (2,8) et d'avoir un faible contrôle de ses symptômes (2,7), comparativement aux personnes avec un IMC inférieur à 25 (Mosen *et al.*, 2008). Les médicaments pour soulager les symptômes de l'asthme ou d'allergies pourraient également constituer un prédicteur de maladie cardiovasculaire ou de sentiments négatifs chez les personnes asthmatiques, en particulier les corticostéroïdes oraux (Iribarren *et al.*, 2012; Postolache, Komarow, *et al.*, 2008). Les travailleurs extérieurs, ou dont le milieu de travail est propice à la prolifération de moisissures par temps chaud et humide, pourraient aussi être plus exposés aux allergènes.

8.3.5 LOCALISATION

Les populations rurales et urbaines affichent des prévalences d'asthme semblables, mais les allergies aux aéroallergènes seraient plus présentes en milieu urbain, alors que les concentrations d'aéroallergènes abondent davantage en milieu rural, avec l'exception possible des spores fongiques (Bosch-Cano *et al.*, 2011; D'Amato *et al.*, 2014; Sierra-Heredia *et al.*, 2018; Statistique Canada, 2015). De plus, les concentrations de polluants atmosphériques, qui peuvent exacerber les effets des aéroallergènes, s'élèvent à des niveaux supérieurs aux milieux ruraux ou périurbains dans les milieux urbanisés. Les conditions climatiques plus favorables comparativement aux milieux ruraux pourraient aussi y allonger la saison pollinique et favoriser la croissance des plantes allergènes (Hjort *et al.*, 2016; Katz *et al.*, 2019). La mauvaise qualité de sol et les perturbations multiples en milieu urbain contribuent également à la croissance de mauvaises herbes allergènes comme l'herbe à poux (Ziska *et al.*, 2007). D'autres facteurs relatifs à la morphologie urbaine pourraient exacerber l'exposition aux pollens (voir section 8.4.3 **Les mesures physiques d'adaptation aux allergènes**). Au Québec, certaines régions sont exposées à des concentrations plus abondantes ou délétères de pollens. En

2008, les régions où l'herbe à poux était abondante (Montréal, Outaouais, etc.) affichaient une prévalence de rhinite allergique 2,6 fois supérieure aux régions où elle était rare ou absente, telles que la Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine et la Côte-Nord (15,4 % contre 5,9 %) (Demers, 2013).

8.4 Les mesures d'adaptation aux allergènes

8.4.1 LES MESURES INDIVIDUELLES D'ADAPTATION AUX ALLERGÈNES

Médication et allaitement

Les personnes asthmatiques et allergiques aux pollens disposent de plusieurs médicaments pour atténuer leurs symptômes. Les antihistaminiques, les corticostéroïdes et les antileucotriènes sont les options les plus connues (Sierra-Heredia *et al.*, 2018). Une prise régulière, et avant l'exposition aux aéroallergènes, aiderait à atténuer davantage les symptômes de la rhinite allergique saisonnière (Keith *et al.*, 2012). Les corticostéroïdes inhalés seraient plus efficaces pour soulager les symptômes de l'asthme que les antileucotriènes, mais les effets secondaires de ce premier (ostéoporose, insuffisance surrénalienne, cataracte, changements cutanés et même pneumonie) sont substantiels et affectent la qualité de vie des utilisateurs (Chauhan et Ducharme, 2012; Rochat et Janssens, 2012; Singh et Loke, 2010). L'immunothérapie (sous-cutanée ou sublinguale) peut aussi diminuer la sévérité des réactions allergiques, particulièrement si elle s'effectue juste avant la période pollinique, et affiche un faible risque de réaction allergique systémique (Ihler et Canis, 2015; James et Bernstein, 2017; Ozdemir *et al.*, 2016).

L'allaitement maternel pourrait diminuer le risque que l'enfant développe des troubles asthmatiques ou allergiques. Une méta-analyse chiffrait cette réduction du risque d'asthme (récent ou dans la vie) et de respiration sifflante de 20 à 25 % pour les enfants allaités, avec un effet protecteur plus prononcé pour les 2 premières années de vie (Dogaru *et al.*, 2014). Dans une étude canadienne menée auprès de 3 296 enfants, les enfants non allaités (lait commercial) ou partiellement allaités (alternance entre lait maternel exprimé, commercial et allaitement) pendant les 3 premiers mois présentaient à l'âge de 3 ans un risque d'asthme de 1,6 à 2,1 fois supérieur aux enfants exclusivement allaités (Klopp *et al.*, 2017).

Comportements et habitudes de vie

Les individus peuvent aussi moduler leurs sorties et leurs comportements au jour le jour pour limiter leur exposition, principalement :

- Éviter les sorties lors de périodes de grandes concentrations de pollens en été. L'herbe à poux et d'autres types de plantes allergènes relâchent généralement plus de pollens en avant-midi, de 5 à 10 heures (Barnes *et al.*, 2001; Demers, 2013). Les personnes allergiques pourraient ainsi éviter de sortir trop longtemps durant cette période et lors des journées sèches ou orageuses, qui peuvent augmenter l'inhalation des composantes allergènes des pollens et leur force allergénique (D'Amato *et al.*, 2016).
- Éviter d'ouvrir les fenêtres au domicile ou dans un véhicule et privilégier les autres options de rafraîchissement comme l'air climatisé et la ventilation en cas de chaleur (R. K. Bush, 2011).
- Laver ses cheveux et ses vêtements régulièrement, et changer de vêtements après le retour au domicile pour chacun des résidents (adultes et enfants).
- Utiliser des lunettes de soleil et un chapeau, ou d'autres éléments pouvant diminuer l'exposition du visage aux aéroallergènes (p. ex., masque, chandail avec un collet, pilosité faciale, etc.).

Le surpoids et le tabagisme étant associés à l'asthme et aux allergies, l'adoption de saines habitudes de vie (p. ex., activité physique, alimentation saine, abandon du tabagisme) pourrait diminuer la probabilité de se sensibiliser aux aéroallergènes ou de tempérer la sévérité des symptômes (Bråbäck *et al.*, 2005; Domagala-Kulawik, 2008; Holguin *et al.*, 2011; McLeish *et al.*, 2010; Mosen *et al.*, 2008; Polosa *et al.*, 2013; Shore, 2008). Finalement, quelques études ont soulevé que la présence d'un animal domestique au domicile pendant l'enfance pouvait influencer autant positivement que négativement le développement d'allergies aux pollens et aux animaux à un âge plus avancé (Baxi et Phipatanakul, 2010; Bjerg *et al.*, 2016; Sierra-Heredia *et al.*, 2018).

8.4.2 LES MESURES POPULATIONNELLES ET INSTITUTIONNELLES D'ADAPTATION AUX ALLERGÈNES

Campagne de sensibilisation

La sensibilisation de la population aux mesures à mettre en œuvre pour se protéger des contrecoups des aéroallergènes pourrait en stimuler l'adoption (Tuzlak, 2016). Les messages devraient inclure les mesures individuelles d'adaptation sur lesquelles les individus ont un certain contrôle, entre autres l'évitement des sorties extérieures en avant-midi pendant et après un temps orageux ou sec, la fermeture des fenêtres au domicile et dans le véhicule, le lavage et le changement des vêtements lors de l'entrée au domicile et le port d'accessoires pouvant bloquer l'atteinte des aéroallergènes au visage (p. ex., lunettes de soleil, chapeau, etc.) (voir section 8.4.1 **Les mesures individuelles d'adaptation aux allergènes**).

La sensibilisation auprès des propriétaires fonciers quant à l'importance d'arracher les plants d'herbe à poux et de planter des arbres ou des graminées à faible teneur allergène est aussi à envisager. Un sondage effectué dans la région de Lanaudière a mis en évidence que seulement 25 % des propriétaires fonciers rejoints avaient une forte intention d'éliminer l'herbe à poux sur leurs terrains (Hakizimana *et al.*, 2012). La croyance que l'élimination de l'herbe à poux permettrait d'améliorer la santé des individus constituait le principal déterminant d'adoption. Cela indique qu'une partie substantielle des personnes sondées estimaient que l'herbe à poux n'était pas un problème de santé publique assez important pour agir ou que l'éradication de l'herbe à poux n'améliorait pas suffisamment la qualité de vie pour s'y affairer.

Un projet réalisé à Montréal a justement évalué les effets d'une stratégie de communication auprès de propriétaires de terrains infestés par l'herbe à poux après avoir mesuré la présence de la plante sur ces terrains avant et après la mise en œuvre de la stratégie (Plante *et al.*, 2016). Les messages expliquaient les impacts de l'herbe à poux sur la santé et proposaient que les terrains soient tondus 2 fois pendant l'été, au moment de la pollinisation. Les résultats ont suggéré que les propriétaires ayant reçu 4 avis étaient 3 fois plus susceptibles d'avoir tondu les plants d'herbe à poux sur leur terrain comparativement aux propriétaires ayant reçu 1 seul avis. L'effet était plus prononcé auprès des propriétaires de terrains vacants. Néanmoins, aucun effet n'a été observé pour les propriétaires ayant reçu 3 avis. Cette étude semble démontrer que le contenu et la répétition du message importent pour convaincre les individus d'adopter des mesures d'adaptation.

Surveillance

Puisque les concentrations de pollens peuvent varier de façon substantielle à l'intérieur même d'une ville, elles devraient être mesurées à plusieurs endroits (Katz *et al.*, 2019; Werchan *et al.*, 2017). La surveillance des concentrations polliniques (pollens et moisissures) pourrait être intégrée aux stations de surveillance de la qualité de l'air (Werchan *et al.*, 2017). Ces stations ne devraient pas être installées sur les toits, puisque les concentrations de pollens en hauteur ne concordent pas avec celles observées au niveau de la rue (R. G. Peel *et al.*, 2014). De plus, les concentrations polliniques ne correspondent pas toujours au niveau d'allergénicité de ces concentrations (Plaza *et al.*, 2016).

Plutôt que de se contenter de moyennes journalières ou d'indices généraux de pollens, des procédés pour obtenir des données en temps réel des stations avec les concentrations spécifiques aux principaux pollens peuvent être employés (Crouzy *et al.*, 2016). Ils permettraient de mieux prévenir les personnes en fonction de leur type d'allergies et de faciliter l'évaluation des associations entre les concentrations allergéniques et les symptômes correspondants.

La concordance entre la prise de médicaments et les périodes de concentrations d'aéroallergènes élevées accroît l'efficacité du contrôle des symptômes allergiques et asthmatiques (Keith *et al.*, 2012; Sierra-Heredia *et al.*, 2018). Par conséquent, la disponibilité de ces informations pour la surveillance des concentrations d'aéroallergènes s'avère cruciale pour que les individus adoptent des mesures préventives. Certains sites comme MétéoMédia proposent des prévisions pour les pollens, mais la connaissance de ces sources, leur utilisation et leur influence sur les comportements dans la population n'ont pas été évaluées (MétéoMédia, s. d.). De plus, la surveillance des pollens demeure déficiente dans plusieurs régions canadiennes comparativement à l'Europe ou aux États-Unis (Buters *et al.*, 2018).

8.4.3 LES MESURES PHYSIQUES D'ADAPTATION AUX ALLERGÈNES

Forme urbaine et environnement bâti

Peu d'études se sont penchées sur les effets de l'environnement bâti sur la dispersion, la rétention ou les impacts des aéroallergènes. À Helsinki, des auteurs ont évalué que les pourcentages de lots vacants, de champs et de forêts composées de feuillus influençaient à la hausse les concentrations de pollens allergènes de graminées (*Poaceae*) jusqu'à 1 km de distance, alors que la densité de bâtiments avait l'effet contraire (Hjort *et al.*, 2016). Les forêts mixtes (conifères et feuillus) et les parcs n'avaient pas d'incidence sur ces concentrations. En ce qui concerne les canyons urbains (endroits hauts et étroits) ainsi que les surfaces imperméables, ils peuvent favoriser la déposition, la rétention et la remise en suspension d'aéroallergènes et de polluants atmosphériques (Yuan *et al.*, 2014). Les concentrations pourront également être plus élevées d'un côté de la rue à cause des mouvements circulaires des vents (R. G. Peel *et al.*, 2014). L'angle et l'agencement des bâtiments de même que leur positionnement par rapport aux vents et aux polluants influencent aussi la dispersion des particules (Hassan *et al.*, 2020). Une étude menée à New York a quant à elle conclu que la densité et la hauteur des bâtiments, ainsi que la distance entre ces derniers et les plans d'eau, n'influaient pas sur les concentrations polliniques d'arbres (Weinberger, Kinney, *et al.*, 2018). Les effets de la hauteur et de la densité des bâtiments sur l'exposition aux aéroallergènes ne font donc pas l'unanimité. D'un autre côté, les formes urbaines privilégiant les modes de transport actif, généralement plus denses, pourraient diminuer l'impact des allergènes en réduisant les émissions de polluants atmosphériques (J. Beaudoin *et al.*, 2015; D'Amato, 2002; D'Amato *et al.*, 2014; Sario *et al.*, 2013). Bien qu'ils puissent accroître les concentrations d'allergènes, les arbres peuvent aussi diminuer la dispersion des particules et filtrer l'air (Janhäll, 2015). Un équilibre entre densité, hauteur et position des bâtiments, verdissement non allergène, diminution des émissions de polluants atmosphériques et gestion des corridors de vents semble être de mise pour diminuer les effets néfastes des pollens allergènes, principalement en milieu urbain.

Sélection et emplacement des espèces végétales allergènes

Quelques mesures peuvent être prises pour diminuer l'exposition aux aéroallergènes tout en profitant des bénéfices associés au verdissement. Notamment, le choix des essences d'arbres et de graminées ainsi que leur emplacement méritent une attention particulière. Les milieux urbains font face actuellement à un problème de sexisme botanique; de 74 à 94 % des arbres plantés dans de nombreuses villes canadiennes, dont Edmonton, Halifax, Montréal, Toronto et Vancouver, sont mâles et donc porteurs de pollens (PolleNation, 2012). Les administrations municipales privilégient les

plantes mâles pour éviter d'avoir à nettoyer les graines et les fruits produits par les plantes femelles. Pourtant, ces arbres ont un potentiel allergène élevé. Le sexe des arbres devrait ainsi être considéré dans les décisions municipales. Les pelouses (graminées) sont également allergènes. Les municipalités ont la capacité d'encourager le remplacement des pelouses par des couvre-sol non allergènes, des plates-bandes fleuries, des jardins potagers ou d'autres espèces végétales indigènes non allergènes (Demers et Gosselin, 2019).

Les arbres monoïques (à la fois mâle et femelle) ou pollinisés par les insectes plutôt que par le vent affichent un potentiel allergène moins élevé que les plants mâles des arbres dioïques (espèce mâle et femelle différente) (Cariñanos *et al.*, 2019; Pablos *et al.*, 2016). En plus des plants femelles des arbres dioïques, les conifères, les cerisiers, les pommiers, les mélèzes, les cornelliers et autres essences font partie de cette catégorie d'arbres à plus faible potentiel allergène (PolleNation, 2012). Certains végétaux auront aussi une période pollinique plus longue. Minimale, un rééquilibrage entre les plants mâles et les plants femelles réduirait en définitive les concentrations polliniques dans l'air. L'accessibilité aux espaces verts en dépend également puisque les personnes allergiques pourraient ne pas les fréquenter si des espèces allergènes s'y sont établies (Cariñanos *et al.*, 2019).

L'emplacement et la densité des plantes importent également. La zone d'influence du pollen dépasse largement la localisation du plant d'herbe à poux. Elle s'étend de 300 à 1000 m et peut ainsi facilement atteindre les milieux résidentiels plus denses (Demers, 2013). À New York, des chercheurs ont estimé que chaque augmentation de 1 % de la canopée dans un rayon de 500 m élevait en moyenne de 1,9 % la quantité ambiante de pollens (Weinberger, Kinney, *et al.*, 2018). Certaines plantes peuvent aussi être implantées afin de compétitionner avec d'autres plantes allergènes comme l'herbe à poux. Les populations d'herbe à poux se font rares dans des milieux où le couvert végétal est dense et bien établi, contrairement aux terrains vacants et aux abords de routes (Beaumont et Massicotte, 2006; Demers, 2015; Kervran *et al.*, 2015).

Méthode de contrôle

Les campagnes de tonte de l'herbe à poux réalisées au moment de sa pollinisation peuvent réduire jusqu'à 5 fois les quantités de graines produites et jusqu'à 9 fois les quantités de pollens (Simard et Benoit, 2011). Dans la plupart des régions du Québec et au cours d'un été normal, la pollinisation de l'herbe à poux se produit autour de la mi-juillet et de la mi-août, bien que les régions plus froides (à l'est et au nord) puissent observer une croissance et une pollinisation plus tardives. L'est du Québec, par exemple, aura une pollinisation de l'herbe à poux jusqu'à un mois plus tard que des régions comme Montréal. Le moment de pollinisation pourra arriver plus rapidement lors d'étés plus chauds et avec l'augmentation des degrés-jours qu'entraînent les changements climatiques. Le moment de la tonte devrait ainsi être adapté aux contextes régionaux.

La Ville de Granby a tiré profit de cette stratégie de tonte en se débarrassant de l'herbe à poux sur 91 % de ses terrains infestés, alors que la Ville de Trois-Rivières l'a éradiquée sur plus de 300 km de linéaires routiers (MSSS, 2016). À la suite de ces interventions, les concentrations polliniques observées étaient respectivement 2 et 5 fois moindres aux sites où des opérations de contrôle avaient été mises en œuvre. Une étude a également démontré les effets sur la santé d'une stratégie de mobilisation communautaire et d'un plan d'action triennal de réduction de l'herbe à poux à Salaberry-de-Valleyfield à partir d'un échantillon de 440 personnes (Direction de santé publique de la Montérégie, 2012). Les individus allergiques à l'herbe à poux habitant un lieu où des interventions intensives ont été mises en place présentaient une légère diminution de la sévérité des symptômes nasaux et oculaires de même qu'une amélioration de la qualité de vie perçue comparativement au groupe témoin.

Même si l'herbe à poux se retrouve dans toutes les catégories d'utilisation du sol en milieu anthropique, ces campagnes d'arrachage ou de tonte devraient cibler les milieux plus propices à la prolifération de l'herbe à poux, comme les abords de rue, les zones industrielles, les sites d'utilité publique et les terrains vacants, afin d'en améliorer l'efficacité (Kervran *et al.*, 2015). L'herbe à poux survit bien dans des conditions difficiles (p. ex., salinité du sol élevé), mais elle est peu compétitive (Lavoie *et al.*, 2007). C'est pourquoi elle est très présente aux abords de routes pavées, une présence qui augmente avec le niveau de circulation et la superficie d'espace sur les côtés propices à la croissance de plantes (Joly *et al.*, 2011). La tonte du premier mètre de l'accotement sur les routes pavées (nationales, puis municipales) à une hauteur d'environ 10 cm permet ainsi d'en diminuer fortement la présence sur le territoire (Joly *et al.*, 2011; Lavoie *et al.*, 2007). L'herbe à poux peut aussi se propager facilement dans les rives et les terres agricoles peu compétitives (p. ex., plantes de faible hauteur). Une méthode de télédétection de la probabilité de la présence de l'herbe à poux a été développée et testée au Québec afin de faciliter le ciblage de ces terrains propices (Ngom et Gosselin, 2014). Lors de tests effectués dans la grande région de Montréal de 2011 à 2013, la méthode a atteint un taux de réussite de 60 à 80 %. Elle devra être améliorée et testée dans des milieux moins urbanisés avant de pouvoir généraliser son usage (Demers *et al.*, 2019; Ngom *et al.*, 2014).

D'autres techniques de contrôle de l'herbe à poux et d'autres pollens allergènes existent. Par exemple, la méthode thermique (eau bouillante ou vapeur d'eau) présente une efficacité certaine pour éliminer l'herbe à poux, mais elle représente un risque pour les végétaux à proximité, sans compter ses coûts élevés (Beaumont *et al.*, 2006; Demers, 2015; Demers *et al.*, 2019). Elle peut néanmoins être appropriée là où la biodiversité est faible, le long des rues par exemple. L'application de pesticides peut aussi être envisagée sur des terrains avec une large superficie, mais son coût demeure important (équipement et personnel spécialisés, suivi régulier à effectuer), alors que son efficacité n'est pas nécessairement supérieure à la tonte – dépendamment du pesticide utilisé –, sans compter qu'une application répétée peut accroître la résistance des plantes aux pesticides (Demers *et al.*, 2019; Dinelli *et al.*, 2013).

9 Incendies de forêt

9.1 Les effets des changements climatiques sur les tendances et les projections des incendies de forêt

9.1.1 DONNÉES HISTORIQUES

La superficie forestière affectée par des incendies a doublé au Canada de 1970 au début des années 2000, une hausse essentiellement attribuable aux changements climatiques (Gillett *et al.*, 2004). Les auteurs d'une étude ont estimé que le risque d'incendie pour la période 2010-2020 dans l'Ouest canadien serait 1,5 à 6 fois plus important qu'il l'aurait été sans émissions anthropogéniques de GES (Kirchmeier-Young *et al.*, 2017). Les changements climatiques auraient augmenté la superficie incendiée de 7 à 11 fois pendant les saisons d'incendies extrêmes (Kirchmeier-Young *et al.*, 2019). Au Québec, une diminution de la fréquence des incendies de forêt a été observée pendant le 20^e siècle pour le sud du Québec, mais le réchauffement dans les années récentes suggère une augmentation des périodes sèches propices aux feux (Bergeron *et al.*, 2011; M. P. Girardin *et al.*, 2013). Les données historiques pour le nord du Québec démontrent plutôt une tendance à la hausse (M. P. Girardin *et al.*, 2013).

Trois raisons expliquent ces différences. Premièrement, le réchauffement des températures allonge la saison propice aux incendies de forêt. Entre autres, l'intérieur de la Colombie-Britannique, l'Alberta et le nord de l'Ontario ont chacun observé un allongement de leur saison des incendies (Albert-Green *et al.*, 2013; Hanes *et al.*, 2019). Au Québec, la durée de la saison de croissance s'est allongée de 26 jours pendant la période de 1948 à 2016 (X. Zhang *et al.*, 2019). Deuxièmement, des conditions plus chaudes accroissent la survenue d'éclairs qui augmentent le risque d'incendie (Romps *et al.*, 2014). Troisièmement, le réchauffement des températures assèche les combustibles forestiers, à moins d'une augmentation considérable des précipitations (Flannigan *et al.*, 2016).

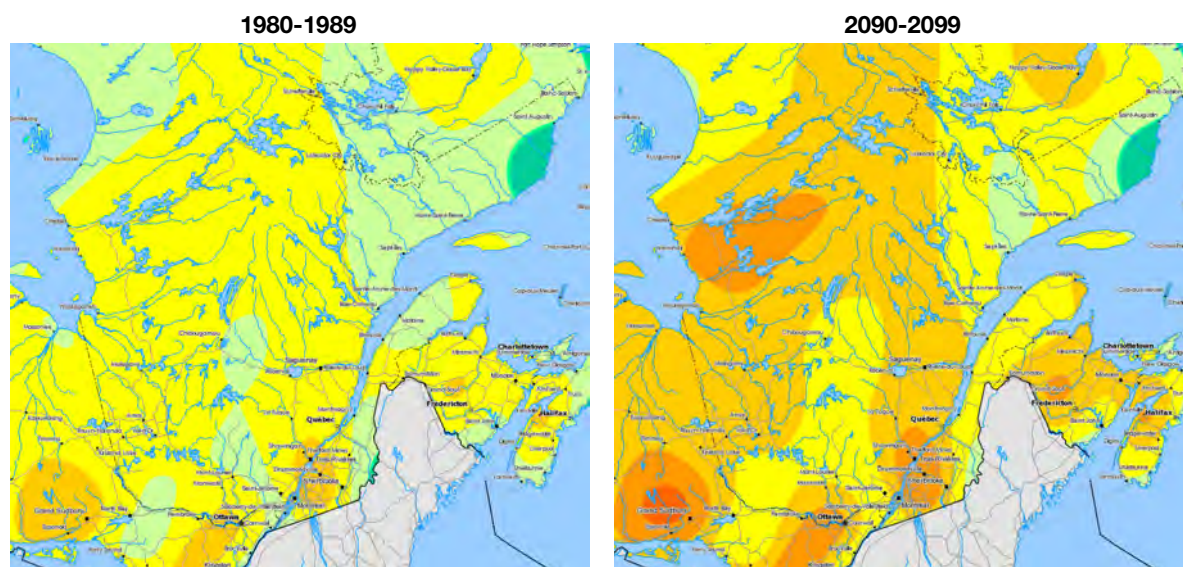
9.1.2 PROJECTIONS

Des auteurs ont projeté une augmentation de 50 à 100 % de la fréquence des incendies pour le Québec d'ici la fin du siècle par rapport au passé récent (1961-1999) (Boulanger *et al.*, 2014; Flannigan *et al.*, 2009; M. P. Girardin *et al.*, 2013). Le nombre de jours propices aux incendies de forêt pourrait quant à lui passer de 26 % à plus de 200 % pour les mêmes périodes. Ces projections sont associées à une large plage d'incertitude, principalement liée à l'incertitude climatique, allant d'un facteur d'environ 1,5 jusqu'à 3 fois plus d'activité par rapport à la période de référence. Pour le scénario RCP8.5, le nombre de jours d'incendies intenses pourrait se multiplier par au moins 2 pour la période 2020-2040 et par 6 pour la période 2081-2100, comparativement à un scénario sans changements climatiques, pour une part importante du Québec (Wotton *et al.*, 2017). L'allongement de la saison de croissance pourrait contribuer à cette augmentation du risque de feu de forêt. Elle pourrait s'allonger de 19 et de 50 jours pour les périodes 2031-2050 et 2081-2100 respectivement, en utilisant le scénario RCP8.5 (X. Zhang *et al.*, 2019).

En revanche, une autre étude a suggéré que les jours d'incendies avec une large superficie brûlée au Québec pourraient diminuer pour les périodes 2011-2040 et 2041-2070 pour augmenter substantiellement en 2071-2100 (**Figure 6**) (Hope *et al.*, 2016). Cette situation s'expliquerait par le fait que les forêts mixtes (feuillus et conifères) devraient remplacer une certaine proportion de la forêt boréale, constituée essentiellement de conifères, alors que ces derniers sont plus propices à la propagation du feu que les feuillus (Terrier *et al.*, 2013). À plus long terme, l'effet d'assèchement des changements climatiques compenserait cet effet. La majorité des scénarios de changements

climatiques au Canada n'apporterait pas de hausses de précipitations suffisantes pour compenser l'effet d'assèchement causé par le réchauffement des températures, même si l'inverse a plutôt été observé par le passé (Flannigan *et al.*, 2016). Ainsi, 23 des 30 années de la période 2071-2100 pourraient surpasser les années avec les plus importantes superficies brûlées (75^e percentile) observées de 1980 à 2009 pour le scénario RCP8.5, mais seulement 6 pour la période 2041-2070 (Hope *et al.*, 2016). Le scénario de forte diminution des émissions de GES (RCP2.6) amènerait une réduction plus importante des incendies et de la superficie brûlée par rapport aux données historiques pour l'ensemble des périodes. Le réchauffement printanier pourrait aussi mener à des changements dans le régime des incendies de la forêt boréale du nord-est de l'Amérique du Nord, en favorisant des incendies printaniers de plus grande taille (A. A. Ali *et al.*, 2012).

Figure 6 Cartes d'indice de gravité saisonnier des incendies de forêt



Note : plus la couleur tire sur le rouge, plus l'indice de gravité saisonnier est élevé.
Source : Ressources naturelles Canada, 2019.

Les émissions de polluants atmosphériques lors de incendies de forêt sont principalement à considérer sur le plan de la santé. Quatre facteurs influencent leur quantité : la superficie incendiée, la quantité de combustibles brûlée, le degré de complétude de la combustion et la quantité de polluants émise par mesure de combustible brûlé (facteur d'émission). La quantité de combustibles brûlés et la superficie incendiée devraient augmenter dans l'ensemble des forêts canadiennes d'ici 2100 à cause des changements climatiques (Wotton *et al.*, 2017). Dans la région sud du Bouclier canadien, la superficie annuelle incendiée pourrait augmenter d'environ 50 % d'ici la fin du siècle par rapport à la période 1975-1995 (Amiro *et al.*, 2009). De plus, les incendies de forêt contribuent fortement aux changements climatiques en libérant le CO₂ séquestré par les végétaux, 71 % de la fumée des incendies de forêt étant composée de ce gaz (Yongqiang Liu *et al.*, 2014).

En définitive, dans un scénario de triplement de la teneur atmosphérique en CO₂, la superficie de forêt brûlée et les émissions de polluants des incendies de forêt pourraient doubler d'ici la fin du siècle à travers le Canada (Amiro *et al.*, 2009; Flannigan *et al.*, 2005, 2009). Malgré tout, des changements dans la composition de la végétation pourraient diminuer ce potentiel, notamment en raison d'un possible enfeuillage de certaines régions boréales découlant d'un réchauffement des températures (M. P. Girardin *et al.*, 2013; Ouranos, 2015). Les feuillus affichent une plus faible inflammabilité, ce qui pourrait compenser partiellement l'effet des conditions météorologiques (M. P. Girardin *et al.*, 2013; Ouranos, 2015).

9.1.3 EFFETS EN CASCADE DES INCENDIES DE FORÊT

Les incendies de forêt peuvent aussi augmenter le risque d'inondation et de glissement de terrain. Ils consomment le couvert végétal et durcissent le sol, accroissant ainsi le ruissellement et le risque d'inondation lors de pluies abondantes (Jordan et Covert, 2009; Rengers *et al.*, 2016). De plus, ce ruissellement accru accélère l'érosion du sol et intensifie les coulées de débris, soit deux facteurs de risque pour la survenue de glissements de terrain (DeGraff *et al.*, 2009; Jordan, 2016). Les incendies de forêt fragilisent également les rives et augmentent conséquemment l'érosion côtière aux endroits affectés. De plus, les rejets et les conséquences des incendies de forêt (p. ex., retombées des émissions, plantes mortes, sédiments, etc.) influencent les concentrations de polluants dans l'eau (voir section 11 **Pollution de l'eau et insalubrité des aliments**).

9.2 Les effets des incendies de forêt sur la santé

Le fardeau sanitaire associé aux incendies de forêt est principalement lié aux émissions de polluants atmosphériques tels que les particules fines, le monoxyde de carbone, les NO_x et les COV (Black *et al.*, 2017). La composition de la fumée des incendies de forêt est hautement variable et dépendra du type de végétation et des conditions météorologiques, entre autres choses. Il reste important d'évaluer l'impact de la fumée des incendies de forêt puisqu'elle peut se propager sur de longues distances et affecter ainsi des populations habitant à plusieurs milliers de kilomètres du lieu de combustion (Le *et al.*, 2014; Lutsch *et al.*, 2016). Lors des incendies de forêt dans le nord du Québec en 2002 et en 2010, les concentrations d'ozone et de NO_x avaient quadruplé à Boston comparativement à la normale, tandis que les concentrations de particules fines avaient décuplé (Kang *et al.*, 2014). Tout comme avec les autres sources de polluants atmosphériques, la fumée des incendies de forêt créerait de l'inflammation et un stress oxydatif tout en pouvant réduire la réponse immunitaire (Black *et al.*, 2017; Cascio, 2018; Reid *et al.*, 2016). Les incendies de forêt peuvent aussi affecter la qualité de l'eau (voir section 11 **Pollution de l'eau et insalubrité des aliments**).

9.2.1 MORTALITÉ

Certaines études ont établi un lien entre la mortalité toutes causes et l'exposition à la fumée des incendies de forêt, bien que les causes spécifiques ne soient pas encore éclaircies (Cascio, 2018; Reid *et al.*, 2016; Youssouf *et al.*, 2014). Santé Canada a estimé, à l'aide de son [Outil d'évaluation des bénéfices liés à la qualité de l'air](#), que de 620 à 2 700 décès par année étaient attribuables aux particules fines émises par les incendies de forêt de 2013 à 2018 au Canada, excluant 2016. La majorité de ces décès était survenue dans l'Ouest canadien, quoique les résultats variaient grandement en fonction des années et de l'intensité des incendies. La mortalité était plus élevée pour l'Ontario et le Québec en 2013, par exemple. Lors d'incendies étant survenus dans le nord du Québec en 2002 et en 2005, le taux de mortalité était 10 % plus élevé dans la région de Montréal lors des journées d'incendies par rapport à la moyenne des années précédentes (Mahtlouthi, 2013). Néanmoins, il a été estimé que seulement 1 à 4 décès étaient attribuables aux hausses des concentrations de PM_{2,5} (particules fines de 2,5 microns et moins). Aux États-Unis, de 8 700 à 32 000 décès annuellement ont été attribués à une exposition répétée aux PM_{2,5} associées aux incendies de forêt de 2008 à 2012 (Fann *et al.*, 2018). En incluant les admissions à l'urgence et les hospitalisations en plus des décès, les coûts sanitaires liés à une exposition à court terme aux incendies de forêt pour cette période variaient de 11 à 20 milliards (en dollars courants de 2010) par année (Fann *et al.*, 2018). Pour une exposition répétée (à long terme), ces coûts se situeraient de 76 à 130 milliards annuellement.

Une étude menée aux États-Unis a démontré les effets des changements climatiques sur la mortalité future attribuable aux incendies de forêt en fonction des scénarios climatiques RCP4.5 et RCP8.5 (B. Ford *et al.*, 2018). Pour 2050, de 2 à 2,5 fois plus de décès prématurés pourraient survenir pour le scénario RCP4.5, et de 0,4 à 2 fois pour le scénario RCP8.5. Pour 2100, les multiplicateurs seraient plutôt de 0,6 à 2,1 pour le scénario RCP4.5 et de 1,6 à 2,8 pour le scénario RCP8.5. Un scénario d'émissions plus élevées de GES réduirait ainsi le risque de mortalité associée aux incendies de forêt à court terme aux États-Unis, pour l'aggraver d'ici la fin du siècle en comparaison avec un scénario d'émissions modérées de GES.

9.2.2 MALADIES RESPIRATOIRES ET CARDIOVASCULAIRES

L'exposition à la fumée des incendies de forêt augmente le risque de souffrir de maladies respiratoires, particulièrement l'asthme, les MPOC, la bronchite et la pneumonie (Cascio, 2018; Henderson et Johnston, 2012). Une méta-analyse comprenant une vingtaine d'études a montré que l'élévation des concentrations de PM_{2,5} pendant des épisodes d'incendies de forêt augmentait de 6 % (RR, IC 95 % : 1,02 – 1,09) le risque à court terme d'hospitalisation pour cause d'asthme dans la population, et de 7 % (RR, IC 95 % : 1,04 – 1,09) le risque d'admission à l'urgence pour la même cause (Borchers Arriagada *et al.*, 2019). Aux États-Unis, plus précisément, l'exposition aux particules fines émanant des incendies de forêt aurait occasionné annuellement de 5 200 à 8 500 admissions respiratoires à l'hôpital, et de 1 700 à 2 800 admissions cardiovasculaires de 2008 à 2012 (Fann *et al.*, 2018). En revanche, des auteurs ont conclu que le nombre d'admissions à l'urgence lors de 2 épisodes d'incendies de forêt survenus dans le nord du Québec en 2002 et en 2005 n'avait pas augmenté dans la région de Montréal comparativement aux années précédentes (Mahtlouthi, 2013). Dans une étude conduite à San Diego, le nombre global d'admissions à l'urgence pendant les incendies de forêt de 2007 ne s'était pas accru, même si celles pour des problèmes respiratoires avaient augmenté de 34 % (112 % pour l'asthme) (Hutchinson *et al.*, 2018).

Les études canadiennes reliées aux impacts sanitaires des incendies de forêt ont été réalisées essentiellement dans l'Ouest canadien. Pour les incendies de 2003, une étude a démontré que chaque augmentation de 30 µg/m³ des concentrations de PM₁₀ (particules fines de 10 microns) augmentait de 5 % le risque de consulter un médecin pour des problèmes respiratoires, de 16 % plus spécifiquement pour l'asthme, et de 15 % pour les admissions à l'urgence reliées à l'asthme (Henderson *et al.*, 2011). Aucune association avec les maladies cardiovasculaires n'a été décelée dans cette étude. Une autre étude a également déterminé que la majorité des jours excédant 25 µg/m³ de concentrations atmosphériques de PM_{2,5} lors de la saison des incendies de 2014 était liée à des hausses anormales de visites chez un médecin pour cause d'asthme et de distribution de salbutamol (médicament soulageant les symptômes de l'asthme) (K. McLean *et al.*, 2015). Des résultats similaires ont été atteints pour la période 2003-2010, avec une augmentation de la quantité de salbutamol distribuée chez les populations affectées, directement ou indirectement, par les incendies de forêt (C. T. Elliott *et al.*, 2013). Dans les Territoires du Nord-Ouest, les visites pour des soins primaires en lien avec l'asthme, la toux, la pneumonie et la prescription de salbutamol se sont accrues en 2014 lors d'une forte saison d'incendies, en comparaison avec 2013 et 2012 (Dodd, Scott, *et al.*, 2018). L'association entre l'exposition à la fumée des incendies de forêt et les maladies cardiovasculaires demeure quant à elle ambiguë dans la littérature, certaines études démontrant un lien et d'autres non (Cascio, 2018; Reid *et al.*, 2016).

9.2.3 SANTÉ PSYCHOSOCIALE

Des effets des incendies de forêt sur la santé psychosociale, découlant entre autres de la perte de biens, des évacuations et de la dénaturation du milieu, ont également été observés. En altérant l'intégrité du milieu, les incendies de forêt provoquent de la solastalgie (ou « éco-anxiété »), soit une détresse psychologique découlant de changements dans son environnement causée par une diminution du sentiment d'appartenance au territoire ou du réconfort qu'il apporte (Eisenman *et al.*, 2015). Par exemple, 6 mois après les incendies de Fort McMurray de 2016, 20 % des Albertains interrogés répondaient aux critères du trouble d'anxiété généralisée (Agyapong *et al.*, 2018). Les personnes présentant certains facteurs de risque, soit avoir déjà un diagnostic de troubles anxieux, être témoin de la destruction de son logement, habiter dans un autre logement après la survenue des incendies ou souffrir d'un soutien familial, psychologique ou gouvernemental limité, avaient 2 à 7 fois plus de chance de répondre aux critères de la maladie. Cette incidence de troubles dépressifs et anxieux tend à croître avec la durée d'évacuation et le degré de pertes financières (Cherry et Haynes, 2017). Dans les Territoires du Nord-Ouest, les incendies de forêt de 2012 et de 2013 auraient contribué à aggraver les sentiments de solitude, de peur, de stress et d'incertitude dans la population, incluant la population autochtone (Dodd, Howard, *et al.*, 2018; Dodd, Scott, *et al.*, 2018).

Certaines études menées en Australie et en Grèce ont également démontré que les personnes ayant subi des pertes, des problèmes de santé ou ayant été évacuées à cause d'incendies de forêt étaient plus susceptibles d'éprouver des troubles du sommeil, de l'anxiété, des sentiments hostiles ainsi que des symptômes dépressifs et post-traumatiques (Finlay *et al.*, 2012; Psarros *et al.*, 2017; R. Thompson *et al.*, 2017). La fumée des incendies de forêt en soi n'a pas été associée aux hospitalisations et aux consultations pour des troubles de santé mentale (Reid *et al.*, 2016). Les résultats mixtes en ce qui a trait à la relation entre l'exposition à la fumée des incendies de forêt et la santé cardiovasculaire pourraient découler du niveau d'impacts psychosociaux subis lors d'un événement (Reid *et al.*, 2016). L'effet combiné de l'inhalation de polluants atmosphériques et du stress psychologique pourrait en effet favoriser la manifestation d'effets cardiovasculaires néfastes.

9.3 Les populations à risque par rapport aux incendies de forêt

9.3.1 ÂGE

Personnes âgées ou avec des maladies chroniques

Les personnes âgées seraient plus sensibles au stress oxydatif et à l'inflammation associés à l'inhalation de fumée des incendies de forêt (J. C. Liu *et al.*, 2017; Youssouf *et al.*, 2014). Selon une méta-analyse, elles sont les plus susceptibles d'être hospitalisées ou admises à l'urgence en raison de problèmes asthmatiques lors d'incendies de forêt (Borchers Arriagada *et al.*, 2019). Dans le nord-est des États-Unis, des auteurs ont calculé une hausse respective de 49,6 % et de 64,9 % des taux d'hospitalisations pour des problèmes respiratoires et cardiovasculaires chez les personnes âgées de 65 ans et plus lors d'épisodes de fumée comparativement à la période précédant ces épisodes (Le *et al.*, 2014). Dans l'ouest des États-Unis, les changements climatiques pourraient apporter une modeste hausse de 178 admissions à l'hôpital par année pour des raisons respiratoires chez les personnes âgées de 65 ans et plus pour la période 2046-2051 (J. C. Liu *et al.*, 2016). Plusieurs auteurs présument que les populations vulnérables aux incendies de forêt sont les mêmes qu'aux polluants atmosphériques de toutes sources, alors que la composition des polluants diffère (Cascio, 2018; Rappold *et al.*, 2017). Plusieurs études ont tout de même suggéré que les personnes souffrant d'asthme, de MPOC ou d'infections pulmonaires étaient plus vulnérables aux effets délétères de la fumée (Henderson *et al.*, 2012; Reid *et al.*, 2016).

Enfants

Lors des incendies de forêt de 2011 près de Slave Lake en Alberta, les enfants touchés présentaient des symptômes de stress post-traumatique 6 mois après l'événement, mais ces effets disparaissaient après 1 an (Townshend *et al.*, 2015). Les enfants plus jeunes, avec plusieurs facteurs de stress (décès d'un proche, maladies, problèmes scolaires, etc.) ou dont le logement a été détruit à la suite d'un feu de forêt, affichaient un risque plus important de manifester ces symptômes et de ne pas s'en rétablir (Felix *et al.*, 2015; Townshend *et al.*, 2015). Lors des incendies de forêt survenus à Fort McMurray en 2016, les élèves de 7 à 12 ans exposés aux incendies de forêt avaient une prévalence plus élevée de symptômes dépressifs, d'idéations suicidaires et de tabagisme que ceux du même âge habitant à Red Deer, une ville de l'Alberta non touchée par ces événements (M. Brown *et al.*, 2019). Les enfants affichaient également des scores moins élevés d'estime de soi et de qualité de vie. De surcroît, les mères évacuées à la suite de ces événements donnaient moins le sein à leur enfant et utilisaient davantage de formules préparées, ce qui pourrait avoir des impacts sur le développement des enfants à plus long terme (DeYoung *et al.*, 2018).

9.3.2 STATUT SOCIO-ÉCONOMIQUE, SEXE ET GENRE

Aux États-Unis, les personnes de race noire, les personnes avec un revenu inférieur à la médiane et les femmes affichaient un risque plus élevé d'être admises à l'urgence pour des problèmes respiratoires lors de jours de fumée (J. C. Liu *et al.*, 2017). Les femmes seraient plus enclines que les hommes à souffrir d'une dépression suivant une évacuation causée par un feu de forêt ou la perte d'un emploi (Cherry *et al.*, 2017). D'un autre côté, une étude réalisée en Australie a déterminé que les hommes étaient plus réticents que les femmes à utiliser les services d'aide en santé mentale offerts par le gouvernement lors de feux de brousse en 2003, ce qui peut indiquer qu'ils déclarent dans une moindre mesure les impacts psychosociaux ressentis et qu'ils pourraient ainsi en subir davantage les conséquences à long terme (Whittaker *et al.*, 2012). L'étude a aussi souligné qu'une portion substantielle des personnes touchées auraient souhaité que les services de santé soient offerts plus longtemps que la période de 18 mois prescrite, soulignant que les impacts psychosociaux des incendies de forêt durent sur une longue période. Les femmes sont également plus susceptibles d'être victimes de violence conjugale après un EME tel qu'un feu de forêt (S. A. Bell *et al.*, 2016). Des auteurs d'une étude réalisée en Australie ont estimé que le nombre de femmes ayant subi de la violence conjugale était 7,4 fois plus élevé dans les zones fortement affectées par des feux de brousse comparativement aux zones peu affectées (Molyneaux *et al.*, 2020). Parmi les femmes habitant ces zones, une perte de revenu élevait de presque 5 fois le risque d'être victime de violence conjugale.

Lors d'un feu de forêt en 2008 en Caroline du Nord, les comtés ruraux avec un niveau de scolarité, d'emploi, de revenu et de capital social plus bas affichaient un risque plus élevé d'admission à l'urgence pour l'asthme et l'insuffisance cardiaque comparativement aux comtés plus favorisés sur ces aspects (Rappold *et al.*, 2012). Les comtés avec les prévalences les plus élevées d'insatisfaction par rapport à sa vie et d'années perdues en bas de 75 ans présentaient également un risque plus élevé d'admission à l'urgence pour ces deux types de problèmes. Cependant, la prévalence de saines habitudes de vie dans la population ainsi que l'accessibilité et la qualité des soins de santé sur le territoire ne pouvaient être associées à ces variables. Le revenu et les inégalités de revenu étaient les deux facteurs explicatifs avec les associations les plus fortes. Sinon, la perturbation des activités traditionnelles et de subsistance dans les communautés autochtones et rurales résultant des incendies de forêt peut également affecter de façon disproportionnée la santé physique, psychologique et sociale de ces populations (Dodd, Howard, *et al.*, 2018; Dodd, Scott, *et al.*, 2018).

De plus, les personnes à faible revenu résident dans une moindre proportion dans des structures résilientes au feu. Une étude menée aux États-Unis a démontré que les communautés affichant un niveau de défavorisation socio-économique élevé adoptaient dans une moindre proportion des mesures d'adaptation aux incendies de forêt en comparaison avec les communautés plus favorisées, et ce, même si l'exposition au risque était la même (Gaither *et al.*, 2011). Les personnes en situation de précarité financière étaient également moins prédisposées à évacuer leur domicile, puisque les biens à risque représentaient une proportion plus importante de leurs actifs financiers totaux (Whittaker *et al.*, 2012). Il s'avérait également plus difficile pour les personnes à faible revenu d'assurer leurs biens contre les événements naturels étant donné le coût souvent élevé des primes d'assurances. En plus d'un manque de ressources financières, humaines et sociales, une faible perception du risque pourrait être en cause (Gaither *et al.*, 2011).

9.3.3 TRAVAIL

Les travailleurs en sécurité incendie combattant les incendies de forêt sont plus susceptibles d'en éprouver les conséquences sanitaires. Ils présenteront généralement une réduction des capacités pulmonaires ainsi qu'une augmentation du stress oxydatif et des symptômes respiratoires, bien que les recherches ne permettent pas d'affirmer que leur mortalité et leur morbidité soient plus élevées à long terme (Adetona *et al.*, 2016; Black *et al.*, 2017). Les pompiers s'exposent également à un risque d'arrêt cardiaque lors de l'exécution de leurs tâches, les maladies cardiovasculaires étant la principale cause de mortalité chez les pompiers en service (Soteriades *et al.*, 2011).

Une étude réalisée en Grèce a également indiqué que ces travailleurs souffraient de symptômes post-traumatiques dans une plus grande proportion, particulièrement les travailleurs saisonniers (Pсарros *et al.*, 2018). Les travailleurs craignant de mourir lors d'un incendie, manifestant des symptômes de dépression ou affichant une personnalité névrotique présentaient également un risque plus élevé de développer un état de stress post-traumatique. Les symptômes découlant de cet état chez les travailleurs en sécurité incendie pourraient aussi perdurer sur une longue période. En Australie, des auteurs ont documenté la santé psychologique de 277 pompiers volontaires ayant combattu des feux de brousse de forte intensité en 1983, 7 ans après l'événement (Doley *et al.*, 2016). Ils ont montré que 28 % de ces pompiers rapportaient des symptômes de dépression, d'anxiété, d'insomnie ou de fonctionnalité limitée après ces 7 années, alors que 16 % ne présentaient plus les symptômes post-traumatiques qu'ils affichaient 3 ans et demi après les incendies de 1983. Néanmoins, d'autres événements intermédiaires que les incendies de forêt ont pu biaiser ces résultats, en particulier ceux survenus dans un passé récent.

L'effet sur la santé psychosociale peut également se faire sentir auprès d'autres types de travailleurs. Lors des incendies de forêt ayant accablé Fort McMurray en 2016, un sondage mené auprès de 109 travailleurs de tous types (p. ex., soudeurs, électriciens) présents lors du feu a soulevé que 14 % avaient déclaré avoir eu des problèmes de santé psychologique causés ou aggravés par le feu (Cherry *et al.*, 2017). Cependant, les travailleurs rapportaient avoir accru leur consommation de tabac, d'alcool, de drogues ou de médicaments prescrits.

9.4 Les mesures d'adaptation aux incendies de forêt

9.4.1 LES MESURES INDIVIDUELLES D'ADAPTATION AUX INCENDIES DE FORÊT

Perception du risque et de contrôle

Le fait qu'un propriétaire soit conscient qu'il réside dans une zone exposée aux incendies de forêt serait en soi un piètre prédicteur de l'adoption de mesures ou de comportements préventifs (Moritz *et al.*, 2014). En Alberta, ce serait davantage l'évaluation subjective de l'intensité de l'aléa, la perception de l'efficacité des mesures préventives, le sentiment de responsabilité et l'expérience antérieure de dommages à la propriété qui favoriseraient l'adoption de ce type de mesures (McFarlane *et al.*, 2012). Le manque de ressources monétaires représentait le principal élément dissuasif chez les personnes avec moins de marge de manœuvre financière. Plusieurs auteurs ont également suggéré que les individus exposés étaient généralement mal préparés pour évacuer rapidement et de façon sécuritaire leur domicile, entre autres parce qu'ils sous-estimaient le risque (McLennan *et al.*, 2013; Moritz *et al.*, 2014; R. Thompson *et al.*, 2017). Concernant l'acceptabilité sociale de différentes mesures, un sondage réalisé auprès de 436 ménages à Edmonton a démontré que l'obligation de supprimer la végétation près du lieu de résidence et les contraintes de zonage pour la construction étaient les mesures les plus appuyées contrairement au brûlage dirigé (McGee, 2007).

Bâtiments

L'adaptation du domicile est un facteur déterminant pour mitiger le risque relatif aux incendies de forêt. La majorité des pertes structurelles sont causées par les cendres propulsées par le vent se déposant sur la structure bâtie et par la combustion de végétation près du bâtiment. Par conséquent, l'utilisation de matériaux apyres pour le domicile et l'amincissement de la végétation environnante jusqu'à 30 m du bâtiment sont tous deux associés à une diminution significative des pertes infrastructurelles lorsqu'un feu de forêt survient à proximité (Moritz *et al.*, 2014). Le British Columbia Centre for Disease Control (BCCDC) a réalisé des revues de la littérature sur l'efficacité des abris et des filtres antifumée, des évacuations et de la diminution du temps passé à l'extérieur. Pour les abris et les filtres résidentiels antifumée, les filtres à haut rendement arrivaient à réduire substantiellement les quantités de particules fines dans l'air, ce qui pourrait atténuer les effets sur la santé respiratoire et cardiovasculaire, dépendamment des sources de pollution à la maison, de la grandeur du logement et du taux de renouvellement de l'air (Barn *et al.*, 2014). Un guide est aussi offert gratuitement aux propriétaires résidentiels par [FireSmart Canada](#) afin de souligner des mesures de réduction du risque associé aux incendies de forêt en lien avec le bâtiment et le terrain (FireSmart Canada *et al.*, 2017).

9.4.2 LES MESURES POPULATIONNELLES ET INSTITUTIONNELLES D'ADAPTATION AUX INCENDIES DE FORÊT

Système de surveillance et d'alertes

Il est possible de consulter sur le site de la Société de protection des forêts contre le feu (SOPFEU) la [carte](#) des incendies actuels et historiques, leur niveau de danger selon la localisation et les mesures préventives à adopter en fonction du risque déterminé. Il est également possible d'y trouver une multitude de guides à l'intention des compagnies forestières, des municipalités et du public sur des sujets allant des méthodes pour faire un feu de camp sécuritaire à la réglementation des permis de brûlage domestique. Le système SUPREME utilise les données de la SOPFEU pour les alertes relatives aux incendies de forêt (INSPQ, 2018b).

Étant donné son caractère ponctuel et l'influence d'une multitude de variables pour évaluer son étendue et son intensité, la prise en compte des incendies de forêt dans la prévision de la qualité de l'air représente un défi important. ECCC a mis en place son [Système de prévision de la fumée des feux de forêt pour le Canada](#) qui permet d'estimer la trajectoire de la fumée des incendies de forêt à travers l'Amérique du Nord pendant les prochaines 48 heures. En Colombie-Britannique, des ajustements à l'indice de la qualité de l'air ont été proposés afin de mieux correspondre aux contextes des incendies de forêt et aux impacts sur la santé observés, soit la mortalité toutes causes ainsi que les visites chez le médecin pour des problèmes respiratoires ou circulatoires (Yao *et al.*, 2019). Les indicateurs prévisionnels de la qualité de l'air affichent une adéquation satisfaisante avec les concentrations de polluants observées et certains résultats sur la santé (Yao *et al.*, 2013, 2019). Une détection précoce des feux de forêt pourrait également réduire l'intensité des incendies et les effets sur la santé. D'ailleurs, en Europe, il a été estimé qu'une augmentation de 10 % du nombre de feux éteints dès le premier jour menait à une réduction de 30 % de la superficie brûlée (Khabarov *et al.*, 2016). Le seuil d'intervention reste important à déterminer. Considérant un bon taux d'adoption des mesures dans la population, une simulation en Caroline du Nord a démontré que les prévisions sur 24 ou 48 heures pouvaient réduire les admissions à l'urgence pour l'asthme et l'insuffisance cardiaque si les interventions étaient mises en œuvre à une concentration projetée de 20 µg/m³ plutôt qu'à des concentrations plus élevées comme 50 µg/m³ (Rappold *et al.*, 2014).

En ce qui concerne les alertes en soi, des messages simples (p. ex., « N'allez pas à l'extérieur » ou « N'effectuez pas d'activité physique extérieure ») ou n'exigeant pas de changements structurels (p. ex., acquisition personnelle de filtres à air portatifs ou d'un climatiseur) favoriseraient l'adoption des directives émises (Dix-Cooper *et al.*, 2014). Les effets sur la santé d'une diminution du temps passé à l'extérieur n'ont pas été proprement évalués et devraient dépendre de la qualité du logement et de ses installations. De plus, les personnes ne comprenant pas la langue dans laquelle le message a été émis, les personnes âgées et les personnes plus isolées sont plus difficiles à rejoindre et adoptent donc ces mesures dans une moindre proportion.

Évacuations

De 1980 à 2014, les incendies de forêt ont provoqué en moyenne l'évacuation de 60 personnes par année au Québec, 5 500 à travers le Canada, ce chiffre s'accroissant progressivement avec les années (Ressources naturelles Canada, 2015). Les résultats relatifs aux évacuations lors d'incendies de forêt sont mitigés lorsque la sécurité de la population n'est pas compromise. Plusieurs études démontrent que certaines évacuations ont mené à une augmentation de la mortalité et de la morbidité chez les personnes résidant dans des établissements de soins de longue durée, à une hausse de la transmission de maladies infectieuses dans les abris, ainsi qu'à une diminution de la santé et du bien-être mental des adultes et des enfants (Stares *et al.*, 2014). Par exemple, une étude menée à la suite des incendies de forêt à Fort McMurray en 2016 a rapporté que les travailleurs ayant été évacués ont davantage souffert d'anxiété et de dépression que ceux n'ayant pas été évacués (Cherry *et al.*, 2017). Ces résultats corroborent ceux d'autres études sur les effets sanitaires des évacuations (Munro *et al.*, 2017; R. Thompson *et al.*, 2017). Les effets positifs des évacuations n'ont généralement pas été évalués et sont difficiles à prouver. D'autres mesures pourraient être plus bénéfiques, même si certaines sous-populations particulièrement sensibles à la fumée peuvent profiter d'un éloignement de la source.

La sensibilisation aux risques que posent les incendies de forêt peut faciliter les évacuations. Une perception élevée du risque et les dommages à la propriété subis par le passé accroissent la probabilité qu'un individu évacue son domicile avant et pendant la survenue d'un feu de forêt (R. Thompson *et al.*, 2017). Sans lignes directrices pour l'évacuation, une proportion importante de la population pourrait agir trop tardivement ou choisir de demeurer au domicile (McLennan *et al.*, 2013).

Préparation et plan d'action

Afin de mieux préparer le système de santé et la population aux incendies de forêt, le Centre de collaboration nationale en santé environnementale (CCNSE) et le BCCDC ont proposé 13 actions prioritaires à mettre en œuvre découlant de la consultation de 29 professionnels de la santé (Maguet, 2018). Ces priorités incluent la documentation des expériences de mise en œuvre des abris antifumée et l'établissement de lignes directrices pour leur localisation et leur utilisation, la sollicitation de la participation active des professionnels de santé publique locaux dans la planification des interventions d'urgence, de même que la sensibilisation des professionnels de la santé aux effets des incendies de forêt et aux mesures d'adaptation associées. Lors de situations d'urgence, le fait d'autoriser les pharmaciens à prescrire ou à renouveler certains médicaments sans l'autorisation des médecins pourrait aussi diminuer la vulnérabilité des individus avec des maladies préexistantes exigeant la prise de médicaments (Mak et Singleton, 2017).

En somme, les interventions suivantes ont montré une plus grande efficacité à diminuer les effets des incendies de forêt sur la santé :

- La distribution de filtres à haut rendement;
- La mise à disposition d'abris antifumée dans les communautés affectées;
- La transmission de consignes simples incitant la population à rester à l'intérieur;
- L'émission des messages par des moyens permettant de rejoindre les personnes les plus isolées ou moins aptes à comprendre;
- La prise en compte des populations dont les risques pour la santé de rester sur place surpassent ceux associés à l'évacuation.

La planification d'interventions psychosociales après les incendies de forêt est aussi à envisager (voir section 10.4.2 **Les mesures populationnelles et institutionnelles d'adaptation aux sécheresses, à l'improductivité agricole et à l'insécurité alimentaire**).

9.4.3 LES MESURES PHYSIQUES D'ADAPTATION AUX INCENDIES DE FORÊT

Aménagement du territoire

L'endiguement de l'étalement urbain constitue également une mesure d'adaptation limitant à la fois l'exposition directe (chaleur) et l'exposition indirecte (fumée) aux incendies de forêt. Les municipalités peuvent limiter leur périmètre urbain et les projets de construction sur leur territoire en plus de déterminer des zones de contrainte naturelle afin de restreindre le développement dans les zones périurbaines et, ce faisant, diminuer l'exposition aux incendies de forêt et à leur fumée. Également, les villes maintenant des activités agricoles dans leur périphérie risquent de subir moins de dommages lors d'incendies de forêt puisque les terres agricoles forment une zone tampon (Darques, 2015). La plantation de végétation plus résistante au feu en bordure de forêt, comme la plupart des feuillus, pourrait également réduire la sévérité de certains incendies de forêt (Fernandes, 2013).

L'organisme canadien Partners in Protection propose également le programme *FireSmart Canada* afin de créer des communautés résilientes aux incendies de forêt et de faciliter la coopération en ce sens entre les acteurs privés et publics. Les activités du programme incluent l'analyse locale des risques et de l'aménagement des communautés, la gestion préventive de la végétation, le choix de matériaux de construction résistants au feu et une sensibilisation accrue aux risques. Bien que populaire en Colombie-Britannique et en Alberta, le programme n'est implanté que dans le village cri de Waswanipi au Québec (FireSmart Canada, 2018). En revanche, le ministère des Forêts, de la

Faune et des Parcs (MFFP) s'est inspiré des recommandations prônées par *FireSmart Canada* pour créer son guide [PareFEU](#) qui propose des approches et des mesures d'adaptation pour aider les municipalités à élaborer leur schéma d'aménagement et à diminuer leur vulnérabilité aux incendies de forêt (MFFP, 2018). Le déménagement permanent des résidents en bordure de forêt, lieu particulièrement à risque, peut constituer une autre mesure, mais ses effets importants sur la santé mentale et sociale de la communauté en fait une option de dernier recours.

Brûlage dirigé

Le brûlage dirigé de la matière combustible est parfois considéré comme une mesure d'adaptation afin de diminuer l'occurrence et l'intensité des incendies de forêt (Fernandes, 2013). Cependant, les résultats relatifs à son efficacité sont mitigés. Étant donné que les combustibles organiques se renouvellent rapidement dans la forêt, le brûlage dirigé est surtout efficace lorsqu'un feu de forêt survient peu après l'intervention ou lorsque la permanence de la diminution des combustibles est assurée (Enright et Fontaine, 2014). Le brûlage dirigé exige de couvrir une partie importante de la forêt pour qu'il soit efficace, ce qui représente des coûts substantiels. Des brûlages répétés augmentent également la quantité de polluants dans l'air et exposent ainsi les résidents à proximité aux risques associés (Navarro *et al.*, 2018). Sans évaluer les coûts reliés à cette mesure, une étude en Europe a néanmoins évalué que le recours systématique et généralisé au brûlage dirigé pourrait réduire l'augmentation de la superficie incendiée due aux changements climatiques de 200 % à moins de 50 % en 2090, comparativement au début du siècle (Khabarov *et al.*, 2016). La prise en compte du savoir traditionnel des populations autochtones, qui ont appliqué des mesures de brûlage dirigé à des fins culturelles et protectrices depuis plusieurs générations, pourrait améliorer l'efficacité de ce type de mesures, tout en permettant de nourrir la santé spirituelle de ces populations (Christianson, 2015).

10 Sécheresses, improductivité agricole et insécurité alimentaire

10.1 Les effets des changements climatiques sur les tendances et les projections des sécheresses, de l'improductivité agricole et de l'insécurité alimentaire

Dans la présente revue, les sécheresses, l'improductivité agricole et l'insécurité alimentaire ont été combinées puisqu'elles sont étroitement liées. L'insécurité alimentaire et l'improductivité agricole ont été mises en valeur puisqu'il s'agit d'un thème transversal affecté par plusieurs facettes des changements climatiques, bien qu'elles ne constituent pas des aléas traditionnels.

Dans ce document, l'insécurité alimentaire est définie comme un état où un individu ou un ménage n'est pas en mesure d'avoir accès à tout moment à une nourriture saine et nutritive en quantité suffisante pour mener une vie saine et active (Statistique Canada, 2013). Elle inclut les dimensions suivantes (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture [FAO], 2008) :

- Disponibilité des aliments (quantité, échange, diversité et qualité des aliments);
- Accessibilité des aliments (économique, sociale, géographique et physique);
- Utilisation et consommation des aliments (connaissances alimentaires et culinaires, aspects culturels, état de santé, hygiène, etc.);
- Stabilité et durabilité de l'alimentation (constance de l'apport alimentaire sur une période de temps).

L'insécurité alimentaire ne comprend pas l'insalubrité alimentaire, qui est traitée à la section 11 **Pollution de l'eau et insalubrité des aliments**. Même si l'insécurité alimentaire découle principalement de contraintes financières, sociales et géographiques, les changements climatiques pourraient avoir un impact sur la production alimentaire et les activités de subsistance (agriculture, élevage, chasse et pêche) sur le territoire québécois. Par extension, les changements climatiques peuvent influencer sur la quantité et la qualité de la nourriture disponible, entre autres par l'intermédiaire des sécheresses, mais également des pluies abondantes, des précipitations atypiques et d'autres aléas. Quant à l'improductivité agricole, elle comprend les productions végétales (maraîchère, fourragère, etc.) et animales (élevage) pour les besoins de cette section-ci.

10.1.1 SÉCHERESSES

Les observations historiques n'indiquent pas une tendance à la hausse de l'occurrence et de la sévérité des sécheresses au Canada et au Québec (Bonsal *et al.*, 2019). Aucune augmentation des jours consécutifs sans précipitations n'a été décelée de 1948 à 2016, quoiqu'une légère diminution apparaît lorsque la période 1901-2010 est considérée. Malgré tout, les changements climatiques pourront modifier cette tendance. Dans les prochaines décennies, la quantité annuelle moyenne de précipitations devrait augmenter et les cycles hydrologiques devraient s'intensifier, impliquant une hausse des épisodes de faibles et de fortes précipitations. L'effet du réchauffement des températures sur les sécheresses pourrait cependant surpasser l'effet des précipitations, contrairement à ce qui a été observé au cours du 20^e siècle, puisque l'effet de la chaleur sur l'évaporation de l'eau suit une courbe exponentielle (Bonsal *et al.*, 2019; M.-P. Girardin *et al.*, 2004).

L'impact des changements climatiques sur les sécheresses au Canada et au Québec demeure incertain. Dans le sud du Québec, la séquence maximale de jours consécutifs sans précipitations devrait s'allonger l'été, et le nombre annuel d'anomalies d'humidité devrait augmenter (Ouranos, 2015). En revanche, la séquence maximale de jours secs (moins de 1 mm de précipitations) et le nombre de périodes avec plus de 5 jours secs consécutifs par année devraient légèrement décroître pour les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 dans toutes les régions sociosanitaires (RSS) (ECCC, s. d.). Le nombre projeté de jours avec moins de 1 mm de précipitations pour la période 2041-2070 est similaire à ce qui a été observé de 1981 à 2010 pour la majorité des régions. Les milieux dépendant de la fonte des neiges ou des glaces pour leur approvisionnement en eau pendant les saisons sèches pourraient connaître un accroissement du nombre et de l'intensité des sécheresses à cause de la diminution généralisée du couvert de neige et de glace (Bonsal *et al.*, 2019). Les sécheresses ont aussi un impact sur la probabilité d'occurrence et l'intensité des incendies de forêt (voir section 9 **Incendies de forêt**).

10.1.2 IMPRODUCTIVITÉ AGRICOLE

D'un côté, les changements climatiques pourraient avoir un impact sur les productions agricoles et d'élevage sur le territoire québécois et, par extension, sur la quantité de la nourriture disponible et sa qualité. Par exemple, le réchauffement des températures allonge la période cultivable, ce qui pourrait permettre de produire de nouvelles cultures à des latitudes plus nordiques. Au Québec, la durée de la saison de croissance pour les cultures (nombre de jours au-dessus de 5 °C) s'est accrue de 25,6 jours de 1948 à 2016 (X. Zhang *et al.*, 2019). Dans certaines régions, le nombre de degrés-jours²⁰ au-dessus de 5 °C pourrait presque doubler d'ici la fin du siècle pour le scénario RCP8.5, en comparaison avec 2010 (ECCC, s. d.). L'augmentation de CO₂ dans l'atmosphère favorisera aussi la croissance des plantes, quoiqu'elle modifiera également leur apport nutritionnel (voir section 10.2.2 **Effets sur la santé de l'insécurité alimentaire**).

D'un autre côté, les EME (p. ex., pluies abondantes et sécheresses), les changements de température et les précipitations atypiques (p. ex., grésil, grêle) pourront également endommager les cultures. Par exemple, un manque d'eau peut brûler les pointes des cultures de laitue et ainsi les rendre non commercialisables (Fall *et al.*, 2015; Périard *et al.*, 2015), alors que des températures élevées pendant la période de floraison peuvent endommager les cultures de blé (A.-É. Gagnon *et al.*, 2013). Déjà, 80 % des pertes monétaires des entreprises maraîchères (c.-à-d. cultivant des légumes) sont directement liées à des événements climatiques au Québec (Forest, 2016). Les sécheresses et le déficit hydrique représentent chacun de 13 à 34 % des réclamations d'assurance récolte, dépendamment des cultures maraîchères, l'excès de pluie et la grêle étant d'autres facteurs de réclamations. L'excès de pluie cause le plus de dommages dans les cultures maraîchères selon les indemnités de l'assurance récolte (Forest, 2016). Une intensification de la variabilité interannuelle des conditions climatiques, susceptible de se produire avec les changements climatiques, revêt aussi un effet négatif sur la productivité agricole, puisque les agriculteurs n'ont alors pas le temps de s'adapter à ces nouvelles conditions ou doivent dépenser beaucoup plus pour ce faire (Campbell *et al.*, 2016). Les cultures céréalières sont néanmoins moins sensibles au déficit hydrique que les cultures maraîchères, et sont donc moins affectées par les sécheresses, même si elles restent sensibles aux excès d'eau et à la grêle (Bryant *et al.*, 2007).

²⁰ Les degrés-jours sont les degrés cumulés dans une journée lorsque la température moyenne quotidienne franchit une température seuil. En utilisant le seuil de 5 °C, les degrés-jours sont une mesure indiquant si les conditions climatiques sont suffisamment chaudes pour permettre la croissance des plantes.

Les changements climatiques favoriseront la prolifération de certains organismes nuisibles (agents pathogènes, mauvaises herbes, insectes et autres ravageurs) en augmentant leur pouvoir d'établissement, leur taux de croissance et la durée des épidémies (A.-È. Gagnon *et al.*, 2013). Entre autres, la prolifération de nématodes à kystes (Mimee *et al.*, 2015; St-Marseille *et al.*, 2015), de la hernie du chou (Gossen *et al.*, 2015, 2017), de chrysomèles (Berzitis *et al.*, 2014), de doryphores, de la punaise marbrée et du ver de l'épi de maïs (A.-È. Gagnon *et al.*, 2013; Mimee *et al.*, 2014) a été associée au réchauffement des températures et à l'humidité. À l'horizon 2050, le nombre annuel de générations de certains de ces organismes nuisibles augmenteront d'une ou deux (Mimee *et al.*, 2014, 2015). Les changements climatiques permettront aussi à d'autres organismes nuisibles de s'installer au Québec de façon permanente (Ouranos, 2015). De plus, ils affecteront l'abondance des insectes pollinisateurs et les concentrations d'ozone qui ont des impacts sur les rendements agricoles (positifs dans le premier cas et négatifs pour le second) (Medek *et al.*, 2017). Les changements dans la température, les concentrations de CO₂ dans l'air et les régimes hydriques (sécheresses et précipitations abondantes) affectent aussi la croissance des champignons et des concentrations de mycotoxines des récoltes et des animaux d'élevage (Becker-Algeri *et al.*, 2016; Gruber-Dorninger *et al.*, 2019; Medina *et al.*, 2017). Bien que l'effet net soit incertain au Québec, une éventuelle prolifération de champignons et de mycotoxines diminuerait les rendements agricoles en fragilisant les plantes et le bétail (Gruber-Dorninger *et al.*, 2019; Medina *et al.*, 2017).

Les changements climatiques affecteront également la quantité de bétail destiné à la consommation, en plus de sa qualité. Une étude menée en Ontario a estimé que les vagues de chaleur de 2010 à 2012 ont accru en moyenne de 27 % le taux de mortalité des animaux d'élevage (Bishop-Williams *et al.*, 2016). En France, chaque augmentation de 1 °C au-dessus de 20 °C augmentait de 5,6 % le risque de mortalité pour les vaches laitières et de 4,6 % pour les autres bovins (Morignat *et al.*, 2015). De plus, des températures de 30 °C et plus ont été associées à une diminution des capacités reproductrices des animaux d'élevage et de leurs matières grasses, de même qu'à une réduction de la production de lait et d'œufs, puisque les animaux s'acclimatent au stress thermique en diminuant leur consommation de nourriture (Nardone *et al.*, 2010). Néanmoins, au Québec, les pertes potentielles des fermes laitières pourront être compensées par une augmentation de leur production végétale accessoire, particulièrement dans les régions plus nordiques et orientales, comme le Bas-Saint-Laurent, où la culture de soya et de maïs deviendra possible (Charbonneau *et al.*, 2014; Mimee *et al.*, 2014). Une étude a démontré que, d'ici 2069, l'augmentation des températures moyennes pourrait ajouter une coupe supplémentaire de plantes fourragères pérennes et une hausse des rendements de 2 à 5 tonnes par hectare (Charbonneau *et al.*, 2014). Cependant, pour les élevages, cette augmentation pourrait s'avérer improductive dans le cas où une hausse du nombre d'animaux d'élevage ne compenserait pas une baisse de la prise alimentaire par animal. Cette étude ne tenait pas compte des effets de la raréfaction de l'eau potable de même que de l'augmentation des températures, qui sont des conditions propices à la prolifération de maladies, sans compter qu'elles diminuent la résistance immunitaire des animaux d'élevage (Silanikove et Koluman, 2015). Les changements climatiques pourraient aussi affecter les valeurs foncières des terres cultivables par la raréfaction ou l'expansion des terres cultivables (dépendamment des régions et des effets du climat) et une augmentation potentielle de la demande pour ces terres, découlant des craintes associées aux effets des changements climatiques sur la productivité agricole (Parent et Buis, 2016).

10.1.3 CHASSE ET PÊCHE

La variabilité accrue des températures augmentera l'incertitude quant aux opportunités de chasse et provoquera des changements dans la biodiversité et les comportements de la faune (J. D. Ford, 2012; Ouranos, 2015). Alors que les changements climatiques réduiront l'accessibilité à certaines sources de nourriture (espèces animales marines ou terrestres émigrant au nord, espèces chassées sur la glace, etc.), d'autres sources seront introduites (espèces marines ou terrestres provenant du sud). Ces changements affecteront principalement les régions où les populations dépendent de la chasse pour se nourrir, principalement les peuples autochtones nordiques (voir section 10.3.2 **Insécurité alimentaire**). De plus, le réchauffement des températures diminuera le couvert de glace et sa stabilité, ce qui pourrait diminuer la viabilité de la chasse sur glace pour les populations nordiques et autochtones (D. G. Clark, Ford, Berrang-Ford, *et al.*, 2016).

Pour les ressources halieutiques, les projections vers l'année 2060 indiquent que 55 % des espèces au Canada perdront de leur aire habitable et 21 % en gagneront (Bourduas-Crouhen *et al.*, 2017). Les auteurs d'une étude ont estimé que le potentiel maximal de prise au Canada pourrait diminuer de 7 ou 8 % de 2005 à 2055 (Cheung *et al.*, 2010). L'acidification de l'océan, l'émergence d'espèces exotiques envahissantes (telles que la carpe asiatique), l'augmentation de l'aire de répartition de certains prédateurs et d'autres conditions associées au réchauffement des eaux de surface accroîtront le taux de mortalité de plusieurs espèces de poissons et de fruits de mer, tout en diminuant la biodiversité marine (Bourduas-Crouhen *et al.*, 2017). Parmi ces espèces, il faut compter le crabe des neiges, le homard, la crevette nordique et le flétan, qui constituent les principales pêches commerciales au Québec, principalement dans l'est.

10.1.4 INSÉCURITÉ ALIMENTAIRE

Même si les causes principales de l'insécurité alimentaire sont de nature socio-économique (déserts ou marais alimentaires, connaissances ou revenu insuffisants pour adopter une alimentation équilibrée, etc.), les changements dans la production alimentaire affecteront la quantité et l'accessibilité, principalement par les prix des aliments, en plus de la qualité. Concernant la disponibilité future de la nourriture, le Québec pourrait se rabattre sur des importations si un déficit local de denrées alimentaires venait à se produire. Ultimement, le recours aux importations pourrait toutefois ne pas représenter une option envisageable ou viable économiquement à plus long terme étant donné qu'une diminution mondiale des productions agricoles par habitant est anticipée (Springmann *et al.*, 2016). Une simulation a indiqué que le rendement des cultures les plus communes, telles que le blé, le riz et le maïs, pourrait diminuer de 11 % et que les prix associés seraient 20 % plus élevés de 2010 à 2050 pour le scénario RCP8.5 (Nelson *et al.*, 2014). Étant donné que certaines productions seront affectées positivement par les changements climatiques et d'autres non, l'effet net des changements climatiques sur l'insécurité alimentaire au Québec reste difficile à évaluer. Le réchauffement des températures pourrait également encourager la pratique du jardinage ou encore d'agriculture et d'élevage urbains.

En définitive, la quantité de nourriture pourrait augmenter, particulièrement en lien avec les rendements agricoles, mais la qualité et la stabilité de l'alimentation pourraient en souffrir. Une diminution des denrées importées pourrait aussi réduire la diversité des aliments, bien qu'elle pourrait encourager l'autonomie alimentaire, dont les effets positifs sur l'économie locale et la réduction des GES sont bien répertoriés. Les EME pourraient aussi affecter la stabilité de l'alimentation, alors qu'une augmentation de la métabolisation de CO₂ par les plantes affecterait la qualité des aliments (voir section 10.2.2 **Effets sur la santé de l'insécurité alimentaire**). Dans le nord, les changements pourraient déjà s'avérer négatifs (voir section 10.3.2 **Insécurité alimentaire**). Après 2050, toutes les régions du globe devraient subir les effets négatifs des changements climatiques sur la sécurité

alimentaire, dépendamment du scénario d'émissions (FAO, 2016; Vermeulen *et al.*, 2012). Néanmoins, peu d'études ont abordé l'effet des changements climatiques sur l'insécurité alimentaire dans les pays industrialisés et dans un contexte non nordique, encore moins dans un contexte canadien.

10.2 Les effets des sécheresses, de l'improductivité agricole et de l'insécurité alimentaire sur la santé

Les effets des sécheresses sur les zoonoses ainsi que les questions d'insalubrité alimentaire (maladies d'origine alimentaire) sont traités dans la section 12 **Zoonoses**.

10.2.1 EFFETS SUR LA SANTÉ DES SÉCHERESSES ET DE L'IMPRODUCTIVITÉ AGRICOLE

Mortalité, maladies reliées aux polluants atmosphériques et maladies infectieuses

La sécheresse peut causer des problèmes respiratoires en favorisant l'érosion éolienne du sol ainsi que la remise en suspension et la dispersion des particules fines (PM_{2,5} et PM₁₀), entre autres en diminuant l'humidité, et donc le poids de ces particules. Aux États-Unis, les concentrations globales de PM_{2,5} augmenteraient de 16 % en 2100 comparativement à 2000, par la simple hausse du nombre de sécheresses (Yuxuan Wang *et al.*, 2017). Étant donné que les particules fines augmentent le risque de mortalité associée aux maladies respiratoires et cardiovasculaires (K.-H. Kim *et al.*, 2015) (voir section 7.2 **Les effets de la pollution de l'air ambiant sur la santé**), l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des sécheresses pourrait accroître la mortalité globale. Par exemple, la mortalité associée à l'augmentation des concentrations de poussières fines dans l'air au sud-ouest des États-Unis pourrait passer de 24 à 130 % au cours de la période 2076-2095 comparativement à la période 1996-2015, et les sécheresses seraient principalement en cause (Achakulwisut *et al.*, 2018). Cette tendance a été observée aux États-Unis, où les périodes d'aggravation des conditions de sécheresses accroissaient le taux de mortalité de 1,55 % de 2000 à 2013 par rapport aux autres périodes (Berman *et al.*, 2017). En revanche, des auteurs ont estimé que les sécheresses étant survenues aux États-Unis de 1968 à 2014 n'étaient pas associées globalement à une augmentation de la mortalité au cours de la même année, à l'exception de certaines régions, où elles semblaient soit accroître (au sud-ouest), soit diminuer le taux de mortalité (au sud et à l'ouest) (K. M. Lynch *et al.*, 2020). En Espagne, les épisodes de sécheresse auraient augmenté le nombre de décès de 2000 à 2009, mais essentiellement les décès reliés à l'appareil respiratoire (Salvador *et al.*, 2020a, 2020b). Les résultats parfois disparates relatifs aux effets des sécheresses sur la santé pourraient s'expliquer en partie par la différence dans les définitions des sécheresses d'un pays et d'une étude à l'autre (Sugg *et al.*, 2020). Dans tous les cas, les études concernant les effets des sécheresses sur les maladies chroniques demeurent fragmentaires (Sugg *et al.*, 2020).

Les vents conjugués avec du temps sec peuvent également faciliter le transport sur plusieurs kilomètres des pollens, des moisissures, des champignons, des bactéries et d'autres matières organiques pouvant s'accrocher à des particules fines (Stanke *et al.*, 2013; Tissot-Dupont, 2009). Les sécheresses peuvent ainsi causer des symptômes allergiques et respiratoires, en plus de les exacerber. Les maladies respiratoires reliées peuvent inclure la bronchite, la sinusite, la pneumonie et l'asthme (Doede et Davis, 2018; Yusa *et al.*, 2015). Aussi, les sécheresses affectent indirectement les concentrations de polluants dans l'air en favorisant la survenue d'incendies de forêt (voir section 9 **Incendies de forêt**).

Enfin, les sécheresses affecteraient la transmission des zoonoses et des maladies d'origine hydrique (Cann *et al.*, 2013; Sugg *et al.*, 2020; Yusa *et al.*, 2015). Elles peuvent accroître la concentration des charges bactériennes et des autres agents pathogènes présents dans l'eau. Elles favorisent aussi la

stagnation des eaux et, conséquemment, la prolifération des moustiques potentiellement porteurs de virus tels que le virus du Nil occidental (VNO). Cependant, certains effets des sécheresses peuvent être très faibles ou temporaires, et même limiter la prolifération de maladies d'origine animale ou hydrique, selon le contexte (Vicente-Serrano *et al.*, 2020). Les sections 11 **Pollution de l'eau et insalubrité des aliments** et 12 **Zoonoses** contiennent plus d'informations sur ces sujets.

Impacts psychosociaux

Les sécheresses peuvent diminuer la productivité agricole et causer un stress financier chez les personnes dépendant de l'agriculture pour subvenir à leurs besoins. L'insécurité financière peut occasionner un stress social et émotionnel chez ces personnes et, plus largement, affecter négativement le bien-être psychologique et social des communautés dans lesquelles elles vivent (Sugg *et al.*, 2020). Au Québec, les travailleurs de l'industrie de l'élevage subissent déjà un niveau de stress inquiétant. En 2005, un sondage a mis en évidence que la moitié des producteurs québécois de lait, de volaille et de porc affichait un niveau élevé de détresse psychologique, soit 2,5 fois le pourcentage mesuré dans la population (Lafleur et Allard, 2006). L'insécurité financière serait la cause principale de cette détresse. À cet égard, l'endettement des fermes québécoises de bovins laitiers est passé de 24 % en 2001 à 30,5 % en 2010 (Charbonneau *et al.*, 2014).

Les preuves scientifiques quant à l'effet des sécheresses sur la santé mentale restent tout de même parcellaires et concentrées en Australasie (Sugg *et al.*, 2020). Par exemple, les agriculteurs en Australie ayant déclaré que les sécheresses ont réduit considérablement leur productivité agricole présentent davantage de problèmes de santé mentale et un niveau réduit de bien-être psychologique en comparaison avec les agriculteurs n'ayant pas été affectés (Edwards *et al.*, 2015). Les enfants et les adolescents des milieux ruraux touchés par des sécheresses ont rapporté des niveaux de détresse émotionnelle et relationnelle plus importants qu'en temps normal (Carnie *et al.*, 2011; Dean et Stain, 2010). La durée et l'intensité de la sécheresse s'avéraient déterminantes dans son incidence sur la détresse psychologique des populations affectées. Toujours en Australie, une sécheresse de plus de 1 an avait augmenté de 6 % l'incidence de détresse psychologique parmi les habitants en milieu rural (OBrien *et al.*, 2014). À l'extrême, les sécheresses pourraient également accroître le taux de suicide dans certains sous-groupes de la population (Gunn *et al.*, 2012; Hanigan *et al.*, 2012). Par exemple, les hommes du milieu rural âgés de 10 à 49 ans présentaient un risque de suicide plus élevé lors de sécheresses intenses (jusqu'à 15 %) (Hanigan *et al.*, 2012). Par contre, les données disponibles étaient plutôt contradictoires pour les femmes et les personnes plus âgées qui, dans certains cas, affichaient plutôt un risque moins élevé de souffrir de problèmes psychologiques ou de se suicider (Crnek-Georgeson *et al.*, 2017; Hanigan *et al.*, 2012; Powers *et al.*, 2015). Les effets psychosociaux restent peu étudiés dans un contexte canadien et québécois; la plupart des études sur le sujet ayant été effectuées en Australie, elles peuvent ainsi ne pas s'avérer représentatives de la situation au pays.

Qualité de l'alimentation

L'insécurité financière dans les communautés rurales et chez les travailleurs agricoles peut avoir un effet négatif sur la qualité de l'alimentation. Par exemple, les populations rurales qui ont fait face à une sécheresse particulièrement longue et intense de 2001 à 2008 en Australie ont mangé davantage d'aliments riches en sucre et en gras comparativement aux personnes n'ayant pas été affectées ou pour lesquelles la sécheresse a été de plus courte durée (Friel *et al.*, 2014). Généralement, les aliments plus dispendieux affichent un profil nutritionnel plus favorable (Darmon et Drewnowski, 2015; Monsivais *et al.*, 2010). Advenant une augmentation globale des prix alimentaires, celle-ci pourrait pousser les individus, même en dehors des communautés rurales, à opter pour des options moins denses sur le plan nutritionnel, mais plus denses sur le plan énergétique. Ainsi, davantage

d'individus pourraient diminuer leur consommation de fruits et légumes et de produits entiers, avec comme répercussion une alimentation plus faible en nutriments, tels que le calcium, le zinc et le magnésium, et en vitamines, dont la vitamine A et les vitamines B (Hanson et Connor, 2014). Une augmentation des coûts des produits d'élevage comparativement aux autres produits agricoles pourrait néanmoins favoriser la substitution de produits d'origine animale par ceux d'origine végétale, qui favorisent généralement une meilleure santé, et inversement si une hausse des coûts des produits d'origine végétale est observée (Clarys *et al.*, 2014; Dinu *et al.*, 2017; McEvoy *et al.*, 2012). De surcroît, les conditions météorologiques affectent la qualité des aliments d'origine animale. Par exemple, le stress thermique chez les ruminants, le porc et la volaille diminue les concentrations de protéines et de gras de leur viande et du lait des vaches laitières (Charbonneau *et al.*, 2020; Gonzalez-Rivas *et al.*, 2020; Joksimović-Todorović *et al.*, 2011).

Une hausse des prix des fruits, des légumes, des protéines animales et d'autres produits nutritifs pourrait également encourager les transformateurs alimentaires – et même les restaurateurs – à opter davantage pour des aliments moins nutritifs (p. ex., augmentation de la proportion de pâtes blanches par rapport aux légumes dans un plat congelé) et à augmenter l'apport en sucre, en gras et en sel des produits transformés. En 2004, environ la moitié des calories consommées quotidiennement par les Québécois provenaient d'aliments ultra-transformés (p. ex., boissons sucrées, grignotines, desserts, sauces des plats prêts-à-manger), une proportion similaire à l'ensemble du Canada (Moubarac et Batal, 2016; Nardocci *et al.*, 2019). La consommation de ce type d'aliments à faible teneur nutritionnelle a été associée à un risque plus élevé d'obésité, de cholestérol, de cancer, de maladie cardiovasculaire, de diabète et de mortalité prématurée (Brassard *et al.*, 2019; Fiolet *et al.*, 2018; H. Kim, Hu, *et al.*, 2019; Nardocci *et al.*, 2019; Srour *et al.*, 2019). L'achat de produits transformés pourrait s'accroître avec le temps, puisque les prix des produits à haute densité calorique (comme les produits transformés) sont moins susceptibles de fluctuer que les autres options plus denses sur le plan nutritionnel (Monsivais *et al.*, 2010; Monsivais et Drewnowski, 2007).

Étant donné que les plantes se nourrissent de CO₂, une hausse de sa quantité favorisera leur croissance. En revanche, les plantes métabolisent le CO₂ principalement en glucides plutôt qu'en vitamines ou en nutriments, ce qui diminue à la fois les concentrations de protéines et d'azote (Loladze, 2014; Medek *et al.*, 2017). Ce faisant, les changements climatiques pourraient augmenter le ratio de calories par rapport aux nutriments et aux protéines des plantes et réduire ainsi leur apport nutritif. Une étude effectuée sur près de 130 types de cultures a déterminé qu'une hausse de 6 % de la quantité de CO₂ dans l'air diminuait de 8 % la teneur en minéraux des cultures testées (Loladze, 2014). Une autre étude a montré qu'un doublement approximatif de la concentration de CO₂ ambiant menait à une diminution de 10 à 15 % de la densité protéinique pour le blé, l'orge et le riz, bien que la réduction ait été de 1,4 % seulement dans le cas du soya (Taub *et al.*, 2008). Si les concentrations de CO₂ dépassaient les 500 parties par million (ppm) en 2050 (RCP8.5), l'apport protéinique pourrait diminuer de 2 à 4 % dans les pays industrialisés (Medek *et al.*, 2017).

Une simulation a conclu que des émissions élevées de GES résulteraient en une réduction de 2,5 à 4 % des concentrations de protéines, de zinc et de fer en 2050 comparativement à 2010, et à une diminution de la croissance de la disponibilité globale de ces nutriments variant de 14 à 20 % (Beach *et al.*, 2019). Cette situation pourrait augmenter les carences en certains nutriments. Par exemple, il est estimé qu'une hausse substantielle des concentrations atmosphériques de CO₂ augmenterait de 132 à 180 millions le nombre de personnes avec des carences en zinc en 2050 (S. S. Myers *et al.*, 2015). Même si cette augmentation affecterait principalement les pays non industrialisés, les pays industrialisés, dont le Canada, observeraient une hausse moyenne d'environ 7 % de la proportion de la population avec un apport inadéquat de zinc pour le même horizon. L'augmentation des concentrations de CO₂ pourrait également augmenter le potentiel allergène de certains aliments, dont

les arachides (Katelaris *et al.*, 2018; Ziska *et al.*, 2016), alors que les personnes avec des allergies alimentaires doivent éviter certains aliments, ce qui peut les pousser à faire des choix alimentaires moins sains (Nowak-Wegrzyn et Groetch, 2015).

10.2.2 EFFETS SUR LA SANTÉ DE L'INSÉCURITÉ ALIMENTAIRE

En 2013-2014, 7,5 % des ménages québécois souffraient d'insécurité alimentaire (INSPQ, 2019). En incluant les personnes en situation d'insécurité alimentaire marginale, 13 % de la population québécoise affichait un certain niveau d'insécurité alimentaire en 2012 (Maisonnette *et al.*, 2014). Ces nombres pourront être affectés par les changements climatiques, bien que la direction et la magnitude de l'impact restent à élucider (voir section 10.1.4 **Insécurité alimentaire**).

Maladies chroniques et santé périnatale

Les personnes en situation d'insécurité alimentaire présentaient un risque de développer des maladies cardiovasculaires, de l'hypertension, du diabète et des troubles de santé mentale (Gucciardi *et al.*, 2014; Gundersen et Ziliak, 2015; Laraia, 2013; Morales *et al.*, 2016). Dans une étude réalisée au Mississippi auprès de 5 870 personnes, les auteurs ont estimé que les personnes en situation d'insécurité alimentaire affichaient un risque de 1,3 à 1,5 fois plus important d'avoir une pression artérielle élevée ou du diabète, d'être physiquement inactif ou de manger moins de 5 portions de fruits et légumes par jour (Mendy *et al.*, 2018). D'autres ont estimé qu'elles avaient 2 à 3 fois plus de chance de développer du diabète, probablement à cause de leur diète riche en glucides, en sodium, en sucres raffinés et en calories vides (Gucciardi *et al.*, 2014).

Les personnes en situation d'insécurité alimentaire, principalement les enfants, ont également plus de chance de développer des symptômes asthmatiques (J. Ke et Ford-Jones, 2015). Elles sont plus prédisposées au surpoids et à l'insuffisance de poids que les personnes jouissant d'une bonne sécurité alimentaire, dépendamment de la nature de leur insécurité (quantité par rapport à qualité) (Gundersen *et al.*, 2015; Maisonnette *et al.*, 2014). D'autres études ont mis en évidence un lien entre l'insécurité alimentaire et d'autres problèmes de santé chroniques, tels que les hépatites, les cancers, l'arthrite et les MPOC (Gregory et Coleman-Jensen, 2017; Gundersen *et al.*, 2015).

Chez les femmes enceintes, l'insécurité alimentaire pourrait mener à des complications. Par exemple, une étude états-unienne réalisée auprès de 810 femmes enceintes a conclu que celles en situation d'insécurité alimentaire avaient pris plus de poids pendant la grossesse, en plus de présenter un risque 2,7 fois plus élevé de faire du diabète de grossesse (Laraia *et al.*, 2010). Néanmoins, aucune association n'a été détectée pour l'hypertension et l'anémie au second trimestre. L'insécurité alimentaire chez la femme enceinte pourrait également augmenter le risque de malformation congénitale, d'accouchement prématuré de même que de faible poids ou petite taille à la naissance (Abu-Saad et Fraser, 2010; Carmichael *et al.*, 2007; Ivers et Cullen, 2011).

Santé mentale

L'insécurité alimentaire est associée à travers le monde aux indices de détresse psychologique et de dépression (A. D. Jones, 2017). Par exemple, une étude menée au Canada à partir des données de 2005 à 2012 de l'Enquête sur la santé dans les collectivités canadiennes (ESCC) a aussi démontré que l'insécurité alimentaire était associée aux pensées dépressives (dernier mois), aux épisodes dépressifs sévères (dernière année), aux troubles anxieux, aux troubles de l'humeur, à un état perçu faible ou passable de santé mentale et aux pensées suicidaires (dernière année) (Jessiman-Perreault et McIntyre, 2017). Respectivement, la proportion de personnes en situation d'insécurité alimentaire présentant ces problèmes de santé mentale était 9,2 %, 3,8 %, 3,4 %, 4 %, 3,6 % et 7,8 % plus élevée que pour les personnes en sécurité sur le plan alimentaire. En Ontario, l'insécurité alimentaire

a été associée à un risque de 15 à 50 % plus élevé de consulter pour des problèmes de santé mentale (Tarasuk *et al.*, 2018). Elle était aussi associée aux abus de substances (Pryor *et al.*, 2016; Robson *et al.*, 2017).

10.3 Les populations à risque par rapport aux sécheresses, à l'improductivité agricole et à l'insécurité alimentaire

10.3.1 SÉCHERESSE ET IMPRODUCTIVITÉ AGRICOLE

Âge, sexe, genre et ethnicité

Les personnes vulnérables aux effets des sécheresses le sont également par l'intermédiaire des augmentations des concentrations de polluants dans l'air. Chez les enfants, les sécheresses peuvent augmenter le risque de développer des problèmes respiratoires ou de malnutrition et les aggraver. En Californie, le nombre d'admissions à l'urgence pour des problèmes d'asthme infantile a doublé au cours des années de sécheresses intenses de 2012 à 2016 comparativement aux années précédentes, les enfants à proximité des terres agricoles étant plus à risque, en outre en raison de l'érosion éolienne (Doede *et al.*, 2018). Les personnes âgées, les personnes avec des maladies chroniques, les femmes enceintes, les personnes à faible revenu et les travailleurs extérieurs sont également plus exposés ou plus sensibles aux polluants atmosphériques, dont les concentrations peuvent être amplifiées lors de sécheresses (voir section 7.2 **Les effets de la pollution de l'air ambiant sur la santé**). Les fermiers plus âgés peuvent également être moins prédisposés à aller chercher de l'aide, en particulier pour des troubles de santé mentale, lorsqu'un événement met en péril leur sécurité financière (Polain *et al.*, 2011). Cependant, les jeunes fermiers peuvent vivre plus de stress lors de sécheresses puisqu'ils ont souvent moins de marge de manœuvre financière (E. K. Austin *et al.*, 2018). Les femmes peuvent subir davantage les conséquences des sécheresses lorsqu'elles ont atteint l'âge de la ménopause étant donné les bouffées de chaleur importantes subies à la suite de ce changement hormonal (Rich *et al.*, 2012). Cependant, les hommes ou les femmes ne semblent pas être plus susceptibles de décéder lors de sécheresses, selon les conclusions d'une étude réalisée dans l'ensemble des États-Unis pour la période 1968-2014 (K. M. Lynch *et al.*, 2020). Aux États-Unis, une étude a conclu que les Afro-Américains affichaient un risque plus élevé de décéder lors d'une année de sécheresses, alors que les sécheresses avaient plutôt un effet protecteur pour les Caucasiens (K. M. Lynch *et al.*, 2020). Cet effet persistait même lorsque les variables socio-économiques étaient prises en compte.

Ruralité

Les populations rurales sont plus vulnérables aux sécheresses et à l'improductivité agricole que les populations urbaines, puisqu'elles sont généralement plus dépendantes des activités agricoles pour leur bien-être économique. Par exemple, les sécheresses de 1980 et de 2001-2002 ont coûté chacune 5,8 milliards aux Canadiens, les coûts sanitaires étant exclus (Diaz *et al.*, 2016; Wheaton *et al.*, 2008). De plus, la proximité des populations rurales avec les milieux naturels fait en sorte que la détérioration de ces derniers les affecte plus directement. Les régions pour lesquelles le secteur de l'agriculture représente une part importante de leur économie et de leur identité sont ainsi davantage vulnérables aux sécheresses et à l'improductivité agricole (Kipp *et al.*, 2019).

Les sécheresses, comme d'autres EME, réduisent la productivité agricole, accroissent l'endettement personnel des fermiers, dévaluent les terres et diminuent les opportunités d'emploi en milieu rural (Guiney, 2012). Elles peuvent également accroître les primes d'assurance en lien avec les pertes agricoles. En réduisant la viabilité économique des milieux ruraux, les sécheresses et l'improductivité agricole peuvent précipiter le phénomène d'exode rural et entretenir un cercle vicieux de vulnérabilité

(Vins *et al.*, 2015). Cette perte de viabilité en milieu rural peut affecter ultimement la santé mentale et sociale des populations y résidant (voir 10.2.1 **Effets sur la santé des sécheresses et de l'improductivité agricole**). Pour les populations urbaines, les risques pour la santé mentale ne semblent pas être modifiés par les sécheresses, peu importe leur durée ou leur intensité (Gunn *et al.*, 2012; Hanigan *et al.*, 2012; OBrien *et al.*, 2014). Outre le secteur agricole, la viabilité économique de l'industrie forestière et de ses travailleurs peut également être compromise par les sécheresses puisqu'elles attisent les incendies de forêt (Bonsal *et al.*, 2011).

En Australie, une étude a mis en évidence que les agriculteurs déclarant que les sécheresses avaient réduit considérablement leur productivité agricole présentaient davantage de problèmes de santé mentale et un niveau réduit de bien-être psychologique en comparaison avec les agriculteurs n'ayant pas été affectés (Edwards *et al.*, 2015). Les enfants et les adolescents ruraux affectés par des sécheresses ou des pertes agricoles majeures rapportaient aussi des niveaux de détresse émotionnelle et relationnelle plus importants qu'en temps normal (Carnie *et al.*, 2011; Dean *et al.*, 2010). La durée et l'intensité de la sécheresse s'avéraient déterminantes dans l'incidence qu'elle pouvait avoir sur la détresse psychologique des populations affectées. Toujours en Australie, une sécheresse d'une durée de plus d'un an a augmenté de 6 % l'incidence de détresse psychologique parmi les habitants en milieu rural (OBrien *et al.*, 2014). À l'extrême, les sécheresses pourraient également accroître le taux de suicide dans certains sous-groupes de la population (Gunn *et al.*, 2012; Hanigan *et al.*, 2012). Par exemple, les hommes de 10 à 49 ans issus du milieu rural présentaient un risque de suicide jusqu'à 15 % plus élevé lors de sécheresses intenses (Hanigan *et al.*, 2012). Par contre, les données disponibles restent plutôt contradictoires pour les femmes et les personnes plus âgées qui, dans certains cas, ont plutôt affiché un risque moins élevé de souffrir de problèmes psychologiques ou de se suicider (Crnek-Georgeson *et al.*, 2017; Hanigan *et al.*, 2012; Powers *et al.*, 2015).

Les agriculteurs âgés sont encore plus vulnérables que le reste de la population rurale, entre autres à cause d'une mobilité réduite ou de l'apparition de maladies chroniques et du fait qu'ils ne peuvent pas toujours léguer leurs avoirs à des proches (Crnek-Georgeson *et al.*, 2017; Horton *et al.*, 2010). Ils sont ainsi contraints à repousser l'âge de leur retraite, à conserver la dette attachée à leurs actifs agricoles ou encore à s'en départir à perte. L'insécurité financière et le détachement du milieu étant deux facteurs contribuant à une détérioration de la santé mentale, ces options comportent des inconvénients notables. De plus, les fermiers étant forcés de vendre leurs terres à perte ou de tuer du bétail à cause de leur incapacité à les nourrir affichent un niveau de détresse psychologique plus élevé (Crnek-Georgeson *et al.*, 2017).

Outre les impacts psychologiques, les populations rurales seraient également plus exposées aux poussières lors de sécheresses en raison de l'érosion éolienne. De plus, les particules fines peuvent transporter les pesticides épandus sur les terres agricoles. Par ailleurs, des auteurs ont estimé dans un échantillon de 163 personnes habitant en milieu agricole en Montérégie que les concentrations de pyréthroides (insecticides) dans l'urine étaient généralement plus élevées dans cet échantillon que dans une population urbaine (C. Couture *et al.*, 2009). Cependant, les études sur les différences de mortalité ou d'autres effets sur la santé physique entre les populations rurales et les populations urbaines étaient disparates (Berman *et al.*, 2017; K. M. Lynch *et al.*, 2020; Salvador *et al.*, 2019, 2020a). Les résultats semblaient varier fortement en fonction des caractéristiques du milieu (milieu côtier, désertique, etc.) et de la population (personnes âgées, personnes à faible revenu).

10.3.2 INSÉCURITÉ ALIMENTAIRE

Âge, sexe et genre

La prévalence de l'insécurité alimentaire chez les ménages québécois avec des enfants de moins de 12 ans s'élevait à 9,2 % comparativement à 7,5 % pour l'ensemble des ménages en 2013-2014 (INSPQ, 2019). Les enfants s'avèrent particulièrement à risque puisque la qualité de l'alimentation est déterminante dans leur développement physiologique et cognitif (Martinez Garcia *et al.*, 2016). Une étude a conclu que les adolescents en situation d'insécurité alimentaire rapportaient davantage dormir moins de 8 heures par nuit, fumer ou boire de l'alcool (Robson *et al.*, 2017). Plusieurs études ont démontré que les enfants en situation d'insécurité alimentaire déclaraient au moins 2 fois plus souvent une santé mauvaise ou passable et étaient 1,4 fois plus susceptibles de souffrir d'asthme (Gundersen *et al.*, 2015). Dans une étude canadienne, les auteurs ont associé la faim chez les enfants à un risque 2,3 et 2,9 fois plus élevé de souffrir de dépression et d'idéations suicidaires à l'adolescence ou au début de l'âge adulte (L. McIntyre *et al.*, 2013). Ils auraient également plus de problèmes d'apprentissage, tels que l'inattention, une plus faible capacité à mémoriser et l'hyperactivité (J. Ke *et al.*, 2015). À ce titre, une étude longitudinale québécoise menée auprès d'une cohorte de 2 120 enfants nés en 1997-1998 a conclu que le risque pour ces enfants de souffrir de symptômes persistants de dépression, d'anxiété, d'hyperactivité et d'inattention était de 1,8 à 3 fois plus élevé (Melchior *et al.*, 2012).

Les hommes en situation d'insécurité alimentaire risquent davantage de souffrir d'insuffisance de poids que d'obésité, alors que les femmes présenteraient un risque à la fois pour l'insuffisance de poids et l'obésité, selon les données de l'ESCC 2011-2012 (Maisonneuve *et al.*, 2015). Cette prédisposition chez les femmes à afficher un statut pondéral plus élevé lorsqu'elles sont en situation d'insécurité alimentaire, comparativement aux hommes dans la même situation, se retrouve dans plusieurs études (Franklin *et al.*, 2012).

Ruralité et défavorisation

La réduction des volumes de pêche (voir section 10.1.3 **Chasse et pêche**) a un effet important sur l'économie des régions qui dépendent de ce secteur commercial, telles que la Gaspésie, les Îles-de-la-Madeleine et la Côte-Nord (Giroux-Works, 2017). Un ralentissement de l'industrie de la pêche pourrait se répercuter sur la défavorisation matérielle et sociale de ces régions, elle-même associée à l'insécurité alimentaire (INSPQ, 2019; Maisonneuve *et al.*, 2014). Il faut noter que les personnes à faible revenu accordent généralement une part plus importante de leur revenu pour se nourrir (Crespo, 2018). Malgré cela, leur revenu ne suffit souvent pas à leur procurer une alimentation équilibrée lorsque les autres dépenses essentielles sont prises en compte. Par exemple, le Dispensaire diététique de Montréal a estimé en 2007 qu'une personne bénéficiant de l'aide sociale devait allouer en moyenne 32 % de son budget à la nourriture pour avoir une alimentation équilibrée, alors que, dans le meilleur des cas, il lui resterait seulement 21 % après les coûts de logement et les autres dépenses non compressibles (Pageau, 2008). Même si certains aliments à forte teneur nutritionnelle sont peu dispendieux (p. ex., légumineuses et lentilles), les personnes à faible revenu n'auront pas tendance à acheter ces aliments étant donné qu'ils ne sont pas toujours culturellement acceptables pour elles (Daniel, 2020; Darmon *et al.*, 2015).

En 2012, 17 % des ménages dont aucun membre n'avait complété son secondaire, 58 % des ménages recevant de l'aide sociale, 26 % des ménages dont les prestations d'assurance-emploi étaient la principale source de revenu et 17 % des ménages non propriétaires de leur logement subissaient de l'insécurité alimentaire au Québec (Maisonneuve *et al.*, 2014). En 2013-2014, 15 % des ménages les plus défavorisés (quintile supérieur) se retrouvaient en situation d'insécurité alimentaire comparativement à 3 % pour les ménages les plus favorisés. Les étudiants, les

personnes en situation d'itinérance et les vétérans souffraient également davantage d'insécurité alimentaire à cause de leur faible revenu. Aux États-Unis, par exemple, 24 % des vétérans vivaient de l'insécurité alimentaire (E. A. Wang *et al.*, 2015). Une étude a indiqué que la littérature scientifique répertoriait des taux d'insécurité alimentaire allant de 35 à 42 % chez les étudiants post-secondaires (Bruening *et al.*, 2017). Les immigrants ne sont pas non plus à l'abri de l'insécurité alimentaire à cause de leur revenu généralement plus faible, des barrières langagières, de la difficulté à trouver des aliments correspondant à leurs préférences culturelles, d'un manque d'options alimentaires saines à proximité ou d'une méconnaissance des services alimentaires, incluant les banques alimentaires (Caspi *et al.*, 2017; Girard et Sercia, 2013; Moffat *et al.*, 2017; Munger *et al.*, 2015).

Maladies chroniques

L'insécurité alimentaire peut fragiliser les personnes aux prises avec des maladies chroniques. Par exemple, les diabétiques en situation d'insécurité alimentaire ont plus de difficulté à contrôler leur glycémie, en plus d'afficher un stress accru en lien avec leur diabète (Seligman *et al.*, 2012). Les personnes prenant des médicaments peuvent quant à elles diminuer leur dose prescrite si elles subissent de l'insécurité alimentaire, puisqu'elles sont contraintes à choisir entre mieux se nourrir et se traiter adéquatement (Afulani *et al.*, 2015). Une alimentation riche en sel ou généralement faible en nutriments (p. ex., calcium) peut également exacerber l'hypertension de même que les problèmes cardiaques, osseux ou articulaires (Gundersen *et al.*, 2015; J. Ke *et al.*, 2015). Une étude réalisée en Colombie-Britannique a également indiqué que les personnes atteintes du SIDA avaient plus de chance de décéder de cette maladie si elles rapportaient se retrouver en situation d'insécurité alimentaire (Anema *et al.*, 2013). Bien que l'insécurité alimentaire puisse être la cause de maladies chroniques, l'inverse peut aussi s'avérer. En effet, les maladies chroniques pourraient également prédisposer les personnes qui en souffrent à vivre de l'insécurité alimentaire. Par exemple, certains problèmes de santé mentale ou de mobilité (handicap, obésité) peuvent diminuer les capacités des individus à bien se nourrir (Gundersen *et al.*, 2015; Papan et Clow, 2015).

Autochtonie

Chez les populations autochtones dépendant de la chasse et de la pêche (p. ex., Inuits), la diminution des couches de glace occasionnera un transfert vers une alimentation soutenue davantage par les espèces terrestres plutôt que les espèces aquatiques ou semi-aquatiques, puisqu'elle restreint leur habitat et complique leur capture (Kipp *et al.*, 2019; Rosol *et al.*, 2016). Ces dernières espèces sont généralement plus riches en vitamine D, en zinc et en oméga-3. D'un côté, un apport nutritionnel en vitamine D est particulièrement important dans les latitudes nordiques où l'exposition au soleil est limitée. D'un autre côté, une diminution de la consommation d'espèces animales aquatiques ou semi-aquatiques au sommet de la chaîne alimentaire pourrait diminuer l'ingestion de métaux lourds, en particulier le mercure. À travers le Nunavik, près de la moitié des femmes ont des taux de méthylmercure représentant un risque pour l'enfant en cas de grossesse (Lemire *et al.*, 2015). La consommation de viande de béluga reste un facteur de risque considérable, celle-ci comprenant plusieurs fois les quantités de méthylmercure retrouvées dans les autres sources de protéines animales. Le taux de plomb dans le sang chez les habitants du Nunavik s'avère également plus élevé que celui des populations nord-américaines (A. Couture *et al.*, 2012).

Les changements climatiques pourraient mener à une diminution de la consommation de la nourriture traditionnelle chez les populations autochtones. Certaines espèces traditionnellement chassées migreront vers le nord et certaines cultures traditionnelles pourraient aussi être affectées (J. D. Ford, 2009; J. D. Ford *et al.*, 2014; Ouranos, 2015). Cela dit, les changements climatiques pourraient offrir de nouvelles opportunités de chasse et de culture sur lesquelles de nouvelles traditions pourraient être bâties à plus long terme (J. D. Ford, 2012; J. D. Ford *et al.*, 2014). La nourriture traditionnelle

demeure toutefois généralement plus nutritive et adaptée à la spiritualité de ces peuples comparativement à la nourriture industrialisée (Lamalice *et al.*, 2016). Leur consommation de nourriture pourrait ainsi être appauvrie, tant en quantité qu'en qualité, alors que près de la moitié des autochtones vivent déjà dans une situation d'insécurité alimentaire sévère ou modérée (Centre de gouvernance de l'information des Premières Nations, 2018). Dans les populations du Nunavik, les moins de 40 ans consomment de plus en plus de produits achetés, même si 9 repas par semaine proviennent encore de sources traditionnelles (Blanchet et Rochette, 2008). Une incidence plus forte de maladies chroniques est d'ailleurs observée chez les populations autochtones depuis l'introduction de produits alimentaires à forte teneur énergétique (Lamalice *et al.*, 2016).

10.4 Les mesures d'adaptation aux sécheresses, à l'improductivité agricole et à l'insécurité alimentaire

10.4.1 LES MESURES INDIVIDUELLES D'ADAPTATION À L'INSÉCURITÉ ALIMENTAIRE

Nutrition

Les individus qui réduisent leur consommation de produits transformés (p. ex., charcuteries, pâtisseries, boissons sucrées, plats congelés, etc.) pourraient diminuer leur risque de souffrir d'insécurité alimentaire. Les produits transformés sont souvent riches en calories – et en sel, en sucre et en gras – et pauvres en protéines, en vitamines et autres nutriments (Shilpi Gupta *et al.*, 2019; Moubarac *et al.*, 2017, 2016; Poti *et al.*, 2017). Les produits non transformés peuvent offrir une densité de nutriments de 3 à 7 fois supérieure aux produits transformés, ainsi qu'une densité calorique 2 fois inférieure (Shilpi Gupta *et al.*, 2019). Par conséquent, la consommation de produits transformés demeure associée à l'obésité et à une panoplie de maladies chroniques, allant des cancers aux maladies du cœur, en passant par les problèmes métaboliques, inflammatoires et de santé mentale (Boada *et al.*, 2016; Brassard *et al.*, 2019; Fiolet *et al.*, 2018; T. K. Lin *et al.*, 2018; Nardocci *et al.*, 2019; Poti *et al.*, 2017).

Cependant, une diète de meilleure qualité s'avère généralement plus dispendieuse, même si elle peut être améliorée sans accroissement des dépenses (Bernstein *et al.*, 2010; Rao *et al.*, 2013; Wiggins *et al.*, 2015). Une alimentation plus saine peut néanmoins améliorer la productivité et diminuer les dépenses subséquentes en soins de santé (p. ex., médicaments). Plusieurs barrières non économiques subsistent toutefois, telles que les goûts, l'accessibilité géographique à des aliments sains, la pression sociale, la capacité à cuisiner et le manque de temps (Daniel, 2020; Shilpi Gupta *et al.*, 2019; Macdiarmid *et al.*, 2013; McMorrow *et al.*, 2017; Munt *et al.*, 2017). Préparer ses repas reste tout de même une option pour favoriser sa sécurité alimentaire, et ce, en diminuant les coûts et l'apport calorique ainsi qu'en améliorant son apport nutritionnel (Moubarac *et al.*, 2017).

Une diminution du gaspillage alimentaire peut aussi réduire l'insécurité alimentaire. Au Canada, les ménages sont responsables de près de la moitié de la nourriture gaspillée et jetteraient environ 140 kg de nourriture chaque année, soit une perte annuelle de 1 100 \$ en moyenne par ménage (Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec [MAPAQ], 2020; RECYC-QUÉBEC, 2016). Entreposer de façon appropriée les aliments (p. ex., ajuster la température du réfrigérateur, congeler des aliments, disposer les aliments pour voir les périssables en premier, etc.), mieux planifier ses repas au domicile et à l'extérieur (p. ex., estimation des portions appropriées, gestion des restants, prise en compte des sorties potentielles au restaurant, etc.) et éviter de faire des provisions en excès (c.-à-d. achats « au cas où », impulsifs, promotionnels ou ostentatoires) font partie des mesures pour limiter le gaspillage alimentaire (Schanes *et al.*, 2018).

Diminuer sa consommation de protéines animales, particulièrement de viandes rouges, pourrait aussi amoindrir les risques d'insécurité alimentaire. Règle générale, une alimentation mieux équilibrée et limitant les produits animaliers permet de répondre aux besoins nutritionnels sans avoir d'effet négatif sur les performances physiques, et peut même augmenter l'apport de certains nutriments (H. Lynch *et al.*, 2018; Parker et Vadiveloo, 2019; Seves *et al.*, 2017; Springmann *et al.*, 2016). En définitive, une alimentation plus riche en produits végétaux amène plusieurs bénéfices sur le plan de la santé, tels qu'une réduction du risque de mortalité, de diabète, de maladie cardiovasculaire, de cancer et d'autres maladies chroniques (Dinu *et al.*, 2017; H. Kim, Caulfield, *et al.*, 2019; H. Kim *et al.*, 2018; Segovia-Siapco et Sabaté, 2019; Tuso *et al.*, 2013). De plus, ce type d'alimentation n'est pas nécessairement plus dispendieux, la densité protéinique par dollar étant similaire entre les options animales et végétales (p. ex., tofu, légumineuses) (Bohrer, 2017; Day, 2013). Une étude réalisée aux États-Unis a entre autres démontré que la substitution de la viande (bœuf, porc et volaille) pour des options végétales diminuerait en moyenne les coûts d'achat alimentaire de 10,5 % tout en accroissant la qualité de la nutrition de 8,7 % (Willits-Smith *et al.*, 2020). L'adoption de cette habitude de vie pourrait également diminuer globalement les prix alimentaires (voir sous-section **Pratiques agricoles** dans 10.4.3 **Les mesures physiques d'adaptation aux sécheresses, à l'improductivité agricole et à l'insécurité alimentaire**).

Le jardinage constitue pour sa part une façon d'augmenter sa consommation de fruits et légumes, tout en se gardant physiquement actif. Les avantages de cette mesure sont énumérés à la sous-section **Agriculture urbaine** dans 10.4.3 **Les mesures physiques d'adaptation aux sécheresses, à l'improductivité agricole et à l'insécurité alimentaire**.

10.4.2 LES MESURES POPULATIONNELLES ET INSTITUTIONNELLES D'ADAPTATION AUX SÉCHERESSES, À L'IMPRODUCTIVITÉ AGRICOLE ET À L'INSÉCURITÉ ALIMENTAIRE

Campagne de sensibilisation

Dans son [Cadre de référence en matière de sécurité alimentaire](#), le MSSS établit plusieurs principes directeurs afin d'augmenter l'autonomie alimentaire, la disponibilité d'aliments sains à coût raisonnable, les connaissances, les habiletés alimentaires, l'accès physique aux aliments et la durabilité du système agroalimentaire (Pageau, 2008). Toutefois, ce cadre n'a pas été mis à jour depuis 2008 et met l'accent sur le caractère social et économique de la sécurité alimentaire, les changements climatiques n'y étant mentionnés nulle part. En revanche, l'impact des changements climatiques sur la qualité et la quantité des récoltes et des produits d'élevage ainsi que les façons pour s'y adapter sont de plus en plus mis de l'avant en dehors du réseau de la santé et des services sociaux. Entre autres, le Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ) met publiquement à disposition son portail [Agrométéo Québec](#) et son [Atlas agroclimatique](#) (CRAAQ, 2018). Bien que les agriculteurs québécois reconnaissent les conséquences de la variabilité climatique, un sondage de 2007 a indiqué que l'aspect économique (taux d'intérêt, changements dans les politiques gouvernementales, échanges internationaux) les préoccupe davantage (Bryant *et al.*, 2007). Cependant, la reconnaissance des impacts du climat sur l'agriculture ne signifie pas que les agriculteurs s'adapteront en fonction des changements climatiques. Diverses preuves scientifiques soulignent que le fait de croire que les changements climatiques sont d'origine anthropique accroît la prédisposition d'un agriculteur à s'adapter aux changements climatiques (Arbuckle *et al.*, 2013; Kuehne, 2014). Une sensibilisation accrue des agriculteurs aux impacts des changements climatiques sur les rendements agricoles, et aux mesures d'adaptation reliées, pourrait assurer une adaptation durable dans le milieu agricole. Au Québec, le programme [Agriclimat](#) va dans ce sens.

Dans la population, la sensibilisation à l'alimentation locale, au gaspillage alimentaire et à la diminution de la consommation de protéines animale pourrait favoriser la sécurité alimentaire (voir section 10.4.1 **Les mesures individuelles d'adaptation à l'insécurité alimentaire** et la prochaine sous-section). Le [Guide alimentaire canadien](#) fait d'ailleurs la promotion d'une alimentation plus saine axée sur les protéines végétales et la préparation de ses repas, en passant par une plus grande conscientisation de ses habitudes alimentaires. Ces recommandations, si elles sont suivies, pourraient entraîner une diminution des personnes en situation d'insécurité alimentaire (voir section 10.4.1 **Les mesures individuelles d'adaptation à l'insécurité alimentaire**). Entre autres, une étude réalisée en Ontario auprès de 68 ménages a indiqué que le niveau de sensibilisation au gaspillage alimentaire et les connaissances alimentaires globales diminuaient la propension à surconsommer et à jeter inutilement de la nourriture (Parizeau *et al.*, 2015).

Gaspillage alimentaire

Selon des estimations, 58 % de la nourriture serait gaspillée annuellement au Canada dans l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement (Gooch *et al.*, 2019). Une étude a conclu que de 30 à 35 % de la consommation d'eau, de terres fertiles et de fertilisants en Amérique du Nord servait à produire des aliments qui seront ultimement gaspillés (Kummu *et al.*, 2012). En diminuant les ressources utilisées par unité de production, une réduction du gaspillage alimentaire pourrait déprécier les prix alimentaires sans diminuer la marge de profit de la chaîne de production, en plus des avantages environnementaux associés (p. ex., diminution de l'utilisation de fertilisants et de pesticides avec un impact potentiel sur la qualité de l'eau et de l'air) (Konecka-Matyjek *et al.*, 2012). Pour ce faire, plusieurs pratiques agricoles peuvent être adoptées pour utiliser plus efficacement les terres, l'eau, les fertilisants, l'électricité et l'énergie solaire, en plus de la sélection des types de production (voir section 10.4.1 **Les mesures individuelles d'adaptation à l'insécurité alimentaire**). Une réduction du gaspillage alimentaire peut aussi être atteinte à d'autres endroits dans la chaîne d'approvisionnement, entre autres lors de la transformation, de la distribution, de la vente ou de la consommation. En plus des campagnes de sensibilisation, plusieurs pistes de solution ont été proposées, entre autres (Aschemann-Witzel *et al.*, 2015; Gooch *et al.*, 2010; MacRae *et al.*, 2016; Papargyropoulou *et al.*, 2014; Priefer *et al.*, 2016; H. Williams *et al.*, 2012) :

- Mieux répertorier les sources (environnementales, sociales, économiques et comportementales) de gaspillage à différentes échelles (ménages, transformation, etc.);
- Minimiser les surplus de production agricole;
- Réglementer les critères de production et de qualité afin d'avantager les cultures exigeant moins de ressources et de diminuer les rejets pour des critères superflus (p. ex., difformité, décoloration, etc.);
- Réduire la distance entre la production du produit et son endroit de consommation, entre autres en favorisant les circuits d'alimentation de proximité;
- Vendre à rabais les aliments près de la date de péremption et rendre plus explicite l'étiquetage de la nourriture, en particulier les éléments en lien avec la fraîcheur (p. ex., « meilleur avant » ne signifie pas que l'aliment ne peut pas être consommé après cette date);
- Adopter des matériaux et des formats d'emballage permettant de protéger la nourriture, d'en diminuer la périssabilité ou de décourager la surconsommation;
- Améliorer la redistribution de la nourriture par donateur;
- Favoriser la transformation des déchets alimentaires (ou autres) en fertilisants ou en nourriture animale (p. ex., compostage);
- Mettre en œuvre un système de paiement aux déchets (c.-à-d. frais au ménage en fonction du poids des déchets collectés, du volume de la poubelle ou de la fréquence de la collecte).

Dans tous les cas, l'ensemble de la chaîne doit être considérée pour diminuer le gaspillage alimentaire, puisqu'une mesure le réduisant dans une dimension de la chaîne pourra l'augmenter ailleurs (Gooch *et al.*, 2010). L'effet de ces mesures sur l'insalubrité alimentaire doit aussi être pris en considération, puisque la sécurité alimentaire et la salubrité alimentaire peuvent parfois entrer en conflit (King *et al.*, 2017).

Programme d'assistance sociale

Une augmentation du revenu des personnes défavorisées par l'intermédiaire de politiques sociales peut donner la marge de manœuvre financière nécessaire à l'adoption d'une alimentation adéquate (Tarasuk, Dachner et Loopstra, 2014). Par exemple, une étude réalisée en Colombie-Britannique a démontré que l'augmentation des prestations d'assistance sociale a réduit le taux global d'insécurité alimentaire, quoique le programme d'assistance aux locataires n'avait pas eu d'effet perceptible à cet égard (Li *et al.*, 2016). Les pensions de vieillesse peuvent avoir un effet similaire. Une étude canadienne a conclu à ce sujet que les personnes âgées de 65 ans et plus affichaient un taux d'insécurité alimentaire 50 % moins élevé que les personnes à faible revenu de moins de 65 ans, selon les données de 2007 à 2013 de l'ESCC (L. McIntyre *et al.*, 2016). Au Royaume-Uni, une diminution des prestations d'assistance sociale combinée à une flambée des prix alimentaires a correspondu à une augmentation de l'insécurité alimentaire (Dowler et Lambie-Mumford, 2015). Une étude réalisée à travers l'Europe en est venue à une conclusion similaire : les effets de la crise économique de 2008 sur l'insécurité alimentaire étaient compensés dans les pays ayant dépensé 10 000 \$ (en dollars internationaux constants à parité de pouvoir d'achat) par personne en programmes sociaux de 2004 à 2012, avec un effet atténuant en deçà de ce montant (Loopstra *et al.*, 2016). Aux États-Unis, des auteurs ont estimé qu'une augmentation de 1 000 \$ en prestations sociales pour les plus pauvres pourrait réduire de 4 % leur incidence d'insécurité alimentaire (Schmidt *et al.*, 2016). De plus, ces programmes pourraient réduire le taux d'obésité et de dépression chez les personnes en situation d'insécurité alimentaire (K. Kim et Frongillo, 2007; Tarasuk, Dachner et Loopstra, 2014). Ils présentent néanmoins plusieurs désavantages, entre autres la stigmatisation des bénéficiaires, l'insuffisance de l'aide pour diminuer l'insécurité alimentaire chez les personnes les plus dans le besoin et le processus de demande parfois rigide qui peut exclure certaines populations (E. M. Power *et al.*, 2015).

L'offre de cours sur la nutrition, les finances et les habitudes de vie aux personnes défavorisées peuvent également les informer sur les ressources à leur disposition dans leur milieu ainsi que sur les façons de mieux gérer leur budget et d'adopter de meilleures habitudes de vie. Les résultats de ce type d'intervention sur la sécurité alimentaire dans la communauté sont néanmoins mitigés; les personnes qui ont le plus besoin de ces services ne les utilisent généralement pas en raison de barrières telles que la distance géographique, les problèmes de santé mentale, une mobilité réduite, un inconfort social ou la perception que l'intervention ne correspond pas à leurs besoins (Loopstra, 2018).

Soutien psychosocial

Les populations rurales sont plus réticentes à aller chercher de l'aide lorsqu'elles en ont besoin (Berry *et al.*, 2011; Gunn *et al.*, 2012). Surtout, le stigmate rattaché aux problèmes de santé mentale diminue la probabilité de consulter. La sensibilisation par rapport à la santé mentale, l'organisation d'événements sociaux en temps de sécheresse ainsi que la mise en place d'une ligne téléphonique de soutien et de programmes d'intervention psychosociale peuvent favoriser l'acceptabilité sociale des problèmes de santé mentale et la consultation en cas de besoin (Hart *et al.*, 2011). Cette sensibilisation peut aussi favoriser le développement de compétences en santé mentale dans la population afin que chaque personne soit davantage en mesure de gérer ses problèmes

psychologiques et de livrer des premiers soins psychologiques. De plus, la formation d'acteurs clés sur les questions de santé mentale permet de mieux repérer les personnes présentant des symptômes de détresse psychologique (Sartore *et al.*, 2008). En somme, ces mesures peuvent atténuer de façon importante les impacts psychosociaux des sécheresses, d'autant plus si elles ciblent les populations les plus vulnérables, telles que les agriculteurs masculins et les enfants. Il est également important que ces mesures soient adaptées en fonction de l'âge, du sexe et du genre, et qu'elles tiennent compte des caractéristiques culturelles spécifiques des populations rurales (Alston, 2011; Crnek-Georgeson *et al.*, 2017; Hurlbert *et al.*, 2016; Rich *et al.*, 2012).

Cuisine collective

Les cuisines communautaires ou l'offre de cours de cuisine peuvent donner l'opportunité de développer des compétences culinaires, alors que les plats préparés au domicile sont généralement plus sains que les plats et les aliments transformés à l'épicerie (Moubarac *et al.*, 2016, 2017). Plusieurs études ont démontré que les participants consommaient plus d'aliments nutritifs, avaient plus accès à des aliments sains, s'impliquaient davantage auprès d'organismes sociaux et étaient plus aptes et soutenus socialement, en plus d'afficher un plus grand niveau de confiance en soi, d'autosuffisance et de plaisir lors d'activités culinaires (Iacovou *et al.*, 2013). Cette intervention pourrait être moins stigmatisante que d'autres types de services communautaires (Engler-Stringer et Berenbaum, 2007). La disponibilité (p. ex., localisation, capacité d'accueil) et la stabilité (p. ex., horaire, qualité des installations ou du service) souvent limitées des cuisines communautaires ou des cours culinaires ne permettent pas nécessairement de conserver la majorité de ces bénéfices à long terme, sans compter que ces interventions ne s'attaquent pas aux causes financières de l'insécurité alimentaire (Engler-Stringer *et al.*, 2007; Loopstra, 2018).

Programme d'assurance

Au Québec, le programme d'assurance récolte permet aux agriculteurs de contrer les risques associés aux conditions climatiques, tant que le demandeur respecte certains critères comme le choix de variétés végétales en fonction des zones agroclimatiques, les dates de semis et autres (La Financière agricole du Québec [FADQ], s. d.). Le programme offre aux adhérents des informations quant aux meilleures pratiques pour diminuer leurs pertes découlant des conditions climatiques et définit des programmes régionaux par types de récolte spécifiques qui reflètent les expériences passées.

Les paliers gouvernementaux et les producteurs agricoles couvrent conjointement le coût de ces assurances. Avec les changements climatiques, les réclamations faites dans le cadre de ce programme pourraient s'accroître et amoindrir conséquemment sa viabilité. Cette situation pourrait aussi créer des inégalités; les régions moins touchées pourraient couvrir disproportionnellement le risque des régions les plus affectées. Les réclamations sont déjà réparties inégalement entre les régions et parfois à l'intérieur d'une même région (Bryant *et al.*, 2007; Forest, 2016; FADQ, 2019). La révision périodique des critères de réclamations et d'admission à l'assurance en fonction des nouvelles réalités climatiques, incluant entre autres des modifications dans les pratiques agricoles, pourrait être un fort incitatif à l'adaptation du milieu agricole, en plus de diluer le risque (Bryant *et al.*, 2007; Forest, 2016).

Systèmes de surveillance et d'alertes

La surveillance et le suivi de la qualité de l'air et des maladies d'origine hydrique susceptibles d'être affectées par les sécheresses facilitent aussi la mise en œuvre d'interventions préventives ou réactives. Pour plus d'informations sur ces sujets, voir sections 7.4.2 **Les mesures populationnelles et institutionnelles d'adaptation à la pollution de l'air ambiant** et 12.4.2 **Les mesures populationnelles et institutionnelles d'adaptation aux zoonoses**.

Au Canada, la surveillance de l'insécurité alimentaire à partir d'indicateurs uniformes s'exerce depuis 2007 à travers l'ESCC (Loopstra et Tarasuk, 2015). La surveillance des ravageurs et d'autres organismes nuisibles, de même que des maladies chez les animaux et les végétaux, permet également de mettre en œuvre précocement les mesures pour limiter les dégâts sur la productivité agricole.

10.4.3 LES MESURES PHYSIQUES D'ADAPTATION AUX SÉCHERESSES, À L'IMPRODUCTIVITÉ AGRICOLE ET À L'INSÉCURITÉ ALIMENTAIRE

Pratiques agricoles

Avec les changements climatiques, l'utilisation des pesticides et des fertilisants devra être optimisée en fonction des nouvelles espèces ravageuses et de façon à diminuer les volumes épandus afin de réduire les risques de contamination et leur charge financière (Debailleul *et al.*, 2014). Les agriculteurs gagneraient surtout à choisir des hybrides et des cultivars affichant une grande résistance thermique, ou encore des graminées fourragères plus résistantes à un climat plus chaud (p. ex., fétuque élevée, luzerne, etc.) (Charbonneau *et al.*, 2014, 2020). La diversification des espèces et l'abandon, dans la mesure du possible, de la monoculture réduiraient à long terme la vulnérabilité du système bioalimentaire (Altieri *et al.*, 2015; Chakraborty et Newton, 2011). Des pratiques de travail réduit du sol et la rotation des cultures représentent d'autres options pour diminuer la vulnérabilité des cultures et des personnes travaillant dans le domaine agricole. D'autres solutions agricoles existent pour diminuer les effets des changements climatiques sur les rendements agricoles (Forest, 2016). Sans être une liste exhaustive, en voici quelques exemples :

- Réaliser des travaux de nivellement des sols pour limiter les baissières et faciliter l'écoulement;
- Assurer la performance du drainage de surface et sous-terrain (p. ex., bandes riveraines, nettoyage des bassins de rétention, espacement optimal des drains, etc.);
- Planter des systèmes d'irrigation adaptés aux cultures (p. ex., aspersion, plasticulture, goutte-à-goutte, combinaison de systèmes, etc.);
- Façonner les sols de façon à optimiser leur structure (bien drainés et non compactés) et leur niveau de matières organiques (p. ex., travail réduit du sol, utilisation d'engrais verts, chaulage, cultures biologiques, etc.);
- Planter des haies brise-vent ou utiliser des bâches au sol;
- Cultiver les cultures hâtives ou tardives dans de grands tunnels et des tunnels chenilles;
- Choisir les terrains bénéficiant d'une période sans gel suffisamment longue et réaliser des bilans hydriques;
- Augmenter l'efficacité des opérations en diminuant entre autres le gaspillage (voir sous-section **Gaspillage alimentaire** dans 10.4.2 **Les mesures populationnelles et institutionnelles d'adaptation aux sécheresses, à l'improductivité agricole et à l'insécurité alimentaire**).

Plus globalement, plusieurs pratiques agroécologiques peuvent également influencer la résilience du secteur agricole aux changements climatiques et à d'autres chocs externes. Par exemple, l'adoption de pratiques d'agriculture biologique²¹ peut diminuer les quantités de pesticides et d'antibiotiques, tout en favorisant la prolifération des pollinisateurs, la santé des sols et des animaux d'élevage ainsi que la diversité et la résistance des cultures (Gomiero *et al.*, 2011; D. H. Lynch *et al.*, 2012). Néanmoins, l'agriculture biologique nécessite généralement davantage de terres pour le même volume de production, ce qui contrecarre en partie ces avantages environnementaux (Seufert *et al.*, 2012). Sur le plan nutritionnel, certains aspects des produits biologiques semblent plus favorables (p. ex., omega-3 dans les produits animaliers, antioxydants dans les fruits et légumes), mais la différence avec les produits conventionnels demeure marginale (Mie *et al.*, 2017). Même si quelques preuves scientifiques semblent indiquer un effet positif de la consommation de produits biologiques comparativement aux produits conventionnels, entre autres sur les allergies, l'obésité et le lymphome de Hodgkin, ces études sont fortement sujettes à des biais de sélection, puisque les consommateurs d'aliments biologiques tendent à adopter des habitudes de vie plus saines (Mie *et al.*, 2017). Dans tous les cas, les prix plus élevés des produits biologiques constituent une barrière à l'achat de ces produits et ainsi un problème sur le plan de la sécurité alimentaire, bien qu'une augmentation de l'offre pourrait éventuellement déprécier les prix et les rendre plus compétitifs avec les produits traditionnels (Crowder et Reganold, 2015; Marian *et al.*, 2014; Rödiger et Hamm, 2015).

L'agroforesterie²² a également démontré plusieurs avantages sur le plan de la productivité agricole et de la résilience aux aléas. Malgré les défis liés à son implantation dans un climat tempéré, elle diminue l'érosion éolienne des sols, et ainsi les polluants atmosphériques en décollant, en plus de favoriser la fertilité des sols (p. ex., matières organiques générées par les feuilles des arbres) et la biodiversité (p. ex., hausse des pollinisateurs, moins d'espèces envahissantes) comparativement aux monocultures (Dollinger et Jose, 2018; Kort *et al.*, 2014; Pavlidis et Tsihrintzis, 2018; Torralba *et al.*, 2016). Les rendements agricoles à court terme pourraient néanmoins s'avérer légèrement plus faibles en moyenne que ceux observés dans les cultures conventionnelles, dépendamment du milieu, de l'échelle et des pratiques adoptées (Anel *et al.*, 2017; Kay *et al.*, 2019). En revanche, le risque financier à plus long terme pourrait être moins important pour l'agroforesterie, surtout avec l'intensification des changements climatiques, puisque la pratique améliore la résilience du système agricole face aux ravageurs et aux aléas comme les sécheresses (C. Paul *et al.*, 2017; Torralba *et al.*, 2016). Une étude économique menée dans 11 pays d'Europe a également conclu que l'agroforesterie affichait un taux de rentabilité sociale plus élevée lorsque certains services écosystémiques, tels que la réduction des pertes de nutriments, la bonification de la qualité du sol et la séquestration de carbone, étaient pris en compte (Kay *et al.*, 2019). En définitive, l'effet sur les prix alimentaires reste incertain, mais l'agroforesterie pourrait diminuer le risque de fluctuation des prix à plus long terme.

La permaculture représente une autre pratique agroécologique avec des effets potentiels sur la sécurité alimentaire. Elle aurait des effets similaires à l'agroforesterie, c'est-à-dire qu'elle diminuerait l'érosion éolienne des sols tout en améliorant la biodiversité, la diversité des cultures et la qualité des sols, entre autres choses (Hathaway, 2016; Hirschfeld et Acker, 2020; Krebs et Bach, 2018). Néanmoins, les effets de son adoption sont moins bien répertoriés dans la littérature scientifique, particulièrement en ce qui concerne la résilience aux changements climatiques (R. S. Ferguson et Lovell, 2014; Krebs *et al.*, 2018). Une simulation réalisée en Ontario a d'ailleurs permis de comparer les pratiques de la permaculture aux pratiques de l'agriculture conventionnelle (Janik, 2020). L'autrice

²¹ L'agriculture biologique est définie comme la culture durable des terres pour la production alimentaire qui nourrit la vie du sol, prend soin des animaux dans leur environnement naturel et les alimente en fonction de leur physiologie. Elle exclut le recours à la plupart des produits chimiques de synthèse.

²² L'agroforesterie est un mode d'exploitation des terres agricoles associant des arbres et des cultures ou de l'élevage.

de cette simulation a conclu que la diminution de l'érosion du sol était un effet probable de la permaculture, mais que les preuves scientifiques étaient insuffisantes pour indiquer un effet protecteur sur les rendements agricoles, la rétention des nutriments et la qualité du sol par rapport au risque que représentent les changements climatiques. En séparant les différents principes de la permaculture, il reste que différentes preuves scientifiques pointent dans une direction favorable sur le plan de la résilience (Hathaway, 2016; Krebs *et al.*, 2018). Dans tous les cas, les pratiques agroécologiques, malgré leurs avantages potentiels, comportent plusieurs défis (p. ex., coûts fixes plus importants, intégration au marché plus difficile) et la complexité de leur application peut constituer un obstacle majeur à leur adoption (R. S. Ferguson *et al.*, 2014). À plus long terme, ces pratiques pourraient tout de même avoir un effet positif sur la productivité agricole et la sécurité alimentaire, soulignant la nécessité de prendre en compte les avantages sociaux (non économiques) de ce type de pratique (Akhtar *et al.*, 2015; Vitari et David, 2017).

Une autre possibilité demeure la substitution partielle de l'élevage par des cultures végétales ou l'élevage de produits animaliers moins exigeants en ressources, et ainsi l'adoption d'une alimentation plus riche en produits végétaux que la normale actuelle. La production de protéines végétales requiert généralement moins de ressources (terres, alimentation, azote, phosphore, eau, etc.) que la production de protéines animales (de Boer et Aiking, 2011; González *et al.*, 2011; Rööß *et al.*, 2017). Une alimentation à base de plantes typiques peut permettre de produire de 2 à 20 fois plus de nourriture similaire sur le plan nutritionnel pour la même superficie de terres agricoles que si elles servaient à produire respectivement des œufs ou du bœuf (Shepon *et al.*, 2018). Les auteurs d'une étude ont estimé qu'une alimentation faible en viande à travers le monde pourrait réduire les émissions de GES de 54 à 87 %, l'application d'azote de 23 à 25 %, l'application de phosphore de 18 à 21 %, l'utilisation de terres fertiles de 8 à 11 % et la consommation d'eau de 2 à 11 % par rapport au régime actuel, avec un effet plus marqué dans les pays fortement industrialisés comme le Canada (Springmann *et al.*, 2018). En définitive, ces gains d'efficacité pourraient réduire les prix à la consommation et permettre de nourrir davantage de personnes avec moins de ressources (Day, 2013; Lusk et Norwood, 2009). Une étude réalisée aux États-Unis a démontré qu'un transfert de la consommation de bœuf vers la consommation de protéines végétales permettrait de répondre aux besoins caloriques et protéiniques d'environ 190 millions de personnes supplémentaires, ce nombre se situant plutôt de 120 à 140 millions dans le cas d'un transfert vers la volaille (Shepon *et al.*, 2016).

Plusieurs mesures d'adaptation telles que l'élaboration d'un plan de gestion de l'eau exigent une grande coopération entre les acteurs du milieu agricole. Les stratégies d'adaptation devraient ainsi favoriser la mutualisation des risques et la formation de capital social entre ces acteurs. D'autres stratégies cherchant à contraindre volontairement ou obligatoirement la consommation d'eau pendant les périodes de sécheresse peuvent également permettre de mieux répartir les ressources en eau potable et de limiter les pertes agricoles (Yusa *et al.*, 2015). Des provinces telles que la Saskatchewan et l'Alberta ont mis en place des programmes d'aide aux infrastructures de gestion environnementale (irrigation, réservoir, etc.), des systèmes de surveillance des sécheresses et des plans d'urgence lors de survenues de conditions sèches prolongées (Hurlbert *et al.*, 2016). Ces programmes ont semblé réduire les pertes subies lors des sécheresses survenues en 2001 et en 2003 dans les Prairies (Abbasi, 2014; Diaz *et al.*, 2016).

Néanmoins, les mesures d'adaptation dans le milieu agricole sont souvent implantées en tenant compte des données climatiques historiques et ne sont donc pas adaptées à l'accroissement de la fréquence et de l'intensité des sécheresses et d'autres aléas pouvant endommager les cultures (McMartin *et al.*, 2018). Puisqu'il s'agit d'investissements à long terme, une gestion des risques intégrant les changements climatiques dans le secteur de l'agriculture devrait être systématisée. En Californie, il a été évalué qu'une politique de gestion de l'eau utilisant les données historiques ne

permettrait pas de satisfaire la demande en eau lors de futurs épisodes de sécheresse. Elle sous-estimait jusqu'à 58 % des besoins en provision d'eau, en comparaison avec une politique adaptative qui tiendrait compte des conditions climatiques futures (Georgakakos *et al.*, 2012). De plus, puisque les systèmes agricoles de production et les impacts des changements climatiques varient beaucoup d'une région à l'autre, certaines adaptations techniques efficaces à tel endroit pourraient avoir l'effet inverse ailleurs (Reidsma *et al.*, 2008). Les mesures d'adaptation devront donc présenter la souplesse nécessaire pour répondre aux besoins des diverses régions. Les interrelations entre les divers acteurs de la filière agroalimentaire devront aussi être considérées, en tenant compte des stratégies existantes d'adaptation à la variabilité du climat et des prix. Pour y arriver, une meilleure intégration des modèles bioclimatiques et économiques est requise.

Pratiques de chasse et de pêche

Dans les latitudes nordiques, le savoir écologique traditionnel des communautés autochtones peut jouer un rôle primordial dans l'adaptation aux changements climatiques en lien avec leurs activités de subsistance (chasse, pêche et agriculture) et leur sécurité alimentaire. Il peut permettre d'éviter les risques (lecture des conditions climatiques, techniques de navigation, etc.), de mieux se préparer aux situations d'urgence (techniques de survie en nature, ressources nécessaires à transporter, etc.) et d'être plus flexible (ajustement du calendrier ou des localisations de chasse, connaissance de la faune et des terres, etc.) (Pearce *et al.*, 2015). D'ailleurs, plusieurs communautés nordiques s'adaptent déjà aux changements climatiques en modifiant l'emplacement et le temps des récoltes, en changeant les espèces chassées ou récoltées, en utilisant des itinéraires de déplacement différents et en évitant de se déplacer lorsque certaines conditions se présentent (J. D. Ford, 2012). Le savoir traditionnel peut ainsi habiliter les communautés autochtones à profiter des nouvelles opportunités de chasse, de pêche et de culture. La mise à disposition de réfrigérateurs collectifs dans les communautés nordiques pourrait aussi permettre de diminuer le gaspillage alimentaire, en particulier pour la viande de gibier, tout en réduisant le risque de maladie d'origine alimentaire.

Pour la pêche, toute mesure empêchant la surexploitation des ressources halieutiques, tenant compte des opportunités et des risques émergents liés aux changements climatiques et impliquant une approche multipartite (p. ex., pêcheurs, biologistes marins, municipalités côtières, etc.), permettrait d'accroître la résilience des systèmes marins et des communautés qui en dépendent directement. Plus précisément, l'implantation de zones sans pêche lors de chocs environnementaux, la mise sur pied d'un système dynamique de quota et l'utilisation d'équipements réduisant les prises accidentelles optimisent l'utilisation des ressources halieutiques (Badjeck *et al.*, 2010; Grafton, 2010; Miller *et al.*, 2018).

Banques alimentaires

Les banques alimentaires peuvent offrir un soulagement temporaire de la faim, mais elles auraient peu d'effet sur l'insécurité alimentaire chronique et ne devraient donc pas se substituer au filet social. À travers le Canada, elles peinent à répondre à la demande (Tarasuk, Dachner, Hamelin, *et al.*, 2014). De plus, aucune relation entre l'usage de banques alimentaires et l'insécurité alimentaire n'a été décelée dans une étude canadienne utilisant des données de la période 2007-2011 (Loopstra *et al.*, 2015). Deux revues de la littérature ont confirmé le manque de preuves scientifiques démontrant l'effet des banques alimentaires sur l'insécurité alimentaire, soulignant plutôt leur incapacité à répondre à la demande et à offrir des produits à haute teneur nutritive (Bazerghi *et al.*, 2016; Lindberg *et al.*, 2015). Par ailleurs, les banques alimentaires sont souvent utilisées en dernier recours et de façon ponctuelle. À Toronto, en 2011, un peu moins du quart des personnes en situation d'insécurité alimentaire ont recouru à des banques alimentaires, 43 % chez les personnes recevant de l'assistance sociale (Tarasuk, Dachner et Loopstra, 2014). Les familles dans cette situation n'ayant

pas utilisé les banques alimentaires percevaient cette option comme n'étant pas appropriée à leurs besoins, démontraient une réticence à demander la charité (sentiment de honte) ou évoquaient des barrières logistiques telles que la distance géographique, des heures trop courtes d'opération ou des listes d'attente trop longues (Loopstra et Tarasuk, 2013; Tarasuk, Dachner et Loopstra, 2014). Des améliorations quant à l'accessibilité physique et temporelle des banques alimentaires ou aux critères d'admissibilité pourraient en encourager le recours. L'implication des personnes vivant de l'insécurité alimentaire dans le choix des aliments des banques, la réalisation d'entrevues motivationnelles avec ces personnes de même que la formulation de recommandations ciblées auprès des services alimentaires pourraient amener des changements plus durables sur l'insécurité alimentaire, car, même si elles ne sont pas une panacée, les banques alimentaires peuvent tout de même compléter les mesures de soutien social et financier, tout en diminuant le gaspillage alimentaire (K. S. Martin *et al.*, 2013; Remley *et al.*, 2013). Elles peuvent être utiles en temps de crise, et auront un effet plus marqué si elles proposent des aliments frais, ajustent leur offre aux besoins des clientèles plus vulnérables et possèdent assez de ressources opérationnelles pour y arriver (Bazerghi *et al.*, 2016; Lindberg *et al.*, 2015).

Agriculture urbaine

L'agriculture urbaine, principalement les cultures maraîchères, a le potentiel de diminuer l'insécurité alimentaire en plus d'avoir comme co-bénéfices la diminution des températures, l'amélioration de la qualité de l'air et la séquestration des GES. Elle inclut le jardinage à la résidence ainsi que les jardins collectifs et communautaires. Les auteurs d'une étude à propos de 6 jardins collectifs à Montréal en 2008 ont estimé qu'un lot de 18 m² produisait en moyenne 16 kg de légumes sur 18 semaines, soit 880 g par jour (Duchemin *et al.*, 2010). Cette quantité équivaut à l'apport normal quotidien d'un adulte canadien en légumes frais. Ces jardins ont ainsi le potentiel d'augmenter la consommation quotidienne estivale de fruits et légumes, d'autant plus que les personnes en situation de précarité alimentaire ou ayant un revenu sous le seuil de la pauvreté représentaient de 20 à 60 % des participants dans cette étude. Pour venir appuyer ces résultats, un sondage réalisé dans la région de la Capitale-Nationale auprès de 100 utilisateurs de jardins communautaires a permis de mettre en évidence que 73 % des répondants comblaient la majorité de leur besoin en légumes durant la saison estivale par le biais de leur parcelle jardinière, 23 % en ce qui a trait aux fruits (Levasseur, Gagnon, *et al.*, 2017). De plus, les produits maraîchers dans les jardins collectifs et communautaires sont généralement biologiques, ce qui pourrait réduire l'exposition des participants aux pesticides.

À l'extérieur du Québec, une étude réalisée dans l'État du Michigan auprès de 766 adultes a démontré que les répondants dont au moins 1 membre du ménage s'impliquait dans un jardin communautaire consommaient 40 % plus de fruits et légumes et avaient 3,5 fois plus de chance d'atteindre la recommandation de manger 5 portions de fruits et légumes par jour (Alaimo *et al.*, 2008). L'effet était plus important chez les femmes, les personnes veuves, les personnes âgées et celles déclarant avoir un mauvais état de santé. Des chercheurs à Salt Lake City ont aussi mis en évidence que les jardiniers urbains avaient un IMC plus bas, indépendamment du genre, de l'ethnie et des caractéristiques du milieu (Zick *et al.*, 2013). Malgré ces résultats positifs, la littérature concernant l'effet de l'agriculture urbaine sur l'insécurité alimentaire plus globalement reste fragmentaire (Siegener *et al.*, 2018).

L'agriculture urbaine pourrait également avoir un impact sur la santé physique et mentale des participants. Entre autres, une étude a souligné que les utilisateurs de jardins communautaires rapportaient une nutrition plus saine et une meilleure santé mentale, en plus de considérer les jardins communautaires comme une occasion d'être actif et de socialiser (Wakefield *et al.*, 2007). Les jardins urbains faciliteraient aussi le développement de compétences interpersonnelles et cognitives chez les enfants qui s'impliquent (Allen *et al.*, 2008). Bien entendu, l'agriculture urbaine ne peut satisfaire

tous les besoins nutritionnels, particulièrement en période non estivale et dans les régions nordiques. Il s'agit néanmoins d'une solution d'appoint pour combattre l'insécurité alimentaire, en plus de ses nombreux co-bénéfices.

L'agriculture urbaine peut aussi inclure les poulaillers privés ou collectifs, ou d'autres formes d'élevage non commercial. Cette mesure peut augmenter l'autonomie alimentaire des participants, tout en favorisant le contact avec la nature, mais elle comporte aussi des risques associés aux zoonoses (p. ex., salmonellose, grippe aviaire) par la gestion, la manipulation et la consommation d'animaux ou de leurs produits, en plus des autres nuisances potentielles (p. ex., bruit, odeurs, attraction de prédateurs) (Elkhoraihi *et al.*, 2014; Madsen *et al.*, 2013; Pollock *et al.*, 2012). Les effets de l'élevage non commercial sur l'insécurité alimentaire dans un contexte urbain n'ont pas été répertoriés.

Dans le nord du Québec, pour pallier l'absence de fruits et légumes et éviter les coûts de transport des aliments, les communautés nordiques pourraient se pourvoir de serres aquaponiques. Deux projets de serre ont déjà été testés auprès des communautés inuites de Kuujuaq et d'Iqaluit (Lamalice *et al.*, 2016). Elles ont démontré un potentiel de production de 300 kg de nourriture par an, ce qui est non négligeable en considérant qu'un Canadien consomme en moyenne 0,78 kg de fruits et légumes par semaine, soit environ 41 kg par année. De plus, les participants ont associé la pratique de l'agriculture en serre à la cueillette estivale de petits fruits, en faisant ainsi une activité culturellement acceptable pour ces communautés.

Aménagement du territoire

L'accessibilité territoriale (c.-à-d. distance, temps, coût et aisance pour se rendre) aux approvisionnements alimentaires peut représenter une barrière à une alimentation de qualité et de quantité suffisantes. Les personnes habitant des déserts alimentaires (c.-à-d. absence de commerces offrant des produits frais) ou des marais alimentaires (c.-à-d. surreprésentation de restaurants-minute, de dépanneurs et d'autres commerces offrant principalement de la malbouffe) peuvent alors être incitées à opter pour des aliments malsains ou à manger moins. Cependant, la littérature sur les liens entre l'accessibilité géographique à des aliments sains ou malsains sur la santé reste inconcluante (Cobb *et al.*, 2015; Mackenbach *et al.*, 2014; Robitaille *et al.*, 2019). D'autres facteurs, dont l'accessibilité économique, l'éducation et les habitudes alimentaires, ont probablement plus d'importance pour déterminer l'insécurité alimentaire. Les effets varient aussi en fonction de la population à proximité, de la distance utilisée et du type d'approvisionnement alimentaire, dont les supermarchés, les épiceries, les marchés collectifs ou mobiles et les kiosques.

Même si plusieurs de ces études ont abouti à des résultats non significatifs, plusieurs autres ont indiqué des effets potentiellement positifs sur l'apport nutritionnel et la santé (Cobb *et al.*, 2015; Mackenbach *et al.*, 2014; Robitaille *et al.*, 2019). Par exemple, une étude a révélé que l'implantation d'un supermarché dans un quartier défavorisé à Pittsburgh avait réduit de 11,8 % la prévalence d'insécurité alimentaire dans la population résidente et accru leur revenu en moyenne de 1 550 \$ seulement 1 an après l'intervention (Richardson *et al.*, 2017). L'incidence des diagnostics de cholestérol, d'arthrite et de diabète dans la population avait également diminué au cours de la même période. À Saskatoon, au Canada, l'ouverture d'une coopérative d'alimentation dans un désert alimentaire a poussé les ménages vulnérables à acheter davantage de fruits et légumes, tout en diminuant l'achat de produits transformés et de viande comparativement aux ménages habitant d'autres quartiers, quoique l'effet était mineur (Fuller *et al.*, 2015). L'implantation d'un supermarché ou d'une épicerie demeure ainsi une mesure potentielle pour améliorer l'accès à des aliments plus sains et favoriser la sécurité alimentaire. La localisation de ces approvisionnements alimentaires près de stations de transport collectif et à distance de marche (à 800 m et moins du logement), ou la

Les aléas affectés par les changements climatiques :
effets sur la santé, vulnérabilités et mesures d'adaptation

construction d'infrastructures en favorisant l'accès (p. ex., ponts pour diminuer les distances ou remplacer les voies glacées), renforce la possibilité d'un résultat positif sur la sécurité alimentaire (Robitaille *et al.*, 2019). Le zonage peut aussi être un outil efficace pour rééquilibrer la qualité de l'offre alimentaire sur le territoire, par exemple en diminuant le nombre de restaurants-minute suivant la cessation de leur droit acquis et ainsi créer un environnement favorable aux saines habitudes alimentaires (S. Paquin, 2009).

11 Pollution de l'eau et insalubrité des aliments

La pollution de l'eau inclut les bactéries, les protozoaires, les virus, les métaux lourds et d'autres polluants chimiques (p. ex., nitrates, phosphates) ainsi que toute particule (p. ex., plastique) pouvant affecter la santé humaine par la consommation de l'eau ou le contact avec celle-ci. Pour l'insalubrité des aliments, elle se définit comme toute maladie ou blessure pouvant survenir aux étapes de la consommation, de la production, de la manutention, de la préparation et de l'entreposage de la nourriture (Hanning *et al.*, 2012).

11.1 Les effets des changements climatiques sur la pollution de l'eau et l'insalubrité des aliments

11.1.1 GÉNÉRAL

Les changements climatiques devraient contribuer à la prolifération de bactéries, de champignons, de virus et de protozoaires susceptibles de causer des maladies d'origine alimentaire et hydrique. D'ailleurs, les mêmes agents pathogènes sont généralement responsables de ces maladies (Lake et Barker, 2018; K. M. McIntyre *et al.*, 2017). En Europe, une étude a démontré que 63 % (n = 157) des agents pathogènes infectieux chez les humains et les animaux étaient très sensibles aux variables climatiques et que 61 % (n = 96) de ce nombre se transmettaient par l'eau ou les aliments (K. M. McIntyre *et al.*, 2017). Vraisemblablement, les agents pathogènes dont l'infection requiert de faibles doses (p. ex., virus, *Escherichia coli* [*E. coli*] et bactéries du genre *Shigella*, etc.) et ceux les plus persistants dans l'environnement réagiront le plus vivement aux changements climatiques (Lake *et al.*, 2018; K. M. McIntyre *et al.*, 2017).

De plus, les changements dans la température, les concentrations de CO₂ dans l'air et les régimes hydriques (sécheresses et précipitations abondantes) affectent aussi la croissance des champignons et les concentrations de mycotoxines des récoltes, des animaux d'élevage et de leurs produits (Becker-Algeri *et al.*, 2016; Gruber-Dorninger *et al.*, 2019; Medina *et al.*, 2017). L'effet des changements climatiques sur les mycotoxines reste néanmoins peu étudié dans la littérature scientifique, mais il ressort que celui-ci dépendra du type de cultures et de leur résistance, du niveau d'acclimatation des champignons et du profil climatique de la région (Medina *et al.*, 2017). Les mêmes facteurs associés aux changements climatiques pourraient également affecter l'apport de certains métaux lourds dans les plantes, entre autres en changeant la composition du sol, la résistance des plantes et le processus de photosynthèse (Rajkumar *et al.*, 2013). Les changements climatiques pourront aussi favoriser le lessivage (transport de polluants du haut du sol vers les eaux souterraines) et la libération des métaux des sédiments vers les plans d'eaux, avec comme conséquence potentielle une augmentation des concentrations de métaux lourds dans les populations de poissons et de fruits de mer (Blankholm *et al.*, 2020; M. Chen, Qin, *et al.*, 2016; Q. Wu *et al.*, 2017).

Même si les preuves scientifiques tendent à indiquer un effet amplificateur globalement, il est difficile d'estimer avec certitude si les changements climatiques auront un impact positif ou négatif sur la pollution de l'eau et l'insalubrité alimentaire et, si oui, dans quelle mesure et sur quels agents pathogènes. Les études présentent parfois des résultats contradictoires ou ne sont pas assez nombreuses pour tirer des conclusions solides, principalement dans un contexte québécois (Hellberg et Chu, 2016; Lake *et al.*, 2018; Medina *et al.*, 2017; Rajkumar *et al.*, 2013; Tirado *et al.*, 2010).

11.1.2 CHALEUR

La chaleur favorise généralement la prolifération des bactéries dans les sources d'eau douce (particulièrement les cyanobactéries) et les aliments, bien que certains agents pathogènes, tels que *Campylobacter*, soient plus vulnérables à la chaleur (Bouchard *et al.*, 2017; Chapra *et al.*, 2017; Funari *et al.*, 2012; Herrador *et al.*, 2015; Sterk *et al.*, 2013). Cette prolifération dépendra cependant des milieux. Par exemple, des températures plus chaudes, surtout en hiver, peuvent favoriser la croissance de certains pathogènes, incluant *E. coli* et *Salmonella*, en accroissant la charge de micro-organismes et de nutriments dans les systèmes d'eau potable (G. Germain *et al.*, 2019). En revanche, la survie de ces bactéries pourrait être réduite, mais pas leur croissance, dans les eaux de surface (Hellberg *et al.*, 2016; Ibrahim *et al.*, 2019). L'augmentation des températures et l'allongement de la saison estivale devraient aussi augmenter le nombre de personnes effectuant des activités en eaux récréatives, bien que certains EME (p. ex., pluies extrêmes, inondations, etc.) puissent aussi décourager la pratique de ces activités (Askew et Bowker, 2018; Boyer *et al.*, 2017). Les eaux récréatives incluent non seulement les lacs et les bassins naturels, mais également les piscines et les bains publics extérieurs qui peuvent pareillement être favorables à la prolifération d'agents pathogènes. Il faut ainsi s'attendre à une augmentation des contacts avec de l'eau non traitée dans la population.

De plus, le stress thermique subi par les animaux d'élevage comme les ruminants, la volaille et le porc diminuerait ultimement la durée de conservation de leur viande en favorisant l'oxydation des protéines et des graisses lors de la croissance de l'animal (Gonzalez-Rivas *et al.*, 2020). Des températures plus clémentes pourraient aussi encourager les activités de barbecue qui peuvent être propices à la transmission de certaines bactéries (voir section 11.2.2 **Maladies d'origine alimentaire**) (Doorduyn *et al.*, 2010; G. Germain *et al.*, 2019; MacDonald *et al.*, 2015). De plus, l'augmentation des activités agricoles et de l'absorption de l'énergie lumineuse des UV occasionnées par l'allongement de la période estivale et de la perte du couvert de neige pourrait amplifier le problème des cyanobactéries (Chapra *et al.*, 2017). L'allongement de la période de récoltes pourrait aussi accroître l'épandage de pesticides et la contamination des eaux et des aliments par ces derniers (P. Gagnon *et al.*, 2016).

11.1.3 PRÉCIPITATIONS

L'intensité et la fréquence des jours de précipitations extrêmes se sont accrues depuis 1948, une tendance qui devrait perdurer, que ce soit pour le scénario RCP4.5 ou le scénario RCP8.5 (voir section 5.1.2 **Précipitations**). Ces précipitations favorisent le lessivage des sols et le ruissellement, et dispersent ainsi de multiples polluants des milieux anthropiques et naturels vers les couches inférieures du sol et les endroits en surface propices à la concentration des eaux (p. ex., caniveaux, fossés). Elles mobilisent ainsi des charges bactériennes importantes dans les eaux de surface et peuvent contaminer les eaux souterraines au passage (Cann *et al.*, 2013). Par exemple, la pluie peut causer des débordements des structures d'entreposage du fumier et du lisier lorsqu'elles ne sont pas couvertes et répandre des déjections d'animaux contenant des agents pathogènes et des gènes résistants aux antibiotiques (Febriani *et al.*, 2010; Godbout *et al.*, 2013; Sterk *et al.*, 2016; Wichmann *et al.*, 2014). D'un autre côté, une augmentation des précipitations pluviales et extrêmes peut à la fois concentrer, disperser ou diluer les concentrations de bactéries, de virus, de métaux lourds et de pesticides dans l'eau ou dans les produits agricoles, dépendamment d'autres facteurs tels que les particularités lithographiques et hydrographiques du territoire (Sterk *et al.*, 2013, 2016; Q. Wu *et al.*, 2017). Pour les pesticides, le transport par les eaux de pluie se produit principalement à la suite d'une application récente de pesticides sur les productions agricoles (P. Gagnon *et al.*, 2016). En comparaison avec les bactéries, la contamination par les pesticides peut durer plusieurs mois.

Environ la moitié des agents pathogènes affectant de façon notable la santé humaine ou animale sont sensibles aux précipitations ou à l'humidité (K. M. McIntyre *et al.*, 2017). Toutefois, les effets des précipitations sur certaines bactéries ou parasites communs tels que *Campylobacter*, *Cryptosporidium*, *Giardia* et *Legionella* sont mitigés, à part dans les cas de précipitations extrêmes (Sakamoto, 2015; Young *et al.*, 2015). Ces dernières accroissent généralement la survie des agents pathogènes, mais elles diminuent aussi leur inactivation par les UV en accroissant la turbidité des eaux (G. Germain *et al.*, 2019; Williamson *et al.*, 2017). Finalement, les tempêtes peuvent également être source d'infections par la confluence des blessures causées par les rafales et des contaminants pluviaux emportés par le vent (Goldman *et al.*, 2014). Les précipitations extrêmes et les vents forts favorisent aussi la formation d'aérosols infectés par certains agents pathogènes présents dans l'eau, dont *Legionella* (Cassell *et al.*, 2018).

11.1.4 INONDATIONS

Les inondations favorisent un contact direct avec l'eau, la contamination des sources d'eau potable ainsi que la reproduction d'agents pathogènes (L. Brown *et al.*, 2013; Cann *et al.*, 2013; Funari *et al.*, 2012; Levy *et al.*, 2016; McMichael, 2015). Elles peuvent aussi diffuser les agents pathogènes vers les récoltes des milieux agricoles. Toutefois, les effets des changements climatiques sur la saisonnalité des inondations (du printemps vers l'été et l'automne) et leur localisation (des grands bassins versants vers les petits ou les moyens) ne permettent pas d'affirmer si les inondations auront un impact positif ou négatif sur la pollution de l'eau (voir section 6.1.1 **Inondations**). Les épisodes de refoulements d'égouts en milieu urbain favorisent aussi la propagation dans l'eau d'agents infectieux et d'autres contaminants toxiques nuisibles à la santé humaine. Pour le fleuve Saint-Laurent, il est prévu que l'augmentation des refoulements d'égouts en amont, soit depuis la région métropolitaine de Montréal, augmentera les concentrations d'*E. coli* jusqu'à 87 % d'ici 2070 dans les sources d'eau potable situées en aval, comme pour la région métropolitaine de Québec (Jalliffier-Verne *et al.*, 2017).

11.1.5 SÉCHERESSES ET INCENDIES DE FORÊT

Les sécheresses peuvent augmenter les concentrations d'agents pathogènes dans l'eau en diminuant les volumes d'eau, et faciliter le transport des matières organiques vers les eaux souterraines lors d'épisodes de pluie subséquents en diminuant la capacité de filtration du sol et le niveau des aquifères (Cann *et al.*, 2013; Funari *et al.*, 2012). D'un autre côté, les sécheresses peuvent diminuer la dilution des polluants et leur transport, tout en favorisant l'inactivation de certains agents pathogènes (Sterk *et al.*, 2013, 2016). Elles peuvent aussi affecter la qualité de l'eau d'irrigation et contaminer les produits agricoles irrigués. Les effets des sécheresses sur ces aspects seraient seulement observés dans les milieux caractérisés par des problèmes de distribution d'eau potable ou au bord d'un déficit hydrique, même en temps normal (Vicente-Serrano *et al.*, 2020). L'effet des changements climatiques sur les sécheresses au Québec étant incertain (voir section 10.1.1 **Sécheresses**), l'effet de ces dernières sur la pollution de l'eau et l'insalubrité alimentaire l'est également. En revanche, certaines régions, comme la communauté métropolitaine de Québec, pourraient subir davantage d'étiages d'eau, avec des conséquences potentielles sur l'approvisionnement en eau et son traitement (Da Silva *et al.*, 2020).

Les incendies de forêt et leur fumée peuvent aussi augmenter l'apport de matières organiques, de sédiments et de métaux lourds dans l'eau et les cultures, tels que l'azote, le phosphore, l'arsenic, le mercure et le manganèse (S. J. Khan *et al.*, 2015; Smith *et al.*, 2011). Les incendies de forêt suivis de précipitations abondantes sont particulièrement propices à la détérioration de la qualité de l'eau. De plus, les incendies de forêt peuvent fragiliser les milieux côtiers, les vulnérabilisant à l'érosion et aux inondations, ce qui peut également se répercuter sur la qualité de l'eau. Même si l'amplification du phénomène d'incendies de forêt sera surtout perceptible dans les latitudes nordiques, la fumée pourra avoir un effet dans les régions en aval.

11.2 Les effets de la pollution de l'eau et de l'insalubrité alimentaire sur la santé

Cette section présente aussi les effets du climat sur les problèmes de santé découlant de la pollution de l'eau et de l'insalubrité alimentaire. La section précédente se concentrait plutôt sur les effets du climat sur les sources de pollution de l'eau et d'insalubrité alimentaire, soit les virus, les bactéries, les protozoaires, les contaminants chimiques et d'autres particules potentiellement nuisibles à l'humain.

11.2.1 MALADIES D'ORIGINE HYDRIQUE

De 2005 à 2016, un total de 171 éclosions d'origine hydrique a eu lieu au Québec. Celles-ci ont affecté 1 438 personnes pour une moyenne de 8,4 personnes par éclosion et 119,8 personnes par année (Dubé *et al.*, 2018). De ces 171 éclosions, 75 (43,9 %) ont été causées par l'eau de consommation et 64 (37,4 %) se sont produites en eaux récréatives. Depuis 2005, la fréquence des éclosions hydriques est à la baisse, même si la tendance pour le nombre de personnes affectées est moins décisive. Les régions de l'Estrie (28), de Lanaudière (21) et de la Montérégie (21) affichent les nombres d'éclosions les plus élevés pour la période. La bactérie *Giardia*, retrouvée dans les selles humaines ou animales, est l'élément infectieux le plus souvent soupçonné d'être à l'origine des éclosions d'origine hydrique survenues de 2005 à 2016. Bien qu'ils ne soient pas fatals, les symptômes de gastro-entérites provoqués par les agents pathogènes dans l'eau peuvent durer jusqu'à 1 mois et amener des conditions médicales plus graves, telles que la septicémie et la méningite (Hellberg *et al.*, 2016). Une étude réalisée au Québec donne un aperçu de la temporalité de ces symptômes (Febriani *et al.*, 2010). Les auteurs de cette étude ont estimé que leur prévalence était plus élevée en hiver et au printemps, alors que la fonte des neiges libère des charges bactériennes qui se sont accumulées au cours de l'hiver.

Plusieurs conditions météorologiques ont été associées aux maladies d'origine hydrique. En particulier, le réchauffement des températures accroît leur incidence dans la population en favorisant la prolifération des bactéries dans les sources d'eau douce (Chapra *et al.*, 2017; Funari *et al.*, 2012; Herrador *et al.*, 2015; Sterk *et al.*, 2013). Par exemple, la chaleur et l'humidité ont été associées aux cas de légionellose (Bouchard *et al.*, 2017; Cassell *et al.*, 2018). En Colombie-Britannique, des auteurs ont estimé que chaque hausse de 1 °C avait augmenté de 10 % (RR, IC 95 % : 1,02 – 1,21) le risque que se développent des cas de campylobactériose, de salmonellose et d'infections à *E. coli* de 2000 à 2013 à l'échelle des régions bioclimatiques (Brubacher *et al.*, 2020). En employant le scénario A2, ils ont prévu que ces cas s'accroîtront d'ici 2080 de 27 à 30 % pour la campylobactériose, de 18 à 20 % pour la salmonellose et de 31 à 34 % pour les infections à *E. coli*. Cependant, ils n'ont détecté aucun effet de la température sur les cas de giardiose et de cryptosporidiose, qui sont causés par des protozoaires plutôt que des bactéries.

L'augmentation des températures accroît également la demande pour les activités en eaux récréatives (Askew *et al.*, 2018; Boyer *et al.*, 2017; Lévesque *et al.*, 2014). Les usagers de ces eaux présentent un risque plus élevé de manifester des symptômes cutanés et de contracter des infections gastro-intestinales telles que la campylobactériose et la cryptosporidiose puisqu'ils peuvent ingérer de l'eau contaminée (Bouchard *et al.*, 2017; Lévesque *et al.*, 2014). Les eaux récréatives sont aussi propices à la contraction de différents types de virus, principalement les norovirus, les adénovirus et les échovirus. Selon une étude incluant les données de plusieurs pays industrialisés, une forte proportion des maladies d'origine hydrique ont été contractées dans des piscines (49 %), suivies par les lacs et les bassins (40 %) (Sinclair *et al.*, 2009).

Les précipitations augmentent également le risque de propagation de maladies d'origine hydrique, particulièrement les maladies gastro-intestinales (Ghazani *et al.*, 2018; Levy *et al.*, 2016). À Vancouver, les jours dépassant le 90^e percentile de précipitations accroissaient le nombre de cas de *Cryptosporidium* et de *Giardia* jusqu'à 6 semaines après l'événement (Chhetri *et al.*, 2017). Toujours à Vancouver, les auteurs d'une étude ont estimé que le nombre de cas de *Cryptosporidium* et de *Giardia* augmenterait en moyenne de 16 % d'ici 2080, ou de 55 et de 136 cas supplémentaires par année, dépendamment du scénario climatique utilisé, à cause de l'intensification des précipitations durant les mois humides (d'octobre à mars) (Chhetri *et al.*, 2019). Les cas de légionellose sont aussi positivement associés au volume de précipitations. La légionellose se transmet principalement par les voies respiratoires, les précipitations accroissant la formation de particules aérosols infectées par la bactérie. Au Connecticut, chaque augmentation de 5 mm de pluie a élevé le risque de légionellose de 48 %, soit une plus haute incidence que celles observées pour les changements dans la température ou l'humidité (Cassell *et al.*, 2018). Néanmoins, les précipitations pourraient ne pas affecter ou diminuer les cas de campylobactériose, selon un rapport réalisé dans 3 régions sociosanitaires du Québec (Montréal, Mauricie-et-Centre-du-Québec et Capitale-Nationale) (Lawson, 2019). Pour les inondations, elles ont aussi été associées à une incidence accrue de maladies d'origine hydrique puisqu'elles favorisent un contact direct avec l'eau, la contamination des sources d'eau potable ainsi que la reproduction d'agents pathogènes (L. Brown *et al.*, 2013; Cann *et al.*, 2013; Funari *et al.*, 2012; Levy *et al.*, 2016; McMichael, 2015).

Au Québec, des précipitations automnales abondantes ont été associées à un risque plus important de présenter des symptômes gastro-intestinaux jusqu'à 3 semaines après l'événement, une relation dans le même sens étant observable jusqu'à 4 semaines pour les périodes estivales de sécheresse (Febriani *et al.*, 2010). Dans certaines municipalités rurales du Québec, le risque de contracter des maladies gastro-intestinales était au moins 2 fois plus élevé dans les 4 semaines suivant des épisodes de très faibles précipitations (Febriani *et al.*, 2010). Dans le grand Vancouver, le nombre de cas de *Cryptosporidium* et de *Giardia* augmentait de façon significative jusqu'à 6 semaines après l'événement lorsqu'un jour de pluies abondantes suivait un épisode de sécheresse intense (Chhetri *et al.*, 2017). Toutefois, les études sur les effets des sécheresses (creux de précipitations prolongés) sur les maladies d'origine hydrique restent encore fragmentaires (Cann *et al.*, 2013; Funari *et al.*, 2012; Levy *et al.*, 2016).

11.2.2 MALADIES D'ORIGINE ALIMENTAIRE

Au Québec et au Canada, la salmonellose, la campylobactériose et les infections à *E. coli* sont les principales maladies d'origine alimentaire (Agence canadienne d'inspection des aliments [ACIA], 2019b; MAPAQ, s. d.). Le taux de mortalité pour ces maladies est généralement en deçà de 1 %, bien qu'il soit plus important chez les personnes avec une santé fragile (p. ex., personnes âgées de 65 ans et plus ou immunodéficientes) ou pour certaines infections telles que la listériose, où il peut s'élever au-delà de 15 % (Behravesh *et al.*, 2011; Scobie *et al.*, 2019). Ces bactéries se transmettent

la plupart du temps par voie alimentaire, même si elles peuvent être transmises d'autres façons (p. ex., par l'eau, le toucher) (Murphy *et al.*, 2016). Les denrées alimentaires consommées crues, majoritairement les fruits et les légumes, représentent davantage un risque de transmission de maladies microbiologiques d'origine alimentaire que les aliments généralement consommés cuits, la cuisson pouvant détruire les agents pathogènes (CDC, 2008; Uyttendaele *et al.*, 2015). Une étude réalisée en Alberta et à Terre-Neuve-et-Labrador a démontré que chaque augmentation de 1 °C de la température hebdomadaire menait respectivement à une hausse de 1,2 %, de 2,2 % et de 6 % du nombre hebdomadaire de cas, principalement d'origine alimentaire, de salmonellose, de campylobactériose et d'infections à *E. coli* (Fleury *et al.*, 2006). À Terre-Neuve-et-Labrador, où l'effet a été estimé seulement pour la campylobactériose, cette hausse était de 4,5 %. Causant principalement des symptômes gastro-intestinaux allant de légers à graves, les agents pathogènes alimentaires peuvent aussi occasionner, dans de rares cas, des conséquences plus graves telles que la septicémie, la méningite ou le syndrome de Guillain-Barré (Hellberg *et al.*, 2016).

Le réchauffement des températures marines pourrait également contribuer à la prolifération dans le fleuve Saint-Laurent de bactéries telles que *Vibrio vulnificus* et *Vibrio parahaemolyticus*, qui constituent des zoonoses associées à la consommation de produits de la mer. D'ici 2100, de 72 % à 98 % de la surface totale de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent présenteront un risque élevé d'infection à *Vibrio* (André St-Hilaire, 2019). Le risque d'infection pourrait également s'étendre de juin à septembre ou octobre selon les endroits de culture. En plus de pouvoir causer la septicémie et des lésions permanentes aux extrémités, ces bactéries provoquent le décès de l'individu infecté dans environ 50 % des cas (M. K. Jones et Oliver, 2009). L'accumulation de cyanobactéries (algues bleues) dans les eaux peut aussi contaminer les produits de la mer et causer des intoxications alimentaires (Tirado *et al.*, 2010).

Le réchauffement des températures pourrait également causer une augmentation de l'incidence des maladies d'origine alimentaire en favorisant la croissance bactérienne et la formation de toxines dans les lieux d'entreposage de la nourriture (Bruce *et al.*, 2016; Hedlund *et al.*, 2014). Les populations inuites, qui utilisent des méthodes de conservation naturelles et consomment leurs viandes crues ou fermentées, sont principalement à risque (voir section 10.3.2 **Insécurité alimentaire**). Les pannes électriques causées par certains aléas météorologiques extrêmes, comme les tempêtes, peuvent également interrompre la réfrigération des aliments, en diminuer la comestibilité et ainsi accroître les maladies d'origine alimentaire (Goldman *et al.*, 2014). La majorité des mycotoxines retrouvées dans les produits de consommation, dont le développement est affecté par les changements climatiques (voir section 11.1.1 **Général**), cause également plusieurs effets dommageables pour la santé humaine (Edite Bezerra da Rocha *et al.*, 2014). Par exemple, les aflatoxines contribuent au développement de cancers du foie, de problèmes de croissance chez l'enfant et d'intoxications graves, alors que les fumonisines ont été associées au cancer de l'œsophage et aux malformations du tube neural (Edite Bezerra da Rocha *et al.*, 2014; F. Wu *et al.*, 2014). Cependant, les mycotoxines ne semblent pas représenter un problème de santé publique au Canada pour le moment, bien que la situation pourrait changer avec les changements climatiques (ACIA, 2019a; Yan Liu et Wu, 2010). De plus, l'augmentation des concentrations de CO₂ pourrait favoriser la croissance des composantes allergènes de certains aliments, tels que les arachides (Katelaris *et al.*, 2018; Ziska *et al.*, 2016). En raison des allergies croisées, l'exacerbation de la problématique des aéroallergènes découlant des changements climatiques pourrait contribuer au développement d'allergies alimentaires chez certaines personnes (voir section 8.2.1 **Allergies**).

L'augmentation potentielle des ravageurs pour les cultures et les animaux d'élevage pourrait augmenter les quantités, les doses, la fréquence d'emploi ainsi que la diversité des pesticides et des antibiotiques utilisés (Delcour *et al.*, 2015). Cette situation pourrait accroître le nombre de cas de cancer associés à la consommation de pesticides et à une résistance accrue aux antibiotiques (B. M. Marshall et Levy, 2011; Valcke *et al.*, 2019).

Finalement, le réchauffement des températures pourrait encourager la préparation de repas au barbecue. Les utilisateurs de barbecues tendent à sous-cuire leur nourriture et à contaminer les aliments de façon croisée, des comportements propices à la transmission de bactéries telles que *Campylobacter* (Doorduyn *et al.*, 2010; G. Germain *et al.*, 2019; MacDonald *et al.*, 2015). Les brosses à barbecue peuvent aussi représenter un danger, puisque les pointes de métal peuvent être ingérées lorsqu'elles tombent sur le barbecue et se collent éventuellement à la nourriture, et causer des lésions du système digestif (Santé Canada, 2019b).

11.3 Les populations à risque par rapport à la pollution de l'eau et à l'insalubrité des aliments

11.3.1 GÉNÉRAL

Les enfants, les personnes âgées, les femmes enceintes et les personnes immunodéprimées sont plus enclins à développer des maladies d'origine hydrique ou alimentaire ou d'en subir des conséquences graves (Cann *et al.*, 2013; Funari *et al.*, 2012). Ces personnes seraient plus susceptibles de conserver des séquelles, d'être hospitalisées pour ces raisons et même, rarement, d'en décéder (Bouchard *et al.*, 2017). Par exemple, les auteurs d'une étude menée aux États-Unis ont estimé que le risque de listériose invasive était 115 fois plus élevé pour les femmes enceintes que chez les femmes en âge de se reproduire (15 à 44 ans) de 2004 à 2009 (Pouillot *et al.*, 2012). Or, ces infections accroissent la probabilité d'accouchement prématuré, d'avortement spontané et de maladies à la naissance telles la méningite et la septicémie, bien qu'elles restent rares, même chez les femmes enceintes (Imanishi *et al.*, 2015; Lamont *et al.*, 2011; Mateus *et al.*, 2013). Les femmes atteintes de toxoplasmose peuvent aussi la transmettre à l'enfant en gestation, le nouveau-né pouvant alors développer à plus long terme de l'anémie, un gonflement des ganglions, une jaunisse et, parfois, des dommages oculaires ou cérébraux (Chaudhry *et al.*, 2014; Douglas, 2017; Pappas *et al.*, 2009). Les personnes immunodéficientes développent également des complications plus sévères lorsqu'elles contractent une maladie d'origine hydrique ou alimentaire et ont moins de chances d'être asymptomatiques (Lund et O'Brien, 2011; Oksenhendler *et al.*, 2008).

Pour l'âge, une autre étude réalisée aux États-Unis à l'aide d'un échantillon de 21 405 infections a démontré que les taux d'hospitalisations et de mortalité pour les maladies d'origine alimentaire s'accroissaient avec l'âge, ces taux s'établissant respectivement à 49,3 % et à 2,6 % chez les personnes âgées (Scallan *et al.*, 2015). Chez les enfants, elles pourraient entraîner des problèmes de croissance ou des retards cognitifs. Les personnes plus âgées, les hommes, les fumeurs de même que les personnes souffrant déjà de problèmes respiratoires sont plus susceptibles de développer la légionellose et d'autres maladies d'origine hydrique lors d'épisodes de pluies abondantes, avec le plus souvent un délai de quelques semaines (Cassell *et al.*, 2018; Hicks *et al.*, 2007; Sakamoto, 2015). Les personnes racisées semblent aussi être davantage affectées, probablement en raison de leur statut généralement plus défavorisé (L. H. Cheng *et al.*, 2013; Pouillot *et al.*, 2012). Les baigneurs s'exposent également davantage à des maladies d'origine hydrique, que ce soit dans les plans d'eau naturels ou artificiels.

Les voyageurs visitant des pays avec une présence importante de maladies d'origine hydrique ou alimentaire, particulièrement les pays tropicaux, pourraient ramener ces maladies avec eux et ainsi augmenter le risque de les contracter, d'autant plus qu'elles deviendront potentiellement plus prévalentes dans ces pays avec les changements climatiques (Bouchard *et al.*, 2017).

De plus, la chasse et la pêche étant traditionnellement des activités masculines dans les communautés autochtones nordiques, les hommes ont plus de chance de subir des blessures en lien avec ces activités. Dans une communauté inuite du Nunatsiavut, il a été estimé que les hommes ont 6 fois plus de chance d'être sujets d'une opération de secours lors d'activités traditionnelles comme la chasse qu'une femme, alors que les Inuits âgés de 26 à 35 ans sont les plus souvent secourus (Durkalec *et al.*, 2014).

11.3.2 RURALITÉ

Au Canada, les résidents des petites municipalités et des milieux ruraux ou éloignés risquent plus de contracter des maladies d'origine hydrique, ces dernières affectant majoritairement les municipalités de 5 000 habitants ou moins lors d'épisodes de fortes précipitations (Febriani *et al.*, 2010; Moffatt et Struck, 2011). En 2011, des auteurs ont estimé que plus de 103 230 maladies d'origine hydrique causées par 5 agents pathogènes (*Giardia*, *Cryptosporidium*, *Campylobacter*, *E. coli* et les norovirus) seraient attribuables aux puits privés et aux systèmes d'approvisionnement en eau de petites communautés à travers le Canada (Murphy *et al.*, 2016). Ayant peu de moyens d'investir suffisamment dans des mesures de traitement et de protection des eaux de consommation, ces municipalités recourent alors aux eaux souterraines, dont les règles s'avèrent plus souples. Au Canada, 1 personne sur 8 serait approvisionnée par des sources d'eaux souterraines situées en milieu rural (Charrois, 2010). Au Québec, 90 % du territoire habité tire son eau de sources souterraines, alors qu'elles n'alimentent que 20 % de la population (MELCC, s. d.-d). Quant aux puits individuels, ils représentent le type d'approvisionnement le plus souvent associé à une éclosion de maladies infectieuses au Québec (Dubé *et al.*, 2018). En effet, les personnes s'approvisionnant d'un puits privé affichent un risque jusqu'à 35 fois plus élevé que celles utilisant un service public d'aqueduc (Charrois, 2010). De plus, les municipalités pourvues d'égouts de type unitaire, c'est-à-dire des égouts acheminant à la fois les eaux usées et les eaux pluviales à une station d'assainissement, s'exposent davantage aux débordements d'eaux usées et aux refoulements d'égouts (Fortier, 2013).

La proximité d'un individu à un cours d'eau ou à des activités agricoles peut accroître son exposition aux maladies d'origine hydrique. Par exemple, une étude menée au Connecticut a démontré que les personnes habitant à moins de 1,6 km d'un cours d'eau, particulièrement ceux à haut débit, risquaient davantage de développer la légionellose après des précipitations extrêmes (Cassell *et al.*, 2018). Au Québec, un sondage mené auprès de 7 006 résidents a montré que les personnes habitant près de fermes déclaraient des symptômes gastro-intestinaux dans une plus grande proportion (Febriani *et al.*, 2010). En Alberta et en Ontario, de fortes densités d'animaux d'élevage sur le territoire de même que la faible densité de population correspondaient à des niveaux plus élevés de cas déclarés d'infections à *E. coli* (Pearl *et al.*, 2009). En revanche, une étude menée en Colombie-Britannique a conclu que les taux de giardiase, de campylobactériose et de salmonellose étaient plus élevés en milieu urbain (> 400 habitants/km²) qu'en milieu rural, et dans les bassins versants non agricoles que dans les bassins versants agricoles (Brubacher *et al.*, 2020).

L'allongement de la saison des récoltes et l'augmentation potentielle des dommages associés aux ravageurs pourraient pousser les travailleurs agricoles à utiliser des quantités plus importantes de pesticides, et ainsi à s'y exposer davantage (Gatto *et al.*, 2016). La chaleur pourrait aussi accroître l'absorption des pesticides par les travailleurs agricoles en les incitant à enlever leur équipement protecteur. À l'inverse, le port d'équipement les rendrait plus sujets à l'épuisement et à d'autres effets plus graves reliés à la chaleur (Garrigou *et al.*, 2020; Gatto *et al.*, 2016).

Autochtonie

Les populations autochtones se révèlent aussi vulnérables aux maladies d'origine hydrique. D'ailleurs, la majorité des infrastructures de gestion de l'eau des communautés est considérée comme étant à risque modéré ou élevé d'infection (Neegan Burnside Ltd., 2011). Une étude réalisée en Alberta a indiqué que le pourcentage de personnes d'origine autochtone dans la population était associé à une augmentation du nombre de cas d'infections à *E. coli*, une situation qui pourrait être partiellement expliquée par les manquements dans les infrastructures d'approvisionnement en eau (Pearl *et al.*, 2009). En plus de cette problématique, la proximité avec la nature, les activités traditionnelles, la pauvreté, la faible accessibilité aux services et aux soins ainsi que les mesures de salubrité parfois lacunaires contribueraient à une exposition accrue aux zoonoses. En 2007, près de la moitié de la population d'Eastmain et de Wemindji dans la Baie-James était séropositive à au moins une zoonose (Campagna *et al.*, 2011). Dans cette population, les hommes, les chasseurs et les propriétaires de chien affichaient un risque plus élevé de contracter une zoonose.

De surcroît, les populations autochtones nordiques, principalement les Inuits, entreposent les poissons et les animaux à l'air libre ou dans le sol. Des températures plus chaudes peuvent en conséquence mener à des pertes alimentaires importantes ou à la contamination de la nourriture. La consommation de viande crue, particulièrement la consommation d'animaux marins typiques dans plusieurs communautés autochtones nordiques, s'ajoute à ce risque. Les collectivités nordiques s'exposent ainsi à des maladies telles que la toxoplasmose, la shigellose, la trichinose, la salmonellose, la listériose ou la giardiase, plusieurs de ces maladies étant principalement prévalentes dans le nord du Québec (Douglas, 2017; Hutter *et al.*, 2020; D. Martin *et al.*, 2007), alors que les services de surveillance et de traitements médicaux et vétérinaires y sont limités, voire inexistantes (Dudley *et al.*, 2015). Une étude menée auprès de 917 Inuits du Nunavik a démontré que la séroprévalence aux agents pathogènes zoonotiques, notamment *Toxocara canis* (3,9 %), *Echinococcus granulosus* (8,3 %), *Leptospira spp.* (5,9 %) et *Francisella tularensis* (18,9 %), était beaucoup plus élevée chez cette population autochtone que dans la population en général (Messier *et al.*, 2012). Dans cette dernière étude, un âge plus avancé a été associé à la séropositivité pour tous les agents pathogènes étudiés. La séroprévalence à la toxoplasmose s'élevait à 60 % en 2004 chez les Inuits du Nunavik, tandis qu'elle était estimée à 20 % dans l'ensemble de la population nord-américaine (Jenkins *et al.*, 2013). Elle demeure moins élevée chez les Cris résidant sur le même territoire que les Inuits, indiquant que la consommation de viandes crues et une préférence pour la faune marine représentent probablement la cause de cette disparité. La prévalence du botulisme d'origine animale est également 1 600 fois plus élevée au Nunavik que pour le reste du Canada, les chasseurs de phoques étant le plus à risque (Bouchard *et al.*, 2017). Globalement, ces maladies causent principalement des symptômes gastro-intestinaux, oculaires ou grippaux (p. ex., fatigue, douleurs musculaires, fièvre) et peuvent affaiblir les personnes infectées sur de longues périodes. C'est d'ailleurs dans les communautés inuites où la prévalence et l'incidence de maladies gastro-intestinales sont les plus élevées (C. J. Wright *et al.*, 2017).

11.4 Les mesures d'adaptation à la pollution de l'eau et à l'insalubrité des aliments

11.4.1 LES MESURES POPULATIONNELLES ET INSTITUTIONNELLES D'ADAPTATION À LA POLLUTION DE L'EAU ET À L'INSALUBRITÉ DES ALIMENTS

Sensibilisation et échantillonnage de l'eau

Même si la majorité des échantillons d'eau de puits individuels au Québec affichent des concentrations en dessous des normes, des tests réguliers des puits individuels constituent une étape nécessaire pour limiter la contraction de maladies d'origine hydrique puisqu'ils présentent un danger considérable de contamination (Bolduc et Robert, 2016). Malgré cela, 75 % des ménages canadiens s'approvisionnant d'un système non municipal n'avaient pas testé leur eau en laboratoire dans les 12 derniers mois en 2017, alors qu'il est recommandé de le faire au moins 2 fois par année au Québec (Statistique Canada, 2017). Quelques sondages ont démontré que le manque de temps, les coûts de traitement, la diversité et la fiabilité des options ainsi que la perception et l'intangibilité du risque seraient les barrières dominantes à la réalisation de l'échantillonnage de l'eau (Hexemer *et al.*, 2008; A. Q. Jones *et al.*, 2005; M. P. Paul *et al.*, 2015). Le retrait de ces barrières constitue ainsi une avenue pour augmenter le taux de respect des normes. À Waterloo, en Ontario, l'envoi (et le retour) sans frais de trousse d'échantillonnage aux ménages concernés a doublé le taux d'échantillonnage des puits (de 25 à 50 % environ). L'implication de la communauté locale pourrait également contribuer au respect des normes de qualité de l'eau. Une intervention mise en place à Tuftonboro au New Hampshire par des volontaires locaux d'une commission de conservation, assistés par un programme de recherche et des acteurs gouvernementaux, en est un bon exemple (M. P. Paul *et al.*, 2015). En plus de s'occuper du transport des tests d'échantillon, les volontaires ont mis en place une campagne de sensibilisation dans les médias locaux précédant les moments d'échantillonnage, tout en offrant des séances d'information publiques périodiques pendant 2 ans, avec l'aval des autorités municipales locales. À la suite de cette intervention, plus de tests ont été conduits en laboratoire dans la région en 1 seul jour que dans les 6 années précédentes.

Surveillance et alertes

La surveillance des maladies d'origine alimentaire et hydrique devrait se poursuivre en se concentrant sur les agents pathogènes davantage affectés par le climat ou sur les EME. Entre autres, une surveillance accrue des maladies infectieuses permet de mieux organiser la réponse des organisations de santé publique et de ses partenaires pendant et après les inondations (Burton *et al.*, 2016; McMichael, 2015). L'Observatoire multipartite québécois des zoonoses et de l'adaptation aux changements climatiques a d'ailleurs priorisé 9 zoonoses, dont 4 types d'agents pathogènes pouvant se transmettre par l'eau ou les aliments (le botulisme d'origine alimentaire, les infections à *E. coli* producteur de vérocytotoxine, la listériose et la salmonellose) en tenant compte de leurs conséquences potentielles et de la contribution des changements climatiques sur leur prolifération (A. Simon *et al.*, 2018). De nouvelles méthodes de surveillance, comme les méthodes syndromiques ou fondées sur les génotypes, pourraient accélérer la détection des résultats et accroître leur fidélité (Lake *et al.*, 2018). Une plus grande intégration des systèmes de surveillance hydrique, entomologique, animale, humaine, phytologique et alimentaire pourrait aussi permettre de faire davantage de liens entre ces différents systèmes, selon une approche « Une seule santé »²³. Une structure de coordination incluant les acteurs pertinents, dont les petits et les grands joueurs de l'industrie agricole, du milieu municipal, du milieu universitaire et de la santé publique, semble essentielle pour arriver à cette fin (Campbell *et al.*, 2016). L'implantation de modèles prédictifs des

²³ L'approche « Une seule santé » met l'accent sur l'action transdisciplinaire et multisectorielle pour assurer le bien-être des humains et des animaux et la santé de leurs écosystèmes en tenant compte des interfaces entre les trois.

maladies d'origine hydrique et alimentaire en fonction de variables climatiques aiderait aussi grandement à mettre des mesures en place pour les prévenir (Tirado *et al.*, 2010). La fenêtre de vigie des éclosions pourrait également être élargie à quelques semaines suivant les précipitations abondantes plutôt que quelques jours, afin de correspondre à la période d'incubation de certaines maladies infectieuses (de 2 à 19 jours pour la légionellose) (Febriani *et al.*, 2010).

Pour la protection des sources d'eaux souterraines, le [Réseau de suivi des eaux souterraines du Québec](#) compte plus de 250 stations de mesure réparties dans toutes les régions du Québec et qui permettent d'évaluer la qualité des eaux souterraines et les effets des changements climatiques sur celles-ci. Une [carte interactive](#) avec les différentes données colligées par ces stations, dont les analyses chimiques, est disponible en ligne. L'établissement de valeurs guides et de normes de qualité est également offert aux organisations régionales de santé (INSPQ, 2018a).

Concernant les alertes, des chercheurs ont conclu que la majorité des avis d'ébullition émis par 14 municipalités québécoises n'incluait pas d'indications particulières pour les personnes les plus à risque ou de directives quant à la prise de douche ou de bain, à la fabrication de glaçons, au lavage des fruits et légumes et au brossage des dents (Tairou *et al.*, 2011). Un avis plus exhaustif pourrait inciter l'adoption des comportements propices à la réduction du risque d'infection par l'eau. À ce titre, les mêmes chercheurs ont également estimé que seulement 35 % des 275 personnes sondées avaient suivi l'ensemble des recommandations pour l'usage de l'eau lors d'un avis d'ébullition (Tairou *et al.*, 2011). L'émission de l'avis par l'intermédiaire du site Web de la municipalité, d'un porte-voix, d'un système téléphonique automatisé ou d'un panneau d'affichage public semblait inciter davantage l'adoption de comportements préventifs en comparaison avec les médias traditionnels tels que la radio et les journaux.

Pour les eaux récréatives, le MELCC a mis sur pied le programme [Environnement-plage](#), qui offre un soutien technique aux exploitants de plages afin d'évaluer la qualité de l'eau. Les alertes et la disponibilité des informations sur la qualité des eaux récréatives pourraient limiter leur utilisation. Une étude menée dans les Grands Lacs a déterminé que plus une personne s'informait des conditions de l'eau, plus elle était encline à adopter des comportements préventifs, tels que repousser son activité nautique ou changer d'endroit (M. D. Ferguson *et al.*, 2018). Comme l'a démontré une étude réalisée dans 3 régions québécoises affectées par les cyanobactéries, les personnes ne suivent pas toujours les alertes de santé publique, parce qu'elles peuvent considérer les conséquences comme étant bénignes, absentes ou incertaines (Brisson *et al.*, 2017). L'abus d'alertes, l'exagération perçue de la menace ou des incohérences apparentes dans les critères d'émission des alertes peuvent aussi nourrir une méfiance envers les autorités publiques et leurs avis.

11.4.2 LES MESURES PHYSIQUES D'ADAPTATION À LA POLLUTION DE L'EAU ET À L'INSALUBRITÉ ALIMENTAIRE

Gestion de l'eau

Les usines de traitement des eaux sont bien entendu une barrière importante à la prolifération de maladies d'origine hydrique. L'absence de traitement de l'eau ou une défaillance dans le système de traitement sont les principales causes d'éclosions de maladies d'origine hydrique au Canada et aux États-Unis (Pons *et al.*, 2015). La constance du réseau de distribution de l'eau potable importe également. Une méta-analyse a conclu que les interruptions temporaires de distribution de l'eau augmentaient plus de 3 fois le risque relatif de développer des symptômes gastro-intestinaux dans la population (Ercumen *et al.*, 2014).

Une étude réalisée en 2009 a conclu que les usines de filtration au Québec pouvaient réduire les concentrations de cyanotoxines à un niveau 30 à 50 fois inférieur à la norme maximale de

consommation (Barbeau *et al.*, 2009). Malgré cela, certains EME pourraient augmenter considérablement ces concentrations et le risque de défaillance. En plus des précipitations extrêmes, l'amélioration des installations de traitement de l'eau pourrait réduire l'incidence des maladies d'origine hydrique en cas de sécheresse. La priorisation et la mise en œuvre de ces installations devraient prendre en considération les projections relatives aux sécheresses afin de favoriser une utilisation efficace de l'eau lors de périodes d'étiage. D'autres stratégies cherchant à contraindre volontairement ou obligatoirement la consommation d'eau pendant les périodes de sécheresse peuvent permettre également de mieux répartir les ressources en eau potable et de limiter les pertes agricoles (Yusa *et al.*, 2015).

Pour les municipalités avec un système central de traitement des eaux de consommation, l'adoption d'une approche multibarrière permettrait de limiter le risque de contamination des eaux en offrant de multiples redondances opérationnelles en cas de défaillance du système (R. J. Patrick, 2018). À plus petite échelle, une approche participative impliquant des experts et des représentants du milieu permettrait de mieux déterminer les risques de contamination potentielle et d'améliorer les connaissances des problématiques associées aux bassins versants au sein des participants (Dykman, 2013). L'Alberta et la Saskatchewan ont adopté ce type d'approche collaborative dans leur planification de la protection des sources d'eau potable dans plusieurs communautés autochtones (R. J. Patrick, 2018).

La gestion intégrée par bassin versant, utilisée dans plusieurs provinces au Canada, adhère aux principes de gouvernance, de participation des collectivités et des peuples autochtones et de décisions inclusives (Conseil canadien des ministres de l'environnement [CCME], 2016; Conservation Ontario, 2010; Regroupement des organismes de bassins versants du Québec [ROBVQ], 2019). La prise en compte des changements climatiques dans la détermination des risques est également essentielle pour assurer l'efficacité et la pérennité des stratégies mises en place. Le CCME a d'ailleurs souligné la nécessité de prendre en compte l'incertitude causée par les changements climatiques et d'adopter une approche de gestion adaptative pour être en mesure d'y répondre adéquatement (CCME, 2016).

Une évaluation canadienne a aussi conclu que la gestion des eaux pluviales tendait à moins se concentrer sur la résilience à long terme des systèmes d'approvisionnement en eau potable (incluant la prise en compte des changements climatiques), sur les implications sanitaires de ces infrastructures ainsi que sur les changements administratifs nécessaires pour parvenir à l'implantation de mesures durables et flexibles (Upadhyaya *et al.*, 2014). Entre autres, une mauvaise gestion des eaux pluviales de même qu'un système combinant les infrastructures des eaux pluviales et des égouts peuvent mener à des surverses et à l'inondation de résidences (Kessler, 2011).

Le gouvernement du Québec offre plusieurs guides, notamment pour déterminer les aires de protection des prélèvements d'eau souterraine et la vulnérabilité des puits, caractériser les aquifères, concevoir des installations de production d'eau potable sécuritaires et faire le suivi de la qualité de l'eau (MELCC, s. d.-a). La gestion des problèmes d'eau potable devrait également tenir compte de la perception du risque et des constructions sociales en lien avec la problématique (Brisson *et al.*, 2017). Par exemple, les individus sont plus susceptibles de réagir à des menaces apparentes, comme les cyanobactéries, que celles invisibles (autres bactéries et virus). Chaque individu peut aussi se représenter différemment ce que constitue l'agent infectieux et les enjeux liés, et ainsi ne pas être en mesure de reconnaître la menace.

Les filtres à eau installés directement aux points d'utilisation en aval des usines de traitement peuvent aussi diminuer le risque de développer des maladies d'origine hydrique, en particulier lorsqu'une défaillance survient dans le réseau d'aqueduc (p. ex., bris d'un tuyau favorisant l'infiltration d'eau de ruissellement). Les auteurs d'une méta-analyse ont estimé que les ménages sans ce type de filtres au logement présentaient une incidence 52 % plus élevée de symptômes gastro-intestinaux comparativement aux ménages avec ce type de filtres (Ercumen *et al.*, 2014).

Pratiques agricoles et entreposage

Même si les changements climatiques peuvent offrir de nouvelles opportunités de cultures, certains types de cultures ou de pratiques agricoles peuvent favoriser la prolifération de ravageurs et d'agents pathogènes (Tirado *et al.*, 2010). Plusieurs options s'offrent néanmoins aux producteurs agricoles pour adapter leurs pratiques aux conséquences potentielles des changements climatiques sur la salubrité des aliments. Par exemple, certains procédés biotechnologiques (p. ex., organismes génétiquement modifiés [OGM]) peuvent améliorer la résistance de certaines plantes aux variations météorologiques ou aux ravageurs, et ainsi réduire les pertes agricoles ou l'utilisation de pesticides. L'adaptation des pratiques vétérinaires auprès des animaux d'élevage, en particulier l'utilisation adéquate des médicaments sur le plan de la qualité, de la sécurité, de la fréquence et du moment de prestation par rapport aux changements climatiques, s'avère une autre avenue (Tirado *et al.*, 2010). La dégradation des terres agricoles et la pollution de l'eau peuvent aussi être grandement réduites en agissant sur les éléments suivants (Kireziova *et al.*, 2015) :

- Les systèmes d'irrigation (p. ex., en limitant l'arrosage de la partie comestible de la plante, entretien régulier des systèmes);
- L'entreposage des déjections animales;
- Les stratégies de fertilisation (p. ex., cultures en rotation);
- La gestion des pesticides;
- Le type et la diversité des cultures (p. ex., éviter la monoculture);
- La nutrition des animaux d'élevage (p. ex., meilleure absorption des nutriments).

D'ailleurs, les productions biologiques tendent à réduire le ruissellement de polluants tels que l'azote, le phosphore et les métaux lourds en améliorant la qualité du sol (p. ex., moins de labour, rotation des cultures, etc.) et en diminuant l'application de certains produits, dont les pesticides (Gomiero *et al.*, 2011; D. H. Lynch *et al.*, 2012). L'agroforesterie et la permaculture diminuent également les pertes de nutriments des terres agricoles (Krebs *et al.*, 2018; Torralba *et al.*, 2016). Une revue de la littérature a démontré que les arbres dans les systèmes d'agroforesterie pouvaient réduire les résidus d'azote et de phosphore dans les sols de 20 % à 100 %, et abaisser jusqu'à 90 % les quantités de pesticides dans les eaux de ruissellement (Pavlidis *et al.*, 2018).

L'entreposage prudent de surplus alimentaires en cas d'éclosion de maladies ou de saisons creuses ainsi que le traitement systématique de l'eau d'irrigation après un EME pourrait favoriser la résilience du secteur agricole aux changements climatiques (Uyttendaele *et al.*, 2015). L'entreposage des déjections animales et d'autres fertilisants constitue une autre mesure importante à considérer pour diminuer le risque de maladie d'origine hydrique et alimentaire. Pour ce faire, la couverture de ces structures d'entreposage, leur localisation loin des sources d'eaux souterraines, la modification des temps d'entreposage ou d'épandage et la planification des besoins futurs d'entreposage en fonction de l'évolution du cheptel et du nombre d'épandages planifiés en fonction des changements climatiques sont conseillées (Godbout *et al.*, 2013). La révision périodique des données utilisées pour le dimensionnement des structures d'entreposage des fumiers et des lisiers (précipitation,

évaporation et période d'entreposage) fait partie des autres mesures pour assurer une adaptation opportune, d'autant plus que les investissements pour les structures d'entreposage peuvent être importants. Le fumier et le purin peuvent aussi être traités par déshydratation, par compostage anaérobique ou par biométhanisation afin de les valoriser, d'en limiter la dilution ou d'optimiser l'espace des structures de stockage (Giroto et Cossu, 2017; XiuPing et HongMin, 2017). L'offre de réfrigérateurs ou de congélateurs collectifs dans les communautés autochtones, souvent désavantagées sur ce plan, pourrait également réduire le risque de maladie d'origine alimentaire.

Aménagement du territoire

Le [Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection](#) définit les aires de protection bactériologiques et virologiques pour les sites de prélèvement au sein desquelles les constructions anthropiques sont restreintes ou interdites, dépendamment de la vulnérabilité du site, afin d'éviter une contamination par ruissellement. Rien n'empêche cependant les municipalités d'augmenter les distances prescrites entre les sources de pollution potentielles (p. ex., fermes, sites contaminés) et les sources d'eau. En particulier, la proximité des milieux agricoles (jusqu'à près de 2 km) aux eaux souterraines a été associée à une augmentation des maladies d'origine hydrique (Cassell *et al.*, 2018; Febriani *et al.*, 2010).

Puisque les inondations favorisent la transmission de maladies d'origine hydrique et la prolifération d'agents pathogènes alimentaires dans certains cas, les mesures d'aménagement du territoire diminuant l'exposition ou l'intensité des inondations contribueront également à diminuer l'incidence de ces maladies. La perméabilisation du sol, le verdissement, la gestion des eaux de pluie de même que l'adaptation des bâtiments et des systèmes de canalisation et d'égouts en font partie. La section 5.4.2 **Les mesures physiques d'adaptation aux tempêtes et aux précipitations** peut être consultée pour plus de détails.

12 Zoonoses

12.1 Les effets des changements climatiques sur les tendances et les projections des sources de zoonoses

Les zoonoses sont des maladies ou des infections causées par des virus, des bactéries, des parasites, des champignons et des prions qui se transmettent naturellement entre les animaux (incluant les insectes et les arachnides) et les humains (INSPQ, s. d.-c). Les zoonoses peuvent se transmettre par voie orale (aliments), par contacts directs, par piqûres ou morsures et par gouttelettes ou aérosols produits par des animaux porteurs de maladies transmissibles à l'humain. Le processus par lequel une zoonose se transmet est complexe et implique une chaîne de transmission comprenant entre autres les vecteurs²⁴, les hôtes²⁵ de la maladie (p. ex., souris pour les tiques), leurs prédateurs et l'humain, de même que les interactions entre ces populations à différents stades de vie (Bouchard *et al.*, 2019; Ludwig *et al.*, 2019). Les maladies d'origine hydrique et alimentaire ne sont pas incluses dans cette section-ci, mais plutôt dans la section 11 **Pollution de l'eau et insalubrité des aliments**, même si la définition des zoonoses peut les inclure.

Les changements climatiques devraient influencer de plusieurs façons les risques de zoonose, principalement en accroissant leur population et leur répartition géographique (Bouchard *et al.*, 2017; Gabriele-Rivet *et al.*, 2015; Hongoh *et al.*, 2017; Lindahl et Grace, 2015; Ogden *et al.*, 2008; Zivin *et al.*, 2014). Les sections suivantes présentent les effets généraux des changements climatiques sur les principaux vecteurs et les hôtes des zoonoses au Québec, ou les plus dangereux, soit les moustiques, les tiques, les mammifères et les oiseaux.

12.1.1 GÉNÉRAL

Les changements climatiques pourraient influencer la transmission de zoonoses de quatre façons. Premièrement, le réchauffement des températures et les précipitations extrêmes pourront offrir des conditions propices à la prolifération des agents pathogènes, des vecteurs et des hôtes de zoonoses en favorisant leur taux de reproduction et de survie. Entre autres, les inondations ont été associées à une incidence accrue de maladies infectieuses puisqu'elles favorisent la reproduction d'agents pathogènes, d'hôtes et de vecteurs de maladies tels que les moustiques et certains animaux nuisibles (L. Brown *et al.*, 2013; Cann *et al.*, 2013; Funari *et al.*, 2012; Levy *et al.*, 2016; McMichael, 2015). Certaines observations mettent aussi en évidence une augmentation des cas de maladies transmises par les moustiques lors de sécheresses, bien qu'une diminution soit observée pour d'autres maladies transmises par les tiques (Yusa *et al.*, 2015). Ces effets découleraient d'un changement dans la dynamique entre les populations des hôtes de maladies et des prédateurs ainsi que dans la réduction de la viabilité des milieux en temps de sécheresse.

Deuxièmement, les hôtes et les vecteurs de zoonoses pourront élargir leur aire de répartition potentielle alors que les zones plus au nord et à l'est deviendront progressivement plus viables pour ces populations (p. ex., changements dans la composition des forêts). Troisièmement, les changements climatiques pourraient prolonger la période de transmission en incitant les individus à s'exposer davantage par une augmentation du temps consacré à des activités extérieures (baignade, agriculture, etc.). Quatrièmement, les changements climatiques augmentent le risque de contracter

²⁴ Les vecteurs font ici référence aux arthropodes, tels que les moustiques et les tiques, qui peuvent transmettre directement des zoonoses, principalement en piquant l'humain.

²⁵ Les hôtes désignent les êtres vivants qui hébergent et entretiennent dans des conditions naturelles un agent pathogène. Pour ce document, les hôtes incluent la notion de réservoir de zoonoses et les vertébrés (p. ex., mammifères) pouvant transmettre par contact direct ou indirect des zoonoses.

des zoonoses dans les autres pays pour les personnes voyageant à l'extérieur, ces derniers pouvant ramener ces maladies au Québec et favoriser la transmission de nouveaux agents pathogènes à certains hôtes et vecteurs, dont les moustiques (Ogden, 2017).

Les variables climatiques n'affectent pas de la même façon les hôtes et les vecteurs de zoonoses ou la probabilité d'y être exposé. Cette section se concentre principalement sur les zoonoses priorisées par l'Observatoire multipartite québécois sur les zoonoses et l'adaptation aux changements climatiques en date de 2018 (A. Simon *et al.*, 2018), soit :

- la maladie de Lyme;
- le VNO;
- la rage;
- le syndrome pulmonaire à hantavirus (SPH);
- l'influenza aviaire.

Le botulisme, la salmonellose, la listériose et les infections à *E. coli* ont également été priorisés par l'Observatoire, mais elles sont principalement d'origine alimentaire ou hydrique. Ces maladies sont donc traitées plus en profondeur dans la section 11 **Pollution de l'eau et insalubrité des aliments**, même si certaines se retrouvent plus superficiellement dans la présente section.

12.1.2 TIQUES

Le réchauffement des températures favorise l'accroissement de l'aire de répartition et la reproduction des tiques porteuses de maladies (Ogden *et al.*, 2020; Sonenshine, 2018). Entre autres, la tique *I. scapularis* peut transporter la bactérie *Borrelia burgdorferi* qui cause la maladie de Lyme. Les espèces *Ixodes cookei*, *Dermacentor variabilis*, *Rhipicephalus sanguineus* et *Amblyomma americanum* constituent d'autres exemples de tiques pouvant causer des maladies chez l'humain. La proportion de tiques correspondant à ces espèces analysées en laboratoire à travers le programme de surveillance entomologique passive est passée de 6,1 % en 2007 à 16 % en 2015, le reste étant composé de tiques *I. scapularis* (Gasmi *et al.*, 2018). Les milieux boisés, les herbes longues, les jardins et les amas de feuilles mortes constituent les habitats à risque où la tique peut s'accrocher à l'individu et l'infecter.

Population

Des conditions climatiques plus chaudes et humides ainsi que des changements dans la composition de la forêt accélèrent le cycle de vie des tiques et leur taux de reproduction, en plus d'améliorer leurs chances de survie dans des conditions plus nordiques (Ogden, Barker, *et al.*, 2014; J. A. Simon *et al.*, 2014). La densité de tiques dans une région représente le facteur de risque le plus important d'observer une hausse des cas de maladie de Lyme (Bouchard *et al.*, 2018). Le taux de reproduction de la tique augmenterait au Canada, incluant le Québec, par rapport à l'an 2000, peu importe le scénario d'émissions (incluant le RCP2.6), mais cette hausse serait moindre pour les scénarios RCP6.0, RCP4.5 et RCP2.6 que pour le scénario RCP8.5 (McPherson *et al.*, 2017). Dans le sud-est du Québec (Montérégie, Estrie, Outaouais, Centre-du-Québec, etc.), les changements climatiques (scénario A2) pourraient multiplier à eux seuls le taux de reproduction d'*I. scapularis* par 1,6 (de 1,7 à 2,8) et 2,5 (de 1,7 à 4,3) pour les périodes 2001-2050 et 2051-2069 comparativement à la période 1971-2000 (Ogden, Radojevic, Wu, *et al.*, 2014). Le nombre de tiques soumises par l'entremise du programme de surveillance passive s'est multiplié par 4 de 2008 à 2014 (Gasmi *et al.*, 2016).

Il reste que peu d'études ont répertorié l'effet indépendant des changements climatiques récents sur les hausses apparentes des populations de tiques, d'autres facteurs pouvant les expliquer (Ogden *et al.*, 2020).

Répartition géographique

Le réchauffement moyen des températures favorise l'accroissement de l'aire de répartition de tiques vectrices de maladies. Les tiques sont généralement dispersées par les populations d'oiseaux migrateurs et d'autres animaux terrestres (p. ex., souris, cerfs de Virginie). Les rongeurs et les cerfs de Virginie constituent généralement des hôtes de maladies transmises par les tiques, c'est-à-dire qu'ils transmettent la bactérie provoquant ces maladies lorsqu'une tique se nourrit de leur sang. Une expansion de l'aire territoriale des souris et des cerfs vers le nord et l'est, ainsi qu'une augmentation de leur abondance et de leur activité, sont projetées dans les décennies à venir (Leighton *et al.*, 2012; Roy-Dufresne *et al.*, 2013; J. A. Simon *et al.*, 2014). De plus, la superficie de forêts mixtes (feuillus et conifères) ou de feuillus, qui sont propices à l'établissement de populations de tiques, devrait s'accroître avec le réchauffement des températures.

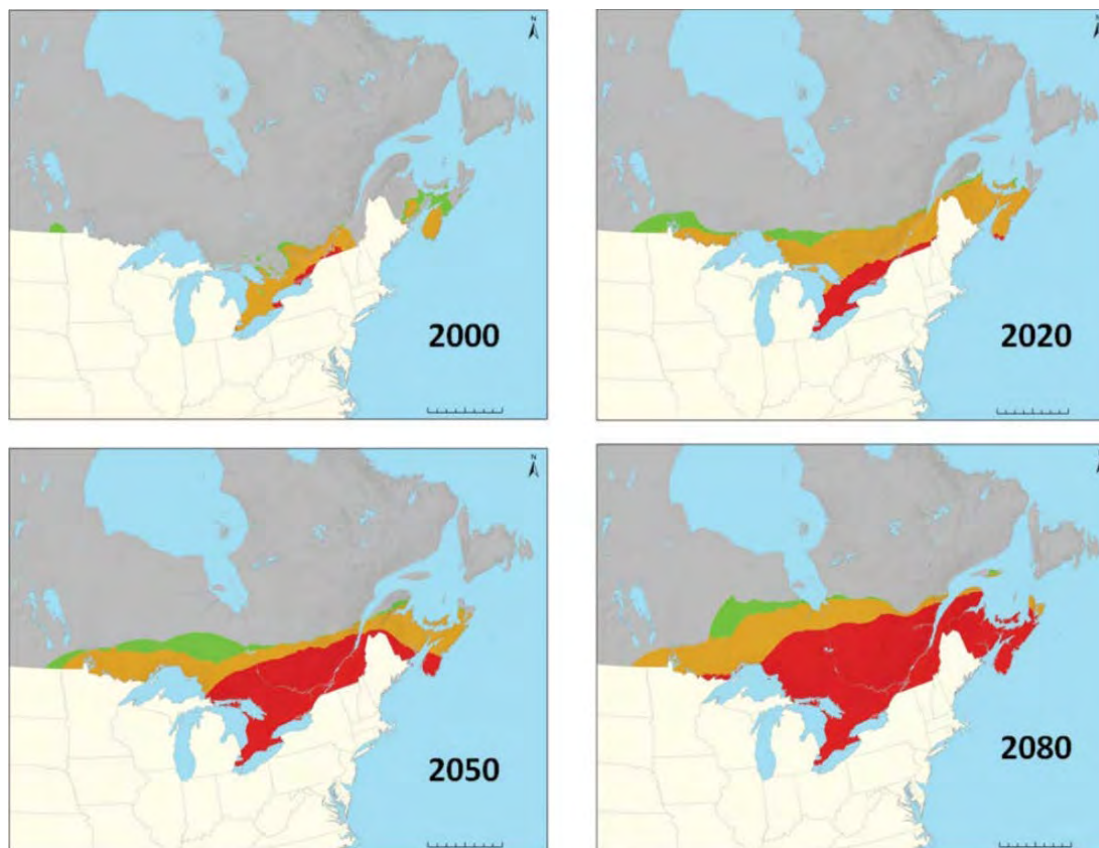
Les estimations de l'expansion de l'aire d'habitation et du nombre de tiques *I. scapularis* diffèrent dans l'amplitude, mais convergent toutes vers un accroissement. Entre autres, des auteurs ont estimé que son territoire se serait étendu de 46 km par année pour la décennie 2010 au Canada et que son expansion tous azimuts pourrait s'accélérer par la suite avec l'intensification des changements climatiques (scénario A2) (Leighton *et al.*, 2012). L'expansion vers le nord serait toutefois moindre, avec une augmentation de 3,5 à 11 km par année (J. A. Simon *et al.*, 2014). En utilisant cette dernière projection, l'aire de répartition d'*I. scapularis* s'agrandirait de 250 à 500 km vers le nord en 2050 comparativement à l'an 2000.

La figure 7 présente une carte de l'expansion projetée de la tique *I. scapularis* selon un scénario d'émissions élevées (scénario A2) pour les années 2020, 2050 et 2080. L'expansion territoriale des tiques autres qu'*I. scapularis* reste moins connue, mais elle dépendra aussi des changements dans les populations de mammifères de petite et de moyenne tailles, aussi affectés par les changements climatiques et d'autres facteurs anthropiques (voir section 12.1.4 **Mammifères et oiseaux**). Des auteurs ont tout de même évalué que l'habitat propice à l'établissement de la tique *D. variabilis* allait progresser vers le nord du fleuve Saint-Laurent et vers l'est du Québec (Boorgula *et al.*, 2020).

12.1.3 MOUSTIQUES

Plusieurs espèces de moustiques porteuses de maladies transmissibles à l'humain sont présentes au Québec. Plus d'une vingtaine d'espèces ont été identifiées en nombre important seulement au Québec, mais plus de 80 seraient présentes au Canada (Ludwig *et al.*, 2019; Shahhosseini *et al.*, 2020). Entre autres, *Culex pipiens/restuans* et *Aedes vexans* peuvent transmettre le VNO (Harrigan *et al.*, 2014; Ludwig *et al.*, 2019). *Culiseta melanura* constitue la principale cause de l'encéphalite équine de l'Est (EEE), alors que les genres *Aedes*, *Culiseta* et *Anopheles* peuvent transmettre les virus du séro-groupe de Californie (voir section 12.2.2 **Virus du Nil occidental et autres maladies transmises par les moustiques**) (P. M. Armstrong et Andreadis, 2010; Pastula *et al.*, 2015; Webster *et al.*, 2017). Ces espèces sont présentes dans des proportions différentes en fonction des saisons. Les espèces du genre *Aedes* sont particulièrement prévalentes au Québec, les populations de moustiques étant plus élevées au mois de juillet, puis en août (Shahhosseini *et al.*, 2020). Avec le réchauffement des températures, certaines espèces de moustiques (p. ex., *Aedes albopictus*) typiquement retrouvées dans des climats subtropicaux pourraient s'installer dans le sud du Canada et du Québec d'ici la fin du siècle, et apporter avec eux de nouveaux risques de zoonoses (V. Ng *et al.*, 2017).

Figure 7 Cartes des risques historiques et projetés relatifs à la propagation d'*I. scapularis* selon un scénario d'émissions élevées de GES (A2)



Légende : ■ risque très faible ou inexistant; ■ risque faible; ■ risque modéré; ■ risque élevé.
Source : Ogden *et al.*, 2008.

Population et infectiosité

La diminution des quantités estivales de précipitations, accompagnée d'une augmentation des températures et de l'allongement de la saison de croissance, devrait faciliter la reproduction, la survie et la mobilité des moustiques vecteurs de zoonoses, dont *Culex pipiens/restuans* et *Aedes vexans* (Ewing *et al.*, 2016; Harrigan *et al.*, 2014; Ludwig *et al.*, 2019). Une étude réalisée à Montréal a conclu que le nombre de degrés-jours au-dessus de 9 °C et les quantités moyennes de précipitations 22 jours et 71 jours respectivement avant la collecte étaient associés à l'abondance des populations de *C. pipiens/restuans* (Ripoche *et al.*, 2019). Pour *A. vexans*, le nombre de degrés-jours au-dessus de 12 °C et les quantités moyennes de précipitations 24 et 30 jours avant la collecte expliquaient le nombre de spécimens collectés. Une augmentation de la vitesse des vents pourrait également diminuer les contacts entre les humains et les moustiques, bien que l'effet des changements climatiques sur les vents au Québec reste incertain (Ellwanger et Chies, 2018).

Les changements climatiques pourraient également augmenter la proportion de moustiques porteurs de virus en affectant la reproduction et la répartition des hôtes de maladies, tels que les oiseaux (voir section 12.1.4 **Mammifères et oiseaux**) Les quantités moyennes de précipitations sont associées à l'abondance de moustiques puisque les périodes de sécheresse et d'étiage favorisent la stagnation des eaux et la formation de bassins propices à la reproduction de moustiques (Hanford *et al.*, 2019; Ludwig *et al.*, 2019; Stanke *et al.*, 2013; Yiyuan Wang *et al.*, 2017). Néanmoins, la température serait

un meilleur prédicteur que les précipitations pour le nombre de moustiques étant positifs au VNO (Giordano *et al.*, 2017; Ludwig *et al.*, 2019). Exception faite du nord du Québec, toutes les régions devraient afficher d'ici 2050 une augmentation d'au moins 10 % de la présence du VNO dans leurs populations de moustiques (Harrigan *et al.*, 2014). Les cas de VNO varient grandement d'année en année, ce qui semble ainsi démontrer la sensibilité de son cycle d'infection aux variations météorologiques annuelles (Ludwig *et al.*, 2019). Par exemple, une étude réalisée en Ontario a suggéré que des températures hivernales plus chaudes et une diminution des précipitations en hiver pourraient accroître le nombre de moustiques porteurs du VNO de même que l'incidence des cas humains reliés (Mallya *et al.*, 2018).

Répartition géographique

Par rapport au début du 20^e siècle, des auteurs ont estimé que le territoire propice à l'établissement de *C. pipiens* pourrait s'étendre au Canada de 127 %, de 255 % et de 513 % en 2020, en 2050 et en 2080 respectivement (scénario A2) (Hongoh *et al.*, 2012). Les changements climatiques élargiront le territoire d'autres moustiques et pourront en introduire de nouvelles espèces dans la province. Entre autres, le sud du Québec pourrait devenir viable d'ici 2050 (RCP8.5) ou 2080 (RCP4.5) pour des populations d'*A. albopictus*, soit le moustique porteur de la dengue, dont l'habitat se limite actuellement au sud des États-Unis (S. U. Khan *et al.*, 2020; Ogden, Radojevic, Caminade, *et al.*, 2014). Les régions endémiques en date de 2019 sont principalement la Montérégie, Laval, Montréal, les Laurentides et Lanaudière, en raison principalement de leur climat plus doux. En 2019, 1,1 % des pools de moustiques récupérés auprès de stations de surveillance portaient le VNO, les taux les plus élevés se retrouvant en Montérégie (6,1 %) et à Montréal (1,8 %) (MSSS, s. d.).

Les changements climatiques pourraient également augmenter les populations et l'aire de répartition de certains hôtes de zoonoses, entre autres les oiseaux (p. ex., corbeaux, geais, merles d'Amérique, bruants) et certains mammifères (p. ex., écureuils, chevreuils, lièvres; voir section 12.1.4

Mammifères et oiseaux) (Ludwig *et al.*, 2019; Ralston et Kirchman, 2013; Roy-Dufresne *et al.*, 2013). Néanmoins, d'autres facteurs anthropiques, comme la déforestation et la détérioration des habitats, pourraient causer l'effet inverse.

12.1.4 MAMMIFÈRES ET OISEAUX

Même s'ils ne constituent pas les principales causes (directes) des zoonoses, plusieurs mammifères et oiseaux peuvent transmettre des maladies à l'homme. Par exemple, les chiens, les chauves-souris, les mouffettes, les rats laveurs de même que les renards roux ou arctiques peuvent transmettre la rage (INSPQ, s. d.-b). En 2015, 18 cas de rage chez les animaux ont été détectés, 13 d'entre eux chez des chauves-souris (MSSS, 2018a). Ce nombre a déjà été de 66 en 2007 et de 32 en 2008, alors qu'une épizootie affectait les populations de rats laveurs dans l'est des États-Unis. En date de 2019, 157 municipalités du sud du Québec se situaient dans un rayon de 50 km d'un cas d'animal rabique terrestre détecté dans les 6 dernières années (INSPQ, s. d.-b). Ces municipalités incluaient Sherbrooke, Granby et Saint-Jean-sur-Richelieu, et se voyaient attribuer un risque moyen de présence de rage. Au Nunavik et dans les Terres-Cries-de-la-Baie-James, la rage est considérée comme endémique. Des cas de rage chez les animaux (p. ex., renards arctiques, chiens) ont été confirmés dans 28 municipalités de 2010 à 2016, plusieurs d'entre elles étant considérées comme étant à risque élevé (INSPQ, s. d.-b).

Les animaux peuvent aussi excréter des bactéries telles que *E. coli*, *Salmonella*, *Campylobacter* et *Cryptosporidium* que les humains peuvent attraper lorsqu'ils touchent les surfaces animales contaminées (Conrad *et al.*, 2017). Les animaux d'élevage et les animaux de compagnie importent ainsi davantage sur cet aspect. Certains rongeurs, dont la souris sylvestre, peuvent également

transmettre le virus Sin Nombre qui peut causer le SPH chez l'humain (Drebot, Jones, *et al.*, 2015b). Leur urine et leurs excréments peuvent aussi contenir la bactérie causant la leptospirose (genre *Leptospira*) et contaminer l'humain par aérosol et contact direct ou indirect (ASPC, 2019a). De plus, les oiseaux sont des hôtes potentiels de plusieurs maladies, dont le VNO, la maladie de Lyme (pas un vecteur dans ces deux cas) et la grippe aviaire (Gilbert *et al.*, 2008). Quelques cas de grippe aviaire ont été décelés par le Réseau d'alerte et d'information zoonositaire (RAIZO) du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec parmi les populations d'oiseaux sauvages (p. ex., goélands, canards) (MAPAQ, 2019). Cependant, aucun cas de grippe aviaire n'a été détecté chez les oiseaux domestiques (p. ex., poules, dindes) de 2012 à 2017 sur un total de 4 251 échantillons (MAPAQ, 2019).

Les changements climatiques devraient modifier les mouvements, la croissance et le cycle de reproduction des mammifères et des oiseaux, de même que les interactions entre les hôtes potentiels de zoonoses et les prédateurs (Altizer *et al.*, 2013). Entre autres, certaines preuves scientifiques semblent indiquer que les précipitations abondantes et des températures plus élevées sont favorables à la croissance de populations de rongeurs, partiellement en raison d'une diminution possible de la prédation lors d'épisodes de pluies importants (Engelthaler *et al.*, 1999; G. Germain *et al.*, 2019; Klempa, 2009). D'autres facteurs, tels que la déstabilisation des ressources alimentaires et la modification des habitats, pourraient atténuer ou exacerber cette tendance. Pour illustrer, les populations de rats laveurs (hôtes de la rage) pourraient croître, et leur aire de répartition pourrait s'étendre en raison d'hivers moins longs et rigoureux, qui favorisent une meilleure disponibilité alimentaire (G. Germain *et al.*, 2019).

Répartition géographique

Le réchauffement des températures pourrait aussi occasionner une migration vers le nord de certaines espèces, une réduction potentielle du temps d'hibernation et un allongement de la période de reproduction (I.-C. Chen *et al.*, 2011; Ouranos, 2015). Des zoonoses pourraient ainsi apparaître ou élargir leur territoire d'endémicité. Par exemple, les mouvements migrateurs de certaines espèces d'oiseaux pourraient s'effectuer sur des périodes différentes ou s'étendre vers le nord et vers d'autres milieux alors inhabités par ces espèces (Morin *et al.*, 2018; Patterson et Guerin, 2013). Dans le même ordre d'idée, la souris à pattes blanches (hôtes de la maladie de Lyme et du virus Sin Nombre) augmenterait son aire de répartition de 10 km vers le nord chaque année (Roy-Dufresne *et al.*, 2013).

De plus, les changements climatiques pourraient mener à la destruction ou au chevauchement d'habitats et influencer conséquemment le potentiel de transmission interespèces d'agents pathogènes. À ce titre, les incendies de forêt bouleversent les habitats de la faune et peuvent ainsi favoriser les contacts entre des espèces qui cohabitaient peu ou aucunement jusqu'alors. Certaines espèces pourraient alors entrer en compétition avec d'autres – en particulier les espèces méridionales par rapport aux espèces nordiques – et affecter les populations de prédateurs et d'hôtes de zoonoses. Entre autres, une migration vers le nord des populations de renards roux, potentiellement exacerbée par le réchauffement des températures, pourrait augmenter les contacts avec les populations de renards arctiques, qui présentent une prévalence plus élevée de rage (Fuglei et Ims, 2008; A. Simon *et al.*, 2014). La souris à pattes blanches prendrait également de l'expansion aux dépens de la souris sylvestre (Garcia-Elfring *et al.*, 2017; P. Myers *et al.*, 2009).

Survie des agents pathogènes

Le réchauffement des températures et les précipitations extrêmes pourraient influencer la prolifération ou la survie d'agents pathogènes comme les virus ou les bactéries, et augmenter ainsi la probabilité qu'un contact infectieux se produise entre un mammifère et un humain (voir section 11 **Pollution de l'eau et insalubrité des aliments** pour les bactéries). Par exemple, le virus de la grippe aviaire survivrait aussi longtemps à des températures légèrement au-dessus du point de congélation (Morin *et al.*, 2018). Avec le réchauffement des températures, le virus pourrait survivre plus longtemps dans les eaux des latitudes nordiques, alors que l'inverse pourrait être attendu pour les latitudes méridionales. Les inondations ou les refoulements d'égouts peuvent aussi favoriser le contact avec l'urine ou les excréments d'hôtes de zoonoses telles que la leptospirose (Lau *et al.*, 2010). Finalement, des concentrations élevées de polluants atmosphériques ou des sécheresses accompagnées de vent peuvent favoriser la propagation d'agents pathogènes, tels que *Coxiella burnetii*, sur plusieurs kilomètres et faciliter ainsi la transmission entre les animaux d'élevage, qui pourraient par la suite infecter l'humain (N. J. Clark *et al.*, 2018; Tissot-Dupont, 2009).

Aspects comportementaux

L'effet des changements climatiques sur le contact avec les animaux reste incertain. L'allongement de la période estivale pourrait mener les éleveurs à utiliser davantage les pâturages pour leurs animaux d'élevage et accroître le risque de transmission d'agents pathogènes de l'environnement vers l'animal (p. ex., contact entre des oiseaux sauvages atteints de grippe aviaire et des oiseaux domestiques destinés à la consommation). Les vagues de chaleur ou d'autres EME pourraient à l'inverse inciter les éleveurs à confiner leurs animaux à l'intérieur et augmenter ainsi la probabilité d'une transmission de maladies entre les animaux de la même espèce (Lake *et al.*, 2018). Les températures plus clémentes pourraient augmenter le temps passé à l'extérieur des individus et des animaux domestiques. Ce faisant, ces derniers auront plus de chance d'entrer en contact avec des hôtes de zoonoses et des agents pathogènes (p. ex., chien allant dans l'eau et rapportant sur son pelage des bactéries de type *E. coli*) (Conrad *et al.*, 2017). Certains événements favorisant les contacts avec les animaux, comme les foires agricoles, pourraient aussi devenir plus fréquents.

12.2 Les effets des zoonoses sur la santé

12.2.1 MALADIE DE LYME ET AUTRES MALADIES TRANSMISES PAR LES TIQUES

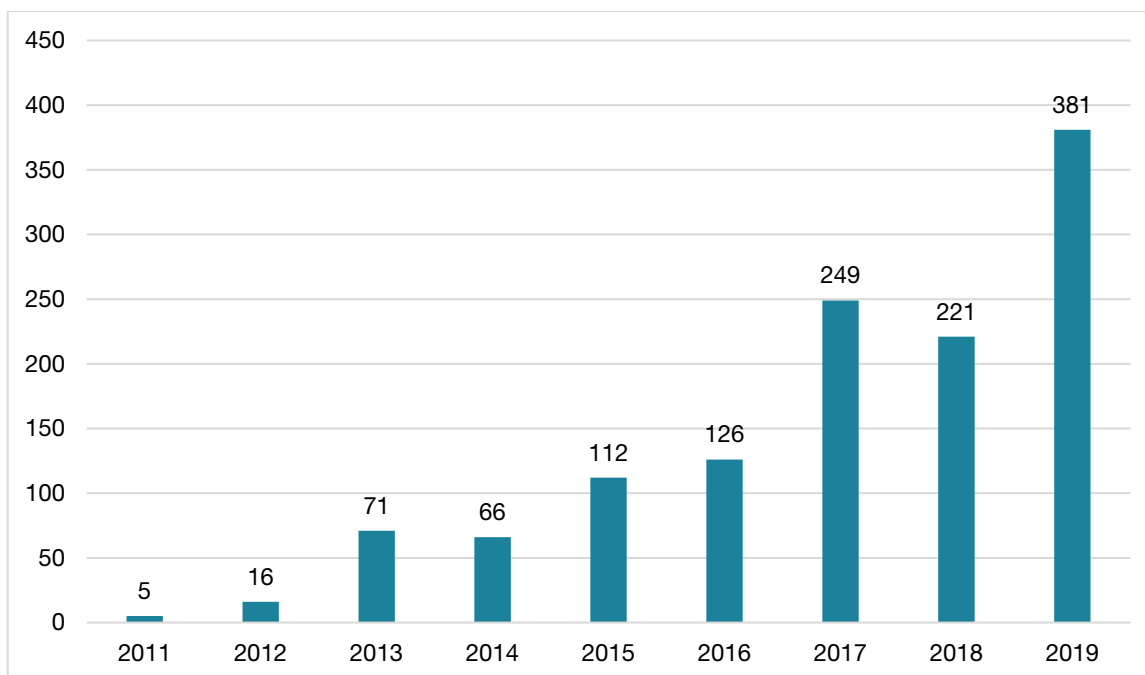
L'augmentation de l'aire de répartition d'*I. scapularis* et de son taux de reproduction se répercute sur la prévalence de la maladie de Lyme. Elle est passée de 0,20 cas par 100 000 habitants en 2009 à 1,9 en 2015, soit presque une multiplication par 10 en seulement 6 ans (Gasmi, Ogden, Leighton, *et al.*, 2017). En 2019, 338 cas de maladie de Lyme ont été comptabilisés au Québec, un sommet depuis que la maladie doit obligatoirement être déclarée (figure 8) (MSSS, 2019c).

Les symptômes les plus communs de la maladie de Lyme sont l'érythème migrant, les manifestations arthritiques (p. ex., arthralgie, arthrite), les problèmes neurologiques (p. ex., maux de tête, pincements aux extrémités, troubles du sommeil, paralysie de Bell) ou cardiaques et d'autres symptômes similaires à la grippe tels que la fatigue, les douleurs musculaires, la fièvre et les tremblements (Gasmi, Ogden, Lindsay, *et al.*, 2017; Hatchette *et al.*, 2015; K. O. Johnson *et al.*, 2018). Dans une proportion estimée autour de 10 à 20 % aux États-Unis, certains symptômes de la maladie de Lyme semblent persister même lorsque les traces de l'infection ont disparu (Halperin, 2016; Maloney, 2016; Oliveira et Shapiro, 2015). Des auteurs ont estimé également que la dépression serait présente chez 8 à 45 % des patients avec ces symptômes persistants, dépendamment de l'échantillon et de l'échelle utilisée (Doshi *et al.*, 2018). D'autres symptômes persistants, tels que les

troubles de l'humeur ou de l'anxiété, la panique, la douleur chronique et la colère, sont aussi répertoriés.

La maladie de Lyme serait aussi associée aux comportements violents, tels que les idées suicidaires et les intentions de commettre un homicide (Bransfield, 2017, 2018; Doshi *et al.*, 2018). Cependant, la forme chronique de la maladie de Lyme représente un sujet controversé et plusieurs instances de santé publique ne la reconnaissent pas encore officiellement (Maloney, 2016). Certains symptômes chroniques répertoriés de la maladie de Lyme pourraient être occasionnés par d'autres facteurs indirects (p. ex., perte de revenus ou sentiment d'insécurité associés à l'épisode de maladie de Lyme) plutôt que par des séquelles physiques directement causées par la maladie de Lyme (Oliveira *et al.*, 2015).

Figure 8 Nombre de cas liés à la maladie de Lyme au Québec de 2011 à 2019



Source : MSSS, 2019c.

La proportion de la population de l'est du Canada habitant une zone où *I. scapularis* est endémique serait passée de 18 % en 2010 à 80 % en 2020 (Leighton *et al.*, 2012). En date de 2017, 13 des 18 régions sociosanitaires québécoises comprenaient minimalement une municipalité avec un risque possible de maladie de Lyme, pour un total de 278 municipalités à risque (Briand *et al.*, 2017). En ordre, les régions sociosanitaires de la Montérégie, de l'Estrie, de la Mauricie-et-Centre-du-Québec et des Laurentides présentaient les nombres les plus élevés de municipalités à risque. La Montérégie comprenait à elle seule 28 des 43 municipalités avec un risque significatif. De 2016 à 2017, le nombre de municipalités à risque possible est passé de 141 à 165. Pour les municipalités à risque faible et à risque significatif, ces nombres sont passés de 66 à 70 et de 28 à 43 respectivement. En 2019, 59 municipalités avec un risque significatif par rapport à la maladie de Lyme ont été répertoriées (INSPQ, s. d.-a).

Les espèces *I. cookei*, *D. variabilis*, *R. sanguineus* et *A. americanum* peuvent également transmettre d'autres maladies telles que l'encéphalomyélite de Powassan (*I. cookei*), l'anaplasmose (*D. variabilis*), la fièvre pourprée des montagnes Rocheuses (*D. variabilis*, *R. Sanguineus*), l'ehrlichiose (*A. americanum*) et la tularémie (*A. americanum*, *D. variabilis*) (Gasmi *et al.*, 2018). La tique *A. americanum* est aussi soupçonnée d'infliger une allergie à la viande rouge chez l'humain (Platts-Mills *et al.*, 2015). La tique *I. scapularis* peut quant à elle causer l'anaplasmose humaine, la babésiose, l'encéphalomyélite de Powassan et d'autres infections connexes à la maladie de Lyme (Gasmi *et al.*, 2018; INSPQ, s. d.-a; Kulkarni *et al.*, 2015; Leighton *et al.*, 2012). Ces maladies engendrent pour la plupart des symptômes de type grippal (p. ex., fièvre, toux, maux de tête, douleurs musculaires, fatigue) (L. M. Bush et Perez, 2018; CDC, 2019; Pearson, 2019; Petri, 2018). Les rickettsies (p. ex., anaplasmose, fièvre pourprée, ehrlichiose et fièvre Q) provoquent aussi des éruptions cutanées. Dans les cas plus graves, elles peuvent causer des insuffisances rénales, l'hypertrophie de certains organes, de l'anémie et des encéphalites, parmi d'autres symptômes probables. La prévalence actuelle de ces maladies est plutôt faible au Québec (A. Simon *et al.*, 2018).

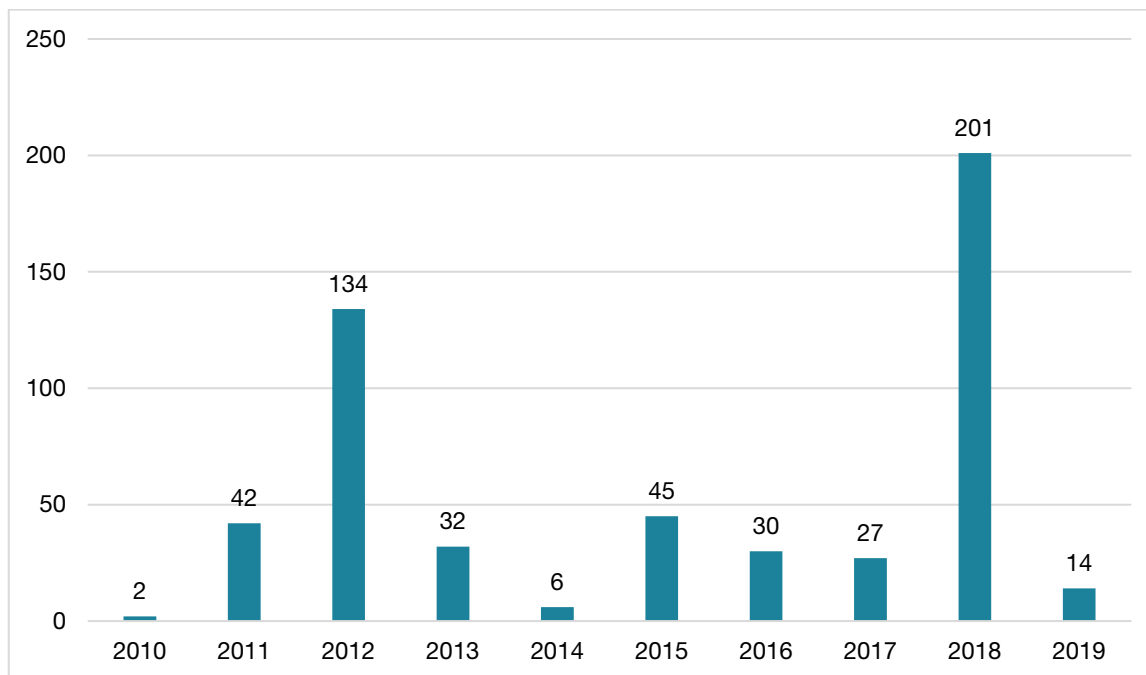
La prévalence dans les populations de tiques des agents pathogènes causant ces maladies reste peu connue et est vraisemblablement faible. Par exemple, une étude en Ontario a démontré que la proportion de tiques *D. variabilis* avec des agents pathogènes potentiellement néfastes pour l'homme (p. ex., *Rickettsia montanensis*, *Francisella tularensis*) était nulle ou très faible (2 % et moins) (Wood *et al.*, 2016). Le risque pourrait néanmoins s'élever avec les changements climatiques (voir section 12.1.2 **Tiques**).

12.2.2 VIRUS DU NIL OCCIDENTAL ET AUTRES MALADIES TRANSMISES PAR LES MOUSTIQUES

De 1998 à 2018, l'incidence des maladies transmises par les moustiques a augmenté d'environ 10 % au Canada, la cause suspectée de cette hausse étant les changements climatiques (Ludwig *et al.*, 2019). La hausse la plus importante concerne le VNO. Le nombre de cas déclarés varie fortement d'année en année au Québec (figure 9). De 1 à 45 cas ont été comptabilisés de 2002 à 2019, sauf pour les années 2012 et 2018, où des pics importants de 134 et de 201 cas ont été rapportés, l'été 2018 ayant été particulièrement chaud (MSSS, 2020b). Cette grande fluctuation dans l'incidence des cas s'explique probablement par les variations météorologiques interannuelles (voir section 12.1.3 **Moustiques**). Le virus a provoqué 30 décès au cours de cette période, dont la moitié seulement en 2018. Une étude menée dans la région de Chicago a d'ailleurs indiqué que les variables météorologiques (températures plus hautes, creux de précipitations) expliquaient 80 % des infections associées au VNO (Ruiz *et al.*, 2010).

Le VNO provoque plusieurs symptômes chez l'humain. Les personnes infectées par le virus développeraient des symptômes cliniques dans environ un quart des cas (Petersen, Brault, *et al.*, 2013; Petersen, Carson, *et al.*, 2013; Zou *et al.*, 2010). Ces symptômes, bénins la plupart du temps, comportent généralement la fièvre, les maux de tête, les courbatures, les éruptions cutanées et les ganglions enflés (ASPC, 2015b). Cependant, des symptômes plus graves, tels que des nausées et des vomissements, des maux de tête importants, des pertes de conscience, une faiblesse musculaire et la paralysie, peuvent se manifester et même mener au décès. De plus, certaines études ont répertorié la persistance de séquelles physiques et cognitives, comme la faiblesse musculaire et les pertes de mémoire chez certaines personnes plus à risque (p. ex., personnes âgées avec des maladies cardiovasculaires ou des cancers) (Patel *et al.*, 2015).

Figure 9 Nombre de cas déclarés de personnes infectées par le virus du Nil occidental au Québec de 2010 à 2019



Source : MSSS, 2020b.

Au Québec, 70 % des cas déclarés présentaient une atteinte neurologique, alors que le virus a provoqué le décès de 5 % d'entre eux (MSSS, 2019b). Puisque les personnes sont souvent asymptomatiques (80 % des cas) ou que les symptômes sont bénins, la grande majorité des cas ne sont pas déclarés. Dans un échantillon de 485 propriétaires de chien, une étude a conclu que 0,6 % avaient les anticorps du VNO en 2013-2014, soit beaucoup plus que le pourcentage populationnel de cas déclarés (Rocheleau *et al.*, 2017b). Il a été estimé que moins de 1 % des personnes infectées développeront des symptômes neurologiques graves et que le taux de mortalité tournerait autour de 10 % (Petersen, Brault, *et al.*, 2013).

Les moustiques sont également porteurs d'autres virus responsables de maladies telles que l'EEE, l'encéphalite de Saint-Louis ainsi que les infections liées aux virus du séro groupe Californie (p. ex., virus de Jamestown Canyon et de Snowshoe hare) ou de Cache Valley (Drebot, 2015; Kulkarni *et al.*, 2015; Ludwig *et al.*, 2019). Bien qu'elles provoquent souvent des réactions bénignes, ces maladies peuvent causer des symptômes fébriles et neurologiques similaires à ceux observés pour la maladie de Lyme (Drebot, 2015). Chez 485 propriétaires de chien, la séroprévalence des virus du séro groupe Californie a été estimée à 18,8 % comparativement à près de 0 pour le virus de l'EEE (Rocheleau *et al.*, 2017b). Ces taux peuvent s'élever jusqu'à 40 % dans certaines régions canadiennes (Ludwig *et al.*, 2019). Aucun cas d'EEE n'a été déclaré au Québec depuis qu'elle est surveillée, mais plus d'une centaine de cas des virus Jamestown Canyon et de Snowshoe hare ont été rapportés au Québec en 2017 (Ludwig *et al.*, 2019; MSSS, 2020a).

Le réchauffement des températures pourrait également introduire de nouvelles espèces de moustiques et de zoonoses, ou favoriser la transmission de cas importés. Par exemple, les moustiques du genre *A. albopictus* pourraient s'installer dans le sud du Québec d'ici la fin du siècle, tandis que ces moustiques peuvent transporter le virus de chikungunya (V. Ng *et al.*, 2017). Ce virus cause de la fièvre, des maux de tête, de même que douleurs musculaires et articulaires chez

l'humain. En 2014, 114 personnes résidant au Québec ont contracté le chikungunya en voyageant dans un pays à risque (Drebot, Holloway, *et al.*, 2015). Ces personnes pourraient infecter des maringouins qui pourraient alors transmettre le virus à d'autres humains.

12.2.3 AUTRES ZOONOSES

Plusieurs mammifères tels que les chauves-souris, les souris, les renards et les rats laveurs peuvent transporter des maladies potentiellement transmissibles à l'humain (Bouchard *et al.*, 2017; INSPQ, s. d.-b). Par exemple, les morsures de certains mammifères peuvent causer la rage, alors que l'inhalation de selles ou d'urine de rongeurs dispersées dans l'air, en particulier la souris sylvestre, peut causer le SPH (virus Sin Nombre) (Drebot, Jones, *et al.*, 2015a; INSPQ, s. d.-b). La leptospirose peut aussi être transmise aux humains s'ils entrent en contact indirect avec de l'urine d'animaux infectés (p. ex., chiens, rats et rats laveurs). Les oiseaux, dont les poules et les canards, peuvent transmettre la grippe aviaire en cas de contact avec l'humain, si ce dernier touche par la suite sa bouche, son nez ou ses yeux ou respire des poussières ou des gouttelettes infectées (Bouchard *et al.*, 2017; CDC, 2017). Les souches H5N1 et H7N9 sont les formes de grippe aviaire les plus couramment observées chez l'homme, bien que d'autres soient connues.

Ces infections causent une variété de symptômes nerveux et neurologiques tels que des frissons, des maux de tête, de la fatigue, de la myalgie, des vomissements et des encéphalites. Le SPH et la grippe aviaire peuvent occasionner des symptômes respiratoires (p. ex., difficulté à respirer, insuffisance respiratoire) et mener à des infections secondaires (p. ex., pneumonie bactérienne ou virale) (CDC, 2017; Drebot, Jones, *et al.*, 2015a). Dans le cas de la rage, elle mène assurément au décès de la personne affectée à cause de la paralysie pulmonaire qu'elle provoque, alors que le SPH provoquerait le décès dans 30 à 40 % des cas à la suite d'une insuffisance pulmonaire (ASPC, 2015a; MSSS, 2018a). Pour la grippe aviaire H5N1 ou H7N9, 60 % et 40 % des cas seraient fatals, respectivement (Bouchard *et al.*, 2017). Concernant la leptospirose, dans 10 à 15 % des cas, elle entraîne une jaunisse et une insuffisance rénale ou hépatique et, dans d'autres cas, une inflammation du muscle cardiaque et une méningite (ASPC, 2019a; MAPAQ, 2015). Les animaux d'élevage peuvent également transporter des agents pathogènes nuisibles sur leur pelage (p. ex., *E. coli*, *Salmonella*, etc.).

Des auteurs ont estimé que 14 % des maladies zoonotiques aux États-Unis découlaient d'un contact avec un animal de ferme (Hale *et al.*, 2012). Néanmoins, peu de cas de maladies directement transmises par les mammifères ou les oiseaux à l'humain sont déclarés au Québec (Bouchard *et al.*, 2017). Par exemple, aucun cas de rage chez l'humain n'a été enregistré depuis 2000 (MSSS, 2018a). En date de 2015, le même constat est observé pour la grippe d'origine aviaire (Bouchard *et al.*, 2017). Pour le SPH, 1 seul cas a été déclaré et contracté au Québec de 1989 à 2014, tandis que 3 cas de leptospirose par année ont été rapportés en moyenne depuis 2006 (Drebot, Jones, *et al.*, 2015b). De plus, ces zoonoses ne seraient pas transmissibles de personne à personne, bien que ce soit possible pour la grippe aviaire et qu'une mutation d'une des souches pourrait en augmenter la contagiosité. Toutefois, ces maladies sont bien présentes chez plusieurs animaux au Québec et pourraient ainsi affecter les populations humaines, dépendamment de l'effet des changements climatiques (voir section 12.1.4 **Mammifères et oiseaux**) et d'autres facteurs anthropiques (p. ex., déforestation, étalement urbain).

12.3 Les populations à risque par rapport aux zoonoses

Les populations vulnérables aux bactéries, dont *Salmonella*, *Campylobacter*, *E. coli* et *Cryptosporidium*, se retrouvent principalement dans la section 11.3 **Les populations à risque par rapport à la pollution de l'eau et à l'insalubrité des aliments**.

12.3.1 ÂGE, SEXE, GENRE ET MALADIES CHRONIQUES

Les groupes d'âge de 5 à 9 ans et de 55 à 74 ans présentaient les incidences les plus élevées de la maladie de Lyme au Canada de 2009 à 2015 (Gasmi, Ogden, Leighton, *et al.*, 2017). Les 50-69 ans représentaient généralement le groupe d'âge avec la proportion la plus élevée des cas de maladie de Lyme (Gasmi *et al.*, 2016; Hatchette *et al.*, 2015; K. O. Johnson *et al.*, 2018; Ouhoumane *et al.*, 2018). Les personnes très âgées (plus de 75 ans) sortaient moins à l'extérieur, particulièrement dans les milieux naturels, ce qui pourrait expliquer leur prévalence moins élevée. Elles devraient toutefois être plus sensibles aux infections. Pour le VNO, une étude a conclu que le risque que se manifestent des effets neuroinvasifs tels que l'encéphalite était d'environ 2 à 3 % pour les personnes âgées de 65 ans et plus, soit un taux 16 fois plus élevé que celui observé chez les 16 à 24 ans. Pour les symptômes cardiaques pouvant être associés à la maladie de Lyme, les 20 à 30 ans et les 75 ans et plus seraient plus susceptibles d'en développer (Forrester *et al.*, 2014).

Les enfants peuvent s'exposer davantage aux zoonoses transmises par les tiques ou les moustiques puisqu'ils se protègent moins (p. ex., vêtements longs) ou se promènent dans des endroits propices aux piqûres et aux morsures (p. ex., herbes longues). Ils auraient un risque plus élevé de développer de l'arthrite, alors que les jeunes âgés de 20 à 30 ans manifesteraient davantage de symptômes neurologiques et cardiaques lorsqu'ils contractent la maladie de Lyme (Koffi et Gasmi, 2019). Pour les tiques autres qu'*I. scapularis*, les enfants de moins de 10 ans représentaient 43 % des personnes piquées de 2007 à 2015 (Gasmi *et al.*, 2018).

Les personnes affichant certaines maladies chroniques ou immunodéficientes seront aussi plus susceptibles de présenter des symptômes graves du VNO si elles sont infectées (ASPC, 2015b; Montgomery et Murray, 2015). Les auteurs d'une méta-analyse ont déterminé que l'hypertension (45 %), les maladies cardiovasculaires (26 %) et le diabète (25 %) étaient les comorbidités les plus prévalentes chez les personnes ayant eu des complications à cause du VNO (Badawi *et al.*, 2018). Les personnes avec ces maladies chroniques auraient ainsi un risque de 2 à 4 fois plus élevé de développer une infection avec des symptômes sévères. Une étude a également démontré que les personnes avec des maladies neurologiques, hypertensives ou diabétiques préexistantes seraient plus susceptibles de manifester des symptômes (p. ex., douleurs musculaires, fatigue et difficulté à se concentrer) persistant pendant plus de 6 mois (Cook *et al.*, 2010).

De plus, les hommes risquent plus de contracter des zoonoses que les femmes, étant donné qu'ils occupent des emplois extérieurs dans une plus grande proportion, principalement en milieu naturel, et passent généralement plus de temps à l'extérieur. Au Québec et au Canada, les hommes représentent de 54 à 60 % des cas de maladie de Lyme (Gasmi *et al.*, 2016, p. 20; Gasmi, Ogden, Lindsay, *et al.*, 2017; Hatchette *et al.*, 2015; Ouhoumane *et al.*, 2018). En combinant le sexe et l'âge, une étude a démontré que les hommes âgés de 65 ans et plus avaient 20 fois plus de chance de développer des complications associées au VNO que les femmes âgées de 16 à 24 ans (Petersen, Carson, *et al.*, 2013). De 1999 à 2008, les hommes aux États-Unis avaient une prévalence du VNO environ 50 % plus élevée que celle observée chez les femmes (Lindsey *et al.*, 2010). Cependant, les femmes peuvent représenter la majorité des cas certaines années, comme en 2012 au Québec (Fortin *et al.*, 2013). Cette disparité pourrait s'expliquer par une perception du risque plus élevée et

une propension plus forte à adopter des comportements préventifs, tels que le port de vêtements longs et l'utilisation d'insectifuges, chez les femmes (Koné *et al.*, 2006). Les symptômes cardiaques parfois associés à la maladie de Lyme tendraient également à être plus présents chez les hommes (Forrester *et al.*, 2014).

12.3.2 TRAVAIL EXTÉRIEUR ET RURALITÉ

Le travail extérieur, la proximité à des milieux boisés et la pratique d'activités récréatives extérieures dans la végétation sont généralement considérés comme étant des facteurs de risque amenant une plus grande exposition aux hôtes et aux vecteurs de maladies (Aenishaenslin *et al.*, 2017; Finch *et al.*, 2014; Gasmi *et al.*, 2016). Les travailleurs forestiers (p. ex., chasseurs, bûcherons, garde-chasse, guides touristiques, etc.) sont principalement exposés. En Europe, une revue de la littérature a indiqué que la séroprévalence de la maladie de Lyme chez les travailleurs forestiers variait de 5 à 60 % avec une moyenne autour de 15 %, soit approximativement de 1,6 à 10 fois la prévalence d'un groupe contrôle (Richard et Oppliger, 2015; Thorin *et al.*, 2008).

De plus, les populations rurales, particulièrement les travailleurs agricoles travaillant près d'animaux et dans des milieux naturels, sont davantage exposées à des agents pathogènes, dont les bactéries *E. coli*, *Salmonella*, *Campylobacter* et autres (LeJeune et Kersting, 2010). Cependant, pour le VNO, autant les personnes habitant en milieu urbain qu'en milieu rural sont exposées (Alexandra Chaskopoulou *et al.*, 2016; A. M. Kilpatrick *et al.*, 2010). En plus d'autres facteurs comme le climat, le risque augmente en fonction de la présence d'étendues d'eau stagnante, d'où la faible prévalence de moustiques infectés dans les milieux boisés (Giordano *et al.*, 2018; Ludwig *et al.*, 2019; Rocheleau *et al.*, 2017a). Les travailleurs des zoos ou des expositions fermières, de même que les personnes profitant de ces activités, risquent davantage d'attraper des zoonoses bactériennes (p. ex., salmonellose, campylobactériose, cryptosporidiose) en raison de leur proximité et de leurs contacts avec les animaux (Conrad *et al.*, 2017). Finalement, les propriétaires de chiens pourraient être aussi plus à risque en raison des contacts plus fréquents avec leur animal et des sorties plus fréquentes pour le promener (Bouchard *et al.*, 2015; Rocheleau *et al.*, 2017b, 2017a). Le risque serait encore plus élevé pour les propriétaires de chiens, et même de chats, laissés libres à l'extérieur et chassant les petits animaux (de Wet *et al.*, 2020).

12.4 Les mesures d'adaptation aux zoonoses

12.4.1 LES MESURES INDIVIDUELLES D'ADAPTATION AUX ZOOSES

Le port de vêtements ne couvrant pas tout le corps, le nombre d'heures passées dans un habitat typique des tiques (c.-à-d. milieux boisés, herbes longues, jardins et amas de feuilles mortes) et la densité d'arbustes aux limites de la propriété ont été associés à une plus grande probabilité de contracter la maladie de Lyme (Aenishaenslin *et al.*, 2017; Finch *et al.*, 2014). Par conséquent, la fréquentation d'endroits naturels moins propices au contact avec des tiques (p. ex., sentiers bien dégagés, plages, cours d'eau, etc.), le port de vêtements longs protecteurs (p. ex., chandail dans les pantalons, pantalons dans les bas, souliers fermés) et la coupe de la végétation longue sur la propriété ou au pourtour du terrain sont des mesures d'adaptation individuelles à considérer. Le port de vêtements protecteurs et l'utilisation régulière d'insectifuges, la vérification des tiques sur son corps et la vaporisation d'acaricide sur sa propriété ont tous démontré leur efficacité pour réduire le risque de contracter la maladie de Lyme (Bouchard *et al.*, 2019; Vázquez *et al.*, 2008). Le nettoyage des lits de feuilles avant l'été (mars-juin), en employant une racle ou un souffleur à feuilles, peut aussi diminuer de 72 à 100 % la quantité de tiques dans leur forme nymphale sur le terrain (R. P. Clark et Hu, 2008).

En plus de porter des vêtements longs de façon à faire obstacle aux morsures de tiques, des vêtements de couleur claire facilitent la détection des tiques sur soi. L'utilisation généralisée d'insectifuge à base de diéthyltoluamide (DEET), de perméthrine ou d'icaridine peut également repousser les vecteurs de maladies avec un taux d'efficacité pouvant atteindre 85 % pour prévenir les morsures de tiques (R. P. Clark *et al.*, 2008; Due *et al.*, 2013). Après une activité en milieu sauvage, vérifier la présence de tiques sur soi, prendre une douche ou un bain et laver ses vêtements sont aussi des mesures conseillées pour limiter les risques. Dans le cas où une tique serait détectée sur soi en train de se nourrir, la saisir perpendiculairement le plus près de la peau à l'aide d'une pince à pointe fine sans peser sur l'abdomen, tourner la tique et la retirer subitement diminue les chances d'infections (ASPC, 2019b; Due *et al.*, 2013; Gouvernement du Québec, 2020b). Le lavage du lieu de la morsure avec de l'eau et du savon et un antiseptique est également conseillé. Les personnes peuvent aussi tout simplement éviter les zones à risque (p. ex., milieux boisés mixtes où des hôtes comme les cerfs de Virginie se retrouvent), les excursions hors sentiers ou les périodes plus propices aux infections (fin mai à août) pour planifier leurs sorties (Ogden *et al.*, 2015).

Pour le VNO, une analyse multicritère réalisée par des experts québécois et relative à la prévention du virus a également permis de prioriser les mesures préventives les plus efficaces (Hongoh *et al.*, 2016). Au niveau individuel, le port de vêtements longs et clairs, l'inspection régulière de l'état des moustiquaires, l'élimination périodique de sites larvaires en périphérie du domicile (piscine, gouttières, seaux, etc.) et la réduction des activités extérieures lors des périodes de forte activité des moustiques ont été ciblés comme étant les stratégies les plus efficaces. Les experts consultés considéraient l'utilisation d'insecticides domestiques (p. ex., spirales, aérosols), de technologies alternatives (épandeur automatique d'insecticides, pièges électriques), la vaccination et le statu quo comme étant peu efficaces ou propices à créer des inégalités comparativement aux autres mesures.

Concernant les zoonoses transmises par un contact avec un animal, le port de vêtements de protection (p. ex., vêtements longs, gants, bottes) ainsi que le lavage des mains et des vêtements constituent des mesures pouvant réduire substantiellement le risque de transmission (Conrad *et al.*, 2017; Hale *et al.*, 2012). Le lavage régulier des outils ou des surfaces en contact avec les animaux et l'utilisation de protection pour leur utilisation sont aussi avisés. Toute personne ayant touché à un animal, comme dans les foires agricoles, peut se laver les mains directement après le contact et éviter de se toucher le visage pour diminuer le risque. L'évitement des contacts avec des animaux constitue une autre solution pour diminuer le risque d'infection. Quant aux propriétaires d'animaux de compagnie, ils peuvent laver régulièrement leur animal, minimiser les sorties à l'extérieur non supervisées de leur compagnon ou éviter (pour le propriétaire et l'animal) les milieux ou les activités propices à la contamination, comme les baignades dans les eaux stagnantes ou les promenades dans les herbes longues (Aenishaenslin *et al.*, 2017; Bouchard *et al.*, 2015; Conrad *et al.*, 2017). La vaccination contre la rage, du chien ou de l'individu, élimine également toute possibilité de contracter la maladie étant donné sa grande efficacité (MSSS, 2019d). Le contrôle des populations de rongeurs dans le logement ou à proximité pourrait potentiellement diminuer la possibilité de maladies transmises par ces petits mammifères, comme le SPH.

12.4.2 LES MESURES POPULATIONNELLES ET INSTITUTIONNELLES D'ADAPTATION AUX ZONOSSES

Sensibilisation

Les facteurs d'adoption de comportements préventifs pour la maladie de Lyme incluent le niveau de connaissances sur la maladie, la probabilité perçue d'être mordu, la capacité perçue à retirer les tiques, l'efficacité perçue des mesures préventives et une répugnance moins forte par rapport aux tiques (Aenishaenslin, Michel, Ravel, Gern, Milord, *et al.*, 2015; Mowbray *et al.*, 2014). Certaines études ont démontré que les campagnes d'information peuvent accroître les connaissances quant à

la maladie de Lyme (le mode d'infection, la façon de s'habiller pour se protéger) ainsi que favoriser la mise en œuvre de mesures d'adaptation telles que l'évitement des milieux boisés, la vérification des tiques sur soi après une activité dans le bois et le nettoyage des lits de feuilles sur le terrain (Mowbray *et al.*, 2012). Les campagnes répertoriées incluaient des sessions d'information publique, une rencontre face-à-face avec son médecin sur le sujet, un programme interactif adapté aux jeunes enfants ainsi que des campagnes intensives d'éducation comportant des brochures, une couverture médiatique et des présentations à des conférences.

L'ASPC a mis sur pied en 2014 une campagne de 3 ans de marketing social sur la maladie de Lyme et les façons de s'en protéger (ASPC, 2019b). Elle incluait des publicités sur les médias sociaux et la télévision, des informations complètes sur son site Internet, un partenariat avec Parcs Canada pour étendre la portée des messages, des formations de professionnels de la santé et de certains secteurs plus touchés (p. ex., foresterie) ainsi que des guides. Des auteurs ont évalué que la campagne avait accru les connaissances dans la population sur la plupart des symptômes de la maladie de Lyme, son mode de transmission et les mesures préventives reliées dans les provinces de l'Ontario, des Prairies et de la Colombie-Britannique (Aenishaenslin *et al.*, 2016). En revanche, les résultats pour la province de Québec et les Maritimes étaient plus mitigés pour les personnes ayant déjà entendu parler de la maladie de Lyme avant la campagne. Au Québec, aucun changement significatif n'a été observé après la campagne de l'ASPC pour la connaissance des symptômes, de la période de risque et des mesures préventives spécifiques à adopter en lien avec la maladie de Lyme. D'un autre côté, le nombre de personnes n'ayant jamais entendu parler de la maladie de Lyme est passé de 50 % à 33 % au cours de cette période. De plus, le nombre de personnes connaissant 6 des 7 mesures préventives proposées avait augmenté de 62 à 70 % chez les personnes ayant déjà entendu parler de la maladie de Lyme avant la campagne.

Néanmoins, la connaissance des mesures à adopter pour se protéger de la maladie de Lyme ne signifie pas qu'elles seront appliquées. Un sondage réalisé en 2014 auprès de 826 résidents du Québec a démontré que seulement 29 % et 57 % des personnes conscientes des conséquences de la maladie de Lyme vérifiaient la présence de tiques sur elles après une excursion extérieure et portaient des vêtements longs lors de leurs escapades en milieu naturel (voir **Tableau 8**) (Aenishaenslin *et al.*, 2017). Ce sondage a aussi montré que l'adoption de mesures d'adaptation chez les personnes ayant entendu parler de la maladie de Lyme est semblable au Québec et dans l'ensemble des provinces canadiennes (± 6 %), exception faite de deux mesures. Presque 2 fois moins de personnes sensibilisées vérifiaient la présence de tiques sur soi après une excursion (29 % contre 52 %), alors que les Québécois sensibilisés étaient plus enclins à rester sur les sentiers battus que dans l'ensemble des provinces canadiennes (61 % contre 35 %). La compréhension des facteurs menant à l'adoption de comportements préventifs et à la modulation conséquente des messages aideraient fortement à maximiser l'efficacité de ces campagnes. De plus, le ciblage des jeunes (0-34 ans), des hommes et des personnes âgées pourrait être envisagé puisqu'ils sont généralement moins informés sur la maladie de Lyme, ou y sont plus sensibles que leur contrepartie (Aenishaenslin *et al.*, 2017; Aenishaenslin, Michel, Ravel, Gern, Milord, *et al.*, 2015; Gasmi *et al.*, 2016). Cependant, une simulation réalisée en Montérégie a conclu que la prévalence des comportements préventifs dans la population avait peu d'incidence sur le risque de contracter la maladie de Lyme, à l'inverse de la densité de tiques (Bouchard *et al.*, 2018).

Tableau 8 Sensibilisation et mesures d'adaptation adoptées au Québec et dans l'ensemble des provinces canadiennes par rapport à la maladie de Lyme selon un sondage pancanadien

Éléments évalués	Québec	Ensemble des provinces canadiennes
Niveau de sensibilisation		
Personnes n'ayant jamais entendu parler de la maladie de Lyme	33 %	12 %
Niveau élevé de connaissances chez les personnes ayant entendu parler de la maladie de Lyme	70 %	78 %
Mesures d'adaptation chez les personnes ayant entendu parler de la maladie de Lyme		
Vérifier la présence de tiques sur soi et les enlever	29 %	52 %
Porter des vêtements longs couvrant l'ensemble des jambes	57 %	50 %
Utiliser des insectifuges avec du DEET sur sa peau ou ses vêtements	47 %	41 %
Tondre régulièrement le gazon sur sa propriété	62 %	65 %
Prendre une douche ou un bain après une excursion dans un milieu boisé	44 %	41 %
Enlever ou amasser les résidus de feuilles sur son terrain	41 %	38 %
Rester sur les sentiers battus dans les milieux boisés	61 %	35 %
Éviter les milieux boisés lors des périodes à plus haut risque	10 %	7 %
Installer des barrières pour empêcher les chevreuils de circuler sur son terrain	2 %	7 %
Épandre des pesticides sur son terrain	2 %	4 %

Source : Aenishaenslin *et al.*, 2017.

Les municipalités constituent un autre groupe d'acteurs qui pourrait être visé par des campagnes de sensibilisation soulignant le rôle important qu'elles peuvent jouer en prévention de la maladie de Lyme. Certains représentants municipaux peuvent percevoir qu'ils ne sont pas en mesure d'agir pour combattre la maladie de Lyme (et d'autres aléas), même s'ils en ont les capacités ou s'ils perçoivent que la maladie est un problème auquel il faut faire face (Jacob *et al.*, 2019). Le manque de connaissances quant aux mesures d'adaptation à la maladie de Lyme peut aussi faire en sorte qu'elles ne mettent pas en place ces mesures, même si elles en ont la capacité. De plus, les représentants municipaux peuvent percevoir que la prévention de la maladie de Lyme est du ressort de l'individu et des autorités de santé, alors que plusieurs mesures structurelles peuvent être implantées de leur côté (voir section 12.4.3 **Les mesures physiques d'adaptation aux zoonoses**).

Soins cliniques

La formation ou la sensibilisation des professionnels de la santé aux différentes manifestations et mesures de protection associées aux zoonoses pourrait diminuer les conséquences reliées, puisqu'un traitement rapide atténue ou annule dans certains cas les effets néfastes sur la santé pouvant survenir (Bratton *et al.*, 2008; Cameron *et al.*, 2014; R. P. Clark *et al.*, 2008; Drebot, 2015; Petersen, Brault, *et al.*, 2013). Plusieurs antibiotiques tels que la doxycycline et la ceftriaxone ont démontré leur efficacité pour traiter les maladies transmises par les tiques, dont la maladie de Lyme,

la babésiose et l'anaplasmose (Sanchez *et al.*, 2016). Dans le cas de la maladie de Lyme, des traitements préventifs peuvent être administrés lorsque le client correspond à certains critères (p. ex., excursion dans une zone avec au moins 20 % de tiques infectées, tique attachée au moins 36 heures à l'individu, administration moins de 72 heures après le retrait de la tique, etc.) (Gasmi, Ogden, Leighton, *et al.*, 2017). Pour la période 2015-2065, une évaluation économique a conclu qu'il en coûterait seulement 45 millions en dollars canadiens de 2012 à la société et au gouvernement québécois si tous les cas de maladie de Lyme étaient décelés rapidement, contrairement à 1,9 milliard si ceux-ci étaient détectés tardivement (Larrivée *et al.*, 2015).

Pour la maladie de Lyme, le manque de connaissances chez les professionnels de la santé peut mener au recours systématique aux tests sérologiques ou à l'analyse des tiques pour le diagnostic, ce qui peut surcharger les laboratoires et retarder le traitement de la maladie, alors que la manifestation de l'érythème migrant assure le diagnostic (Cécile Ferrouillet *et al.*, 2015). À ce titre, des auteurs se sont penchés sur les pratiques de médecins généralistes concernant le diagnostic et le traitement de la maladie de Lyme auprès d'un échantillon d'une cinquantaine de patients (Gasmi, Ogden, Leighton, *et al.*, 2017). Ils ont conclu que 63 % des érythèmes migrants étaient mal diagnostiqués et que 56 % des tests sérologiques demandés étaient inutiles. De plus, la quasi-totalité des traitements antimicrobiens préventifs a été prescrite aux patients alors qu'ils ne correspondaient pas aux 4 critères recommandés de prescription. D'un autre côté, dans l'ensemble, les médecins généralistes ont prescrit adéquatement les traitements antimicrobiens lorsque les symptômes de la maladie de Lyme se manifestaient. Ces pratiques peuvent représenter des coûts pour le système de santé (tests, médicaments), en plus d'affecter la santé des patients (surprescription d'antibiotiques). Une autre étude réalisée en 2014 a démontré que de 50 à 72 % d'un échantillon de 201 médecins de famille avaient des connaissances suffisantes pour diagnostiquer l'érythème migrant et le traiter, le pourcentage étant plus élevé en Montérégie, où la maladie de Lyme est endémique (Cécile Ferrouillet *et al.*, 2015). Ces études semblent indiquer que la sensibilisation des professionnels de la santé est encore perfectible.

Pour le VNO, il est évalué que près du tiers des cas a été omis en 2012 lors de tests sanguins puisque les professionnels de la santé ne demandent pas toujours un test de détection du virus quand un patient montre des symptômes d'encéphalite (Delage *et al.*, 2017). Les symptômes du VNO ne sont pas spécifiques, d'où l'utilité de procéder à ces tests pour garantir le bon diagnostic (Ludwig *et al.*, 2019; Petersen, Brault, *et al.*, 2013). Néanmoins, aucun traitement antiviral n'existe pour le VNO et la plupart des maladies virales transmises par les moustiques, même si le diagnostic peut aider au traitement des symptômes et à surveiller l'incidence de la maladie.

Approche intégrée et surveillance

L'[Observatoire multipartite québécois sur les zoonoses et l'adaptation aux changements climatiques](#) a été mis sur pied avec l'implication de partenaires provenant de disciplines de santé humaine et animale ainsi que des sciences environnementales. Il vise à documenter et à anticiper les problématiques de zoonoses au Québec selon une vision « Une seule santé » dans un contexte de changements climatiques. Les travaux de l'Observatoire ont permis de prioriser certaines zoonoses au Québec, incluant la maladie de Lyme, le VNO, la rage, le SPH et l'influenza aviaire (A. Simon *et al.*, 2018). Cette structure vient pallier un manque souvent relevé dans la littérature, soit la non-prise en compte ou la compréhension fragmentaire des changements climatiques et écologiques dans l'évaluation du risque des zoonoses (Cécile Ferrouillet *et al.*, 2012; Giordano *et al.*, 2018; Kulkarni *et al.*, 2015; Ludwig *et al.*, 2019). Complémentairement, un comité d'experts a construit un modèle de priorisation en fonction de 21 critères sanitaires, environnementaux, opérationnels, sociaux et économiques quant aux interventions relatives aux maladies vectorielles afin d'adopter une approche intégrée de prévention et de gestion des risques en la matière (Hongoh *et al.*, 2017).

Le gouvernement du Québec a mis en place en 2013 son [Plan d'intervention gouvernemental 2013-2015 pour la protection de la population contre le virus du Nil occidental](#) (MSSS, 2013). Le plan prévoyait un système de surveillance animale, entomologique et humaine en plus de l'épandage préventif de larvicides et d'une stratégie de communication destinée à la population et au réseau de la santé et des services sociaux. Héma-Québec assure également la surveillance des dons de sang pour plusieurs zoonoses, dont le VNO et les autres arbovirus (A.-M. Lowe, 2016). Malgré certains avancements importants, plusieurs éléments permettaient d'améliorer la structure de surveillance. Entre autres, une plus grande intégration des systèmes de surveillance hydrique, entomologique, animale et phytologique (p. ex., produits agricoles destinés à la consommation) pourrait aussi permettre de faire davantage de liens entre les différentes zoonoses d'origine vectorielle, hydrique, alimentaire ou autres, afin d'approfondir l'approche « Une seule santé » (Lake *et al.*, 2018). Par exemple, une analyse coûts-efficacité en Californie a déterminé que la vigie des oiseaux morts retrouvés par le public et des autres oiseaux domestiques (p. ex., poulets, dindes), accompagnée d'une forte densité de stations d'échantillonnage pour les moustiques, optimiserait les coûts d'implantation et la prédiction des cas pour la surveillance du VNO en comparaison avec un scénario de faible densité d'échantillon (Healy *et al.*, 2015).

Une surveillance accrue de tiques autres qu'*I. scapularis* ou d'autres moustiques que *C. pipiens* dans le programme de surveillance entomologique du Québec permettrait de mieux suivre la progression et le potentiel de contracter les maladies transmises par ces espèces (Gasmi *et al.*, 2018; Ripoche *et al.*, 2019). La surveillance humaine, entomologique ou animale en continu des arbovirus, dont les virus du séro-groupe Californie, donnerait un portrait plus clair de la prévalence de ces virus émergents au Québec et au Canada (Ludwig *et al.*, 2019). Cette prévalence est probablement sous-estimée puisque les symptômes de ces arbovirus peuvent être confondus avec ceux du VNO ou d'autres maladies plus connues. Le développement d'un kit commercial pour les maladies zoonotiques moins communes et l'amélioration de la sensibilité et de la spécificité des tests sérologiques pour les zoonoses constitueraient d'autres avenues pour avoir de meilleures estimations du nombre de cas et du risque qu'elles représentent (Drebot, 2015; Kulkarni *et al.*, 2015).

Les données de surveillance pourraient être utilisées en vigie pour coordonner les mesures d'adaptation et les implanter au moment opportun. Au Québec, la surveillance passive de tiques, soit la soumission volontaire de tiques trouvées sur des individus ou des animaux par des cliniques médicales ou vétérinaires, serait plus efficace pour prédire le nombre de cas de maladie de Lyme dans une municipalité comparativement à la surveillance active, soit l'échantillonnage de tiques dans l'environnement, directement ou par l'intermédiaire de rongeurs (Ripoche *et al.*, 2018). Des auteurs ontariens ont établi une association importante entre le nombre cumulé de pools de moustiques étant positifs au VNO et la résurgence de cas humains plus tard dans l'année (Giordano *et al.*, 2017). Dans cet exemple, le nombre cumulé à la 34^e semaine de l'année (mi-août) prédisait très fortement le nombre de cas humains. Ce type de modèle pourrait être utilisé pour mettre en place au moment opportun des mesures d'adaptation telles que les campagnes d'information, d'épandage de larvicides et d'assèchement des bassins stagnants. Certains outils technologiques, comme les applications mobiles (p. ex., <https://www.etick.ca>), peuvent également être utilisés pour localiser les tiques selon les données fournies par la population (CCNSE, 2020).

Vaccination humaine

Aucun vaccin efficace n'existe pour le VNO, les virus du séro-groupe Californie, les hantavirus et les virus de Cache Valley (Drebot, Jones, *et al.*, 2015a; Ludwig *et al.*, 2019; Petersen, Brault, *et al.*, 2013). Un vaccin contre la rage existe néanmoins et peut être administré à certaines populations plus à risque (MSSS, 2019d). Pour la maladie de Lyme, des vaccins ont été testés avec un certain succès, mais un seul a été commercialisé et a été retiré du marché à cause de son coût élevé, de son

efficacité mitigée et des craintes quant à ses effets secondaires potentiels (Paules *et al.*, 2018). Selon une revue de la littérature sur le sujet, les personnes vaccinées auraient 60 % moins de chance de développer la maladie de Lyme, même si les études notent également une probabilité non négligeable d'effets secondaires, comme la rougeur à l'endroit de la piqûre (2,2 % à 17,7 %) et la fièvre (0,7 % à 2 %) (Badawi *et al.*, 2017). En plus de la sensibilisation de la population, l'augmentation de l'efficacité du vaccin de même qu'une diminution des coûts et du risque d'effets secondaires pourraient en faire une option viable et acceptable socialement (Badawi *et al.*, 2017; Kaaijk et Luytjes, 2016). La vaccination des hôtes à partir de stations d'appâts alimentaires est une autre option envisageable. Plusieurs options de vaccination pour les maladies transmises par les tiques ont démontré une bonne efficacité d'immunisation auprès de différents hôtes (p. ex., souris et autres rongeurs, ruminants) (de la Fuente *et al.*, 2017). L'efficacité des stations d'appâts a déjà été démontrée pour la rage, mais elle reste encore à déterminer pour les autres types de zoonoses (Gomes-Solecki, 2014).

Pour la maladie de Lyme, même dans le cas où elle était possible, la vaccination humaine n'est pas considérée comme une option préférable à d'autres, plus rentables et plus simples à implanter (Hongoh *et al.*, 2016; Petersen, Brault, *et al.*, 2013). Pour les autres virus, leur faible prévalence ne justifierait pas non plus de campagnes de vaccination, alors que le port d'équipements de protection est souvent suffisant pour éliminer ou diminuer fortement le risque. Néanmoins, l'administration d'un vaccin pourrait s'avérer utile si quelques populations particulièrement à risque étaient ciblées, dépendamment du coût et de l'efficacité du vaccin (Shankar *et al.*, 2017).

12.4.3 LES MESURES PHYSIQUES D'ADAPTATION AUX ZONOSSES

Contrôle des populations

Une analyse multicritères regroupant des experts sur le VNO a mis en lumière qu'ils privilégiaient l'utilisation de larvicides aux adulticides (insecticides efficaces pour les espèces adultes de moustiques seulement), à la dissémination de moustiques mâles stériles et à l'emploi d'agents pathogènes visant à éliminer les moustiques (Hongoh *et al.*, 2016). Néanmoins, une revue de la littérature a conclu que les preuves scientifiques quant à l'efficacité des adulticides pour diminuer la transmission de cas de VNO dans la population étaient plus solides que dans le cas des larvicides (A. Chaskopoulou *et al.*, 2020). Quelques études aux États-Unis ont indiqué que l'épandage aérien ciblé d'insecticides (p. ex., pyrèthrine, organophosphate) à faible dose diminuait suffisamment les quantités de moustiques pour limiter le nombre de cas de VNO dans la population, tout en conservant une exposition aux insecticides inférieure aux seuils prescrits par les agences gouvernementales (Duprey *et al.*, 2008; Lothrop *et al.*, 2008; Macedo *et al.*, 2010). Quant aux tiques, certaines études ont suggéré que l'utilisation d'acaricides à petite (terrain privé) et plus grande échelles a prouvé son efficacité pour anéantir les populations de tiques jusqu'à 3 mois après l'application (R. P. Clark *et al.*, 2008; Dolan *et al.*, 2004; Pelletier *et al.*, 2020). Cependant, l'épandage de produits chimiques tels que les larvicides a une faible acceptabilité sociale comparativement à d'autres mesures (Aenishaenslin, Michel, Ravel, Gern, Waaub, *et al.*, 2015). Les insecticides peuvent également décimer les populations d'autres insectes bénéfiques, susciter le développement d'une résistance dans les populations de vecteurs et causer des problèmes de santé chez l'humain s'ils sont mal utilisés. Dans tous les cas, l'épandage d'insecticides ne semble pas suffisant à lui seul pour réduire radicalement le risque de VNO et devrait donc être combiné à d'autres mesures (A. Chaskopoulou *et al.*, 2020)

La manipulation génétique de certaines espèces transmettant des zoonoses peut également être utilisée afin de diminuer leur infectiosité, par exemple en inhibant la réplication des agents pathogènes transmissibles à l'humain. Pour les moustiques, ce type de manipulation pourrait viser une diminution de la reproduction de certains hôtes ou vecteurs plus problématiques, une espérance de vie limitée au stade non infectieux ou une augmentation de la proportion de moustiques mâles, qui ne transmettent pas la maladie (Okamoto *et al.*, 2016). Cependant, cette avenue pourrait avoir comme effet collatéral de perturber les écosystèmes, et l'efficacité de ces mesures est variable selon plusieurs experts (Hongoh *et al.*, 2016; Petersen, Brault, *et al.*, 2013). La chasse de certaines populations d'hôtes de zoonoses, comme les cerfs de Virginie pour la maladie de Lyme, pourrait aussi perturber le cycle de transmission (H. J. Kilpatrick *et al.*, 2014). Toutefois, cette mesure peut être coûteuse, perturber des écosystèmes et afficher une faible acceptabilité sociale, puisqu'elle exige une réduction substantielle des populations pour être efficace (Ogden *et al.*, 2015).

Finalement, des stations d'appâts alimentaires équipées d'un distributeur automatique d'acaricide topique peuvent être installées près des endroits habités afin de protéger les mammifères contre les morsures de tiques. Aux États-Unis, une étude réalisée dans 5 États du nord-est a démontré que l'installation de 7 stations de ce type pour les chevreuils sur une superficie de 5,14 km² avait diminué de 71 % les populations de tiques dans leur forme nymphale, de même que le risque d'attraper la maladie de Lyme après une période de 6 ans (Brei *et al.*, 2009). Des résultats similaires ont été observés pour des stations d'appât aspergeant la souris à pattes blanches, où les populations de tiques infectées par les bactéries causant la maladie de Lyme et l'anaplasmose ont été réduites de 67 % et de 64 % respectivement après 2 ans (Dolan *et al.*, 2004). Des acaricides oraux plutôt que topiques pourraient également être utilisés. Une étude menée auprès d'un échantillon de 87 souris ayant ingéré un acaricide oral (fluralaner : 50 mg/kg) a conclu que 97 % des larves (*I. scapularis*) attachées aux souris étaient mortes 2 jours après le traitement (Pelletier *et al.*, 2020). L'effet disparaissait toutefois lorsque les tiques étaient placées 28 jours et 45 jours après l'ingestion de l'acaricide.

Cependant, d'autres auteurs en sont arrivés à des résultats beaucoup moins probants avec des réductions de populations de tiques nymphales allant parfois en dessous de 10 % à la suite de l'installation de ce type de stations (Grear *et al.*, 2014; Ogden *et al.*, 2015). Leur nombre, leur emplacement et les différences dans le cycle d'infection (p. ex., infections transmises davantage par les rongeurs ou les oiseaux que les chevreuils) pourraient expliquer ces résultats disparates. De plus, ces stations peuvent favoriser la transmission d'autres maladies infectieuses dans les populations animales en favorisant le contact par un attroupement autour des stations (Sorensen *et al.*, 2014).

Végétation et aménagement du territoire

Les mesures de verdissement et de promotion de l'activité physique promues par la santé publique pourraient malencontreusement contribuer à accroître l'exposition à certaines zoonoses vectorielles (Ogden, 2016). Les arbres, et les feuilles qu'ils laissent au sol, peuvent constituer des habitats pour les hôtes (p. ex., oiseaux, souris) et les vecteurs de ces maladies. Quant aux toits verts, ils ne seraient pas nécessairement propices à l'établissement de moustiques toutefois, dépendamment de leur composition, étant donné leur hauteur (Wong et Jim, 2016). Le choix des espèces de plantes dans le périmètre urbain importe également. Par exemple, certaines espèces de plantes créent des habitats plus propices à l'établissement de tiques (p. ex., épine-vinette du Japon) ou aux interactions avec les humains (p. ex., les herbes longues ou les arbustes facilitent le contact entre une tique et un individu) (Clow *et al.*, 2017; S. C. Williams et Ward, 2010). D'autres constituent des options de nourriture moins attirantes pour les chevreuils (p. ex., gazon, fougères, conifères) et peuvent donc diminuer l'exposition aux tiques et leur expansion territoriale (Ogden *et al.*, 2015). La gestion des espèces envahissantes pourrait également avoir comme co-bénéfice de réduire l'habitabilité des

milieux naturels ou semi-anthropiques pour les tiques ou les moustiques (p. ex., le chèvrefeuille favorise la reproduction de *C. pipiens*), bien qu'elle puisse aussi occasionner l'effet inverse, dépendamment des plantes en compétition (Gardner *et al.*, 2015, 2017). Certaines plantes sont plus propices à la reproduction de ces vecteurs (p. ex., décomposition plus rapide du feuillage, forte densité et diversité bactérienne sur les feuilles) ou à l'établissement de compétiteurs, alors que d'autres peuvent constituer des pièges écologiques (c.-à-d. une plante attirant irrésistiblement un vecteur même si elle constitue un habitat médiocre pour sa survie) pour les vecteurs comme les moustiques (Gardner *et al.*, 2015, 2017).

L'entretien des espaces publics, en enlevant les résidus de feuilles et les herbes de moyenne taille près des sentiers, peut aussi réduire la prolifération des tiques et le risque de transmission dans les zones d'exposition. La tonte des plantes dans les bassins de rétention pourrait être réalisée hors des périodes à plus haut risque de transmission de maladies par les moustiques (tôt au printemps ou tard en automne) afin d'éviter de créer des résidus organiques favorables à la reproduction des moustiques (Allan, 2015; Mackay *et al.*, 2016). Ces bassins pourraient aussi être végétalisés avec des plantes exigeant aucun ou moins d'entretien. Le brûlage dirigé en bordure des zones forestières constitue une autre option ayant démontré une certaine efficacité pour diminuer les populations de tiques, mais cette procédure doit être réalisée de façon répétée puisque l'effet est éphémère et très localisé, sans compter qu'elle peut avoir des répercussions écologiques et que la fumée produite peut nuire à la santé (Gleim *et al.*, 2019; A. White et Gaff, 2018). Les pâturages seraient aussi moins propices à la propagation de la maladie de Lyme, car les ruminants gardent la végétation basse et ne peuvent transmettre la bactérie, en plus de l'espace ouvert qui n'est pas favorable aux tiques et à la circulation de certains hôtes potentiels (p. ex., cerfs). Néanmoins, les terres agricoles et les milieux périurbains pourraient être plus propices à la transmission du VNO à l'humain et au chien (Rocheleau *et al.*, 2017a).

En milieu rural ou périurbain, l'implantation de barrières physiques pour les chevreuils ou certains rongeurs sur lesquelles les tiques *I. scapularis* infectées peuvent s'accrocher pourrait limiter l'exposition à la maladie de Lyme (H. J. Kilpatrick *et al.*, 2014). Il s'agit toutefois d'une mesure exigeant de couvrir une bonne superficie pour être efficace, alors que les coûts d'implantation et d'entretien associés peuvent être substantiels à cette échelle. En milieu urbain, la perméabilisation des sols pourrait diminuer l'accumulation d'eaux stagnantes, qui s'infiltreraient dans le sol plutôt que de ruisseler vers des bassins, en plus de filtrer certains polluants ou nutriments (p. ex., phosphore, nitrate) propices à la prolifération de moustiques (Allan, 2015; Hanford *et al.*, 2019; Ruiz *et al.*, 2010). Dans tous les cas, une meilleure gestion des eaux de pluie, en les déversant dans des cours d'eau en mouvement ou des bassins de rétention hors de portée des moustiques ou loin de la population, peut diminuer la prolifération des moustiques (Yiyuan Wang *et al.*, 2017). L'implantation dans les bassins de rétention de dispositifs capables de brasser les eaux ou de créer des vagues (p. ex., système d'aération) réduit également la viabilité de ces milieux pour les moustiques.

Même si plusieurs mesures d'aménagement du territoire permettent de diminuer la propagation de la maladie de Lyme, un sondage mené auprès de 820 municipalités a indiqué qu'une minorité d'autorités municipales a implanté de telles mesures (Jacob *et al.*, 2019). La sensibilisation des municipalités aux risques que pose la maladie de Lyme et aux actions qu'elles peuvent implanter permettrait d'accroître leur perception du risque et de contrôle afin d'augmenter la probabilité qu'elles agissent en ce sens. Cette sensibilisation est importante puisque les actions territoriales à grande échelle à la portée des municipalités présentent une plus grande efficacité que les actions à l'échelle des propriétés individuelles (Ogden *et al.*, 2015; Piesman et Eisen, 2008).

13 Rayons ultraviolets

13.1 Les effets des changements climatiques sur les tendances et les projections de rayons ultraviolets

Les changements dans l'ozone stratosphérique et le couvert nuageux pourraient mener à une diminution des radiations UV ambiantes, particulièrement dans les latitudes nordiques. Il est projeté que le couvert nuageux augmente avec les années au nord du 50° parallèle et diminue conséquemment la quantité de rayons UV atteignant la surface terrestre (Bais *et al.*, 2015). L'effet dans le sud du 50° parallèle, qui concerne la très grande majorité des Canadiens, est plus incertain. Certaines preuves scientifiques suggèrent que la quantité d'UV pourrait légèrement diminuer ou demeurer inchangée à court terme, mais qu'elle pourrait augmenter au cours de la seconde moitié du siècle (2050-2100) en raison d'une réduction du couvert nuageux (Bais *et al.*, 2018; Eleftheratos *et al.*, 2020). Par exemple, des auteurs ont estimé que le niveau d'irradiance d'UV-B dommageable pour l'ADN s'accroîtrait de 1,3 % par décennie après 2050 dans les latitudes moyennes (Europe centrale) (Eleftheratos *et al.*, 2020).

Dans les latitudes moyennes (sud du Canada), l'accroissement des émissions de GES devrait stimuler la formation d'ozone dans les couches moyennes et supérieures de la stratosphère, bien que des températures plus élevées puissent décroître la formation d'ozone dans la couche inférieure (Bais *et al.*, 2015). La réflectance solaire au niveau du sol ainsi que les concentrations d'aérosols et de NO_x affectent également le rayonnement UV. Dans le nord du Canada, le réchauffement des températures diminuera la réflectance solaire au niveau du sol et le rayonnement UV en réduisant le couvert de neige et de glace (Bais *et al.*, 2015, 2018). La réduction projetée des concentrations anthropogéniques de certains polluants atmosphériques et d'aérosols augmentera autrement l'intensité des UV, puisque ces polluants les bloquent partiellement.

Ainsi, le niveau d'exposition aux UV dans le sud du Canada devrait rester en dessous des niveaux observés de 1960 jusqu'à la fin du 21^e siècle, principalement à cause du rétablissement de la couche d'ozone (Bais *et al.*, 2015, 2018). Dans le nord du Canada, le rayonnement UV pourrait être réduit de 5 à 10 % d'ici 2100 à cause des changements dans le couvert nuageux et les concentrations d'ozone stratosphérique (Bais *et al.*, 2015). Néanmoins, le niveau d'incertitude de ces projections est très élevé et celles-ci ne tiennent pas compte de l'effet des variations prévues de la réflectance solaire terrestre et des concentrations d'aérosols. De plus, les comportements risqués d'exposition au soleil, tels qu'une augmentation du temps passé à l'extérieur et le port de vêtements offrant peu de protection solaire, tendent à s'accroître lorsque les températures se réchauffent (Pinault et Fioletov, 2017; Zivin *et al.*, 2014). Les changements climatiques pourront provoquer des changements dans les mouvements des populations et, en conséquence, dans l'exposition aux UV (Jablonski et Chaplin, 2012). Ainsi, l'effet net de tous ces facteurs sur l'intensité et le niveau d'exposition futurs aux UV est difficile à déterminer.

13.2 Effets des rayons ultraviolets sur la santé

13.2.1 CANCER DE LA PEAU ET PROBLÈMES OCULAIRES

Une surexposition aux UV est la principale cause de cancer de la peau. L'OMS a classifié les UV comme un élément cancérigène de catégorie 1 (c.-à-d. cancérigène chez l'humain, avec preuves scientifiques suffisantes) (IARC, 1992). Il y a 3 types de cancer de la peau : le carcinome basocellulaire, le carcinome squameux et le mélanome malin. Ce dernier peut être fatal s'il n'est pas

traité rapidement, alors que les carcinomes basocellulaires et squameux causent rarement la mort, puisqu'ils progressent lentement et ne se propagent généralement pas aux autres parties du corps (Schmitt *et al.*, 2011; Watson *et al.*, 2016; F. Xiang *et al.*, 2014). Le risque de développer un mélanome malin a été associé à l'exposition aux UV ambiants dans plusieurs pays, dont le Canada (Pinault, Bushnik, *et al.*, 2017; Watson *et al.*, 2016). L'exposition aux UV et l'incidence des cancers de la peau s'aggravent plus les températures augmentent (Freedman *et al.*, 2015; Kaffenberger *et al.*, 2017; Kimeswenger *et al.*, 2016). Par exemple, il a été estimé qu'une augmentation de 2 °C accroîtrait annuellement de 10 % le nombre de cancers de la peau (Kaffenberger *et al.*, 2017; van der Leun *et al.*, 2008).

De surcroît, les UVA peuvent entraîner un vieillissement prématuré de l'œil, contribuant ainsi à l'apparition de cataractes (Bais *et al.*, 2018; Delic *et al.*, 2017; Ivanov *et al.*, 2018; Yam et Kwok, 2014). Une exposition répétée peut également mener au développement de cellules cancéreuses cutanées autour de l'œil, de croissances précancéreuses de la sclère, de cancer conjonctival et de mélanomes intraoculaires (Bais *et al.*, 2018; Ivanov *et al.*, 2018; Yam *et al.*, 2014). La perte de vision causée par la dégénérescence maculaire est occasionnée essentiellement par une exposition prolongée à la lumière bleue qui est émise par une multitude de sources électroniques (écrans d'ordinateur, téléphones intelligents, etc.), en addition du soleil (Bais *et al.*, 2018; Ivanov *et al.*, 2018). Les UV peuvent aussi provoquer des conjonctivites et des lésions temporaires à la cornée (Delic *et al.*, 2017; Yam *et al.*, 2014).

13.2.2 EFFETS SUR LA SANTÉ EN LIEN AVEC LA VITAMINE D

Malgré ses effets délétères, l'exposition aux UV du soleil est la source la plus importante de vitamine D chez l'humain. Une concentration sanguine suffisante de vitamine D est nécessaire pour éviter ou retarder le développement de problèmes osseux tels que le rachitisme, l'ostéomalacie et l'ostéoporose (R. Lucas, 2010; Ross *et al.*, 2011). La vitamine D joue également un rôle important dans les fonctions immunitaires et la production des cellules sanguines (Pludowski *et al.*, 2013). Néanmoins, les recherches ont démontré que la plupart des habitants des latitudes plus nordiques ne pouvaient produire suffisamment de vitamine D de source solaire pendant les mois hivernaux (V. E. Fioletov *et al.*, 2010; Hoseinzadeh *et al.*, 2018). Au Canada, en 2009, 10 % de la population souffrait d'une carence en vitamine D et 32 % avaient une concentration sanguine sous-optimale pour la santé osseuse, ces pourcentages augmentant de façon importante pendant les mois hivernaux (Janz et Pearson, 2013; Rucker *et al.*, 2002; Vieth *et al.*, 2001). La carence en vitamine D a été associée à une augmentation de la fragilité osseuse chez les personnes âgées (Wilhelm-Leen *et al.*, 2010) et à un risque accru de mortalité dans la population (Lindqvist et Landin-Olsson, 2017; Pludowski *et al.*, 2013; Zittermann *et al.*, 2012). Une étude a même évalué qu'une hausse de 57 % de la concentration moyenne de vitamine D dans la population canadienne aurait pu réduire le taux de mortalité de 16 % en 2005 (Grant *et al.*, 2010). Sur le plan de la santé mentale, une carence en vitamine D a été associée à une détérioration des fonctions cognitives de même qu'à une augmentation du risque de dépression et de développer la maladie d'Alzheimer (Anglin *et al.*, 2013; Balion *et al.*, 2012; Pludowski *et al.*, 2013).

Certaines études ont également suggéré que la vitamine D affecterait l'incidence du diabète de type 2, de l'obésité, de syndromes métaboliques et de cancers, même si le processus causal reste encore à déterminer (Bais *et al.*, 2018; Gorman *et al.*, 2017; Mitchell, 2011; Pludowski *et al.*, 2013; Shore-Lorenti *et al.*, 2014). Il se peut que les effets de la vitamine D sur la santé soient attribuables à des bénéfices associés aux sorties extérieures comme un niveau accru d'exercice physique, puisque les bienfaits de la supplémentation en vitamine D restent plus mitigés (Juzeniene et Moan, 2012; Theodoratou *et al.*, 2014).

13.2.3 AUTRES EFFETS SUR LA SANTÉ

Parmi les bénéfices connexes, l'exposition aux UV solaires libère l'oxyde nitrique dans la peau, ce qui diminue la pression sanguine et favorise la santé cardiovasculaire (Halliday et Byrne, 2014; Juzeniene *et al.*, 2012; D. Liu *et al.*, 2014). Des évaluations ont suggéré qu'une exposition au soleil de 30 minutes réduit la pression sanguine de 5 à 7 mm/hg et pourrait conséquemment diminuer de 34 % le risque de crise cardiaque (Cabrera *et al.*, 2016; Weller, 2017). Une revue de la littérature a également suggéré également qu'une plus grande exposition aux UV pendant le premier trimestre pourrait favoriser la croissance du fœtus et l'hypertension chez la femme enceinte, bien que la qualité des études incluses soit plutôt faible (Megaw *et al.*, 2017).

Une exposition excessive aux UV peut également favoriser l'immunosuppression dans la peau et dans l'ensemble du corps. L'affaiblissement du système immunitaire restreint la capacité du corps à se défendre contre les bactéries, les virus et les maladies graves telles que le cancer (R. Lucas, 2010). Cependant, l'immunomodulation par les UV solaires peut aussi être favorable à certaines personnes étant donné qu'elle pourrait réduire l'incidence de maladies auto-immunes telles que la sclérose en plaques, le diabète de type 1, les maladies inflammatoires chroniques de l'intestin (p. ex., maladie de Crohn), l'arthrite et les allergies (Bais *et al.*, 2018; Gorman *et al.*, 2010; Holmes *et al.*, 2015; C. Lu *et al.*, 2015; R. Lucas, 2010; R. M. Lucas *et al.*, 2015; Simpson *et al.*, 2018; Sloka *et al.*, 2008).

13.3 Les populations à risque par rapport aux rayons ultraviolets

Certaines sous-populations tendent à s'exposer davantage aux UV ou sont moins susceptibles de se protéger du soleil, alors que d'autres peuvent être sous-exposées. Au Canada, les coups de soleil étaient plus fréquents de 2005 à 2014 chez les hommes, les groupes d'âges plus jeunes, les personnes ne faisant pas partie des minorités visibles, les personnes faisant partie des ménages à revenu plus élevé et les personnes ayant un emploi (Pinault et Fioletov, 2017). En même temps, les femmes, les personnes âgées ainsi que les personnes obèses ou affichant une insuffisance pondérale présentaient généralement des concentrations de vitamine D inférieures au reste de la population (Pinault et Fioletov, 2017; Touvier *et al.*, 2015; F. Wright et Weller, 2015). Les groupes vulnérables à une exposition accrue aux UV l'étaient en raison de leur peau pâle de type I, II ou III (p. ex., type caucasien, cheveux blonds ou roux, etc.) (Correia *et al.*, 2014; Jablonski *et al.*, 2012). À l'inverse, les personnes avec une peau foncée (type IV, V et VI) résidant dans une région où le rayonnement UV est faible étaient plus susceptibles de souffrir d'une carence en vitamine D.

Les Canadiens avec un statut socio-économique plus élevé affichaient une prévalence plus importante de mélanome, du fait qu'ils passent généralement plus de temps à l'extérieur et qu'ils voyagent davantage vers des destinations plus fortement irradiées par les UV (Haider *et al.*, 2007; Lindqvist *et al.*, 2017; Pinault, Bushnik, *et al.*, 2017). Plusieurs études ont également démontré que les hommes s'exposaient généralement plus longtemps au soleil et s'en protégeaient moins comparativement aux femmes. Les hommes présentaient un plus grand risque de mélanome au haut du corps, alors que les femmes affichaient un plus grand risque de développer un mélanome au bas du corps, une différence qui peut être attribuable à des habitudes vestimentaires et à des comportements divergents (Pinault, Bushnik, *et al.*, 2017; Pinault et Fioletov, 2017). De plus, les personnes utilisant certains médicaments ou produits sensibilisant la peau aux UV, tels que les antidépresseurs, les antibiotiques, les antidiabétiques, les contraceptifs oraux, les immunosuppresseurs et certains produits cosmétiques, étaient plus sujettes aux réactions photoallergiques ou phototoxiques (Monteiro *et al.*, 2016).

Les adolescents et les enfants demeurent plus sensibles aux UV parce que leur peau n'est pas aussi épaisse que celle d'un adulte et n'est pas complètement développée (Volkmer et Greinert, 2011). De plus, très peu d'entre eux se protègent adéquatement contre les rayons du soleil (Canadian Cancer Society, 2010; Joshua, 2012). Plusieurs preuves scientifiques ont indiqué que les personnes ayant subi plusieurs coups de soleil en jeune âge affichaient un risque plus élevé de développer un cancer de la peau plus tard dans leur vie (Green *et al.*, 2011; Walter *et al.*, 1999; S. Wu *et al.*, 2016).

Finalement, les travailleurs extérieurs, principalement ceux du domaine de la construction, de l'agriculture, de l'élevage et de la foresterie, excèdent souvent les niveaux recommandés d'exposition aux UV et courent ainsi un risque plus élevé de développer un cancer de la peau (Fartasch *et al.*, 2012; Modenese *et al.*, 2018; C. E. Peters *et al.*, 2012; Schmitt *et al.*, 2011). D'ailleurs, les travailleurs de la construction sont les moins prédisposés à adopter des comportements pour se protéger du soleil (C. E. Peters *et al.*, 2012). Le réchauffement des températures prolongera vraisemblablement la saison de la construction et des récoltes, augmentant par conséquent l'exposition cumulative des travailleurs extérieurs aux UV.

13.4 Les mesures d'adaptation aux rayons ultraviolets

13.4.1 LES MESURES INDIVIDUELLES D'ADAPTATION AUX RAYONS ULTRAVIOLETS

Comportements et habitudes de vie

Plusieurs facteurs peuvent influencer l'adoption de comportements préventifs en matière d'exposition au soleil. L'un des principaux obstacles est le manque de connaissances générales concernant les risques de l'exposition aux UV solaires et l'application appropriée d'écran solaire (Bränström *et al.*, 2010; Dadlani et Orlow, 2008; Weinstein *et al.*, 2001). D'autres barrières incluent l'inconfort thermique associé au port de vêtements protégeant du soleil (vêtements longs ou épais) lors de températures chaudes, une attitude positive envers le bronzage pour des raisons esthétiques, la croyance que la protection solaire mène à une carence en vitamine D, le coût relié à l'achat d'écrans solaires et la perception d'inefficacité ou de toxicité leur étant associée (Bränström *et al.*, 2010; Burnett et Wang, 2011; Dadlani *et al.*, 2008; Saraiya *et al.*, 2004; Youl *et al.*, 2009). En pratique, la majorité des personnes applique inégalement l'écran solaire ou l'étend seulement sur certaines parties du corps exposées. De plus, la protection solaire ne semble pas augmenter les carences en vitamine D, même si elle pourrait théoriquement en réduire l'apport dans des conditions idéales et contrôlées (Norval et Wulf, 2009). L'ombre fournie par un chapeau, des vêtements longs et des infrastructures serait plus efficace que les écrans solaires pour prévenir les coups de soleil et réduire l'exposition aux UV (Linos *et al.*, 2012). Le réchauffement des températures pourrait aussi encourager la recherche d'ombre lors de chaleurs importantes puisque l'exposition au soleil augmente la température ressentie (Holman *et al.*, 2018).

13.4.2 LES MESURES POPULATIONNELLES ET INSTITUTIONNELLES D'ADAPTATION AUX RAYONS ULTRAVIOLETS

Sensibilisation

Les campagnes de sensibilisation ont démontré une certaine efficacité dans l'encouragement de comportements de protection solaire, en particulier lorsqu'elles sont généralisées et accompagnées de changements plus structurels comme la construction d'espaces ombragés, la restriction des heures de sortie à l'école ou la distribution d'écrans solaires (Sandhu *et al.*, 2016). Cette combinaison d'interventions à grande échelle est associée à une hausse médiane de 11 % de l'utilisation d'écran solaire (Sandhu *et al.*, 2016). Plusieurs organismes gouvernementaux et privés au Canada promeuvent ce type d'interventions (Santé Canada, 2018). L'Association canadienne de dermatologie

(ACD) a établi un programme de protection et de sensibilisation en matière de protection solaire ciblant les populations les plus à risque telles que les travailleurs extérieurs et les jeunes (ACD, s. d.; Joshua, 2012). Le projet [Sun Safety at Work Canada](#) cherche également à soutenir l'implantation de programmes de protection solaire en milieu de travail en collaboration avec les employeurs et les décideurs (Kramer *et al.*, 2015).

Surveillance environnementale

Sur le plan de la surveillance, ECCC a créé l'indice UV comme outil permettant d'informer les Canadiens du potentiel délétère du rayonnement UV (V. Fioletov *et al.*, 2010). En 2018, ECCC a commencé le développement d'un nouveau système de prévision de l'indice UV qui fournirait des prévisions horaires et à plus long terme (4 jours ou plus) de même que des cartes régionales et continentales du niveau de rayonnement UV (Tereszchuk *et al.*, 2018). La surveillance des mélanomes est également documentée par plusieurs organisations au Canada, comme la Société canadienne du cancer (SCC) et l'[Infobase de la santé publique](#) de l'ASPC (SCC, 2019). Par contre, les informations relatives aux autres types de cancers de la peau sont rares puisque les autorités provinciales, territoriales et régionales ne collectent généralement pas de données pour ces cancers qui se traitent en cabinet.

13.4.3 LES MESURES PHYSIQUES D'ADAPTATION AUX RAYONS ULTRAVIOLETS

Aménagement du territoire

Plusieurs facteurs physiques peuvent également influencer le niveau d'exposition aux UV solaires, comme les structures artificielles ou naturelles offrant des espaces à l'ombre. La municipalité de Toronto est la première juridiction au Canada à avoir inclus une politique relative à l'ombrage dans sa planification (Holman *et al.*, 2018; Kapelos et Patterson, 2014). La protection solaire, en combinaison avec le confort thermique, devrait être considérée dans la planification de l'aménagement urbain. Les espaces verts, par exemple, peuvent à la fois réduire l'exposition aux UV par l'ombre qu'ils procurent et l'augmenter en incitant les personnes à proximité à passer davantage de temps à l'extérieur (Astell-Burt *et al.*, 2014; Na *et al.*, 2014, 2014; Porcherie *et al.*, 2018). Il est ainsi important d'avoir un placement adapté d'arbres à grand déploiement dans les espaces verts afin d'étendre la superficie ombragée et d'obtenir par conséquent un meilleur équilibre entre l'exposition au soleil et les avantages associés aux activités extérieures (Na *et al.*, 2014). Les structures fournissant de l'ombre peuvent aussi limiter l'exposition aux UV au sol et, conséquemment, la production de vitamine D. À ce titre, les individus habitant un milieu fortement densifié avec des bâtiments en hauteur peuvent afficher des concentrations sanguines de vitamine D jusqu'à 4 fois inférieures à ceux habitant un milieu sans ombrage (McKinley *et al.*, 2011; Wai *et al.*, 2015).

Vitres

L'exposition aux UV à travers les vitres est également à considérer puisque la majorité des personnes passe plus de temps à l'intérieur d'un bâtiment ou d'un véhicule. Même si les rayons UVB du soleil sont bloqués par une fenêtre conventionnelle, cette dernière ne filtre pas la majorité des rayons UVA qui sont responsables du vieillissement prématuré de la peau (Duarte *et al.*, 2009). Aux États-Unis, par exemple, les cancers de la peau du côté gauche du corps sont plus prévalents, un résultat qui pourrait refléter le temps passé dans les véhicules sans protection (Butler et Fosko, 2010).

L'utilisation de vitres laminées, vertes ou dotées d'un filtre à UV permet de prévenir une surexposition puisqu'elles bloquent entièrement ce type de radiation, bien qu'elles puissent aussi affecter négativement la production de vitamine D (Duarte *et al.*, 2009).

14 Glissements de terrain, avalanches et dégel du pergélisol

14.1 Les effets des changements climatiques sur les tendances et les projections de glissements de terrains, d'avalanches et de dégel du pergélisol

14.1.1 GLISSEMENTS DE TERRAIN

Un climat plus chaud et plus humide accroît généralement l'occurrence des glissements de terrain (Gariano et Guzzetti, 2016). Les études au Canada sur les effets du climat sur les glissements de terrain ont été réalisées majoritairement en Colombie-Britannique (Gariano *et al.*, 2016; Geertsema, 2013; Jakob et Lambert, 2009). Elles semblent confirmer que le réchauffement des températures ainsi que l'augmentation des quantités de précipitations accroîtront la fréquence et la magnitude des glissements de terrain au cours du siècle, puisque les précipitations extrêmes accélèrent l'érosion du sol et diminuent son adhérence, en particulier dans les sols argileux (p. ex., basses-terres du Saint-Laurent), inclinés ou près des cours d'eau. Cette tendance reste à confirmer dans un contexte québécois. L'érosion côtière observée dans le nord et l'est du Québec contribue également à l'occurrence de glissements de terrain ou d'éboulements près des côtes (Ouranos, 2015).

14.1.2 AVALANCHES

L'effet net des changements climatiques sur les avalanches reste encore indéterminé au Canada. De 1981 à 2011, le nombre d'avalanches aurait diminué dans l'ouest alors qu'il ne semble pas y avoir de tendance dans le sud du Québec (Hetu *et al.*, 2015; Sinickas *et al.*, 2016). Le réchauffement des températures, l'accumulation de neige, les précipitations de pluie verglaçante, la force des vents ainsi que la formation de couches de givre ou de cristaux en début de saison affectent la probabilité d'occurrence et l'intensité des avalanches, ce qui complexifie la prévision des tendances (Bellaire *et al.*, 2016; D. Germain *et al.*, 2009; Sinickas *et al.*, 2016). Les avalanches au Québec surviennent le plus souvent sur de courtes pentes (moins de 80 m) près des plans d'eau plutôt que dans des milieux montagneux (D. Germain, 2016).

14.1.3 DÉGEL DU PERGÉLISOL

Le pergélisol se définit comme tout sol qui se maintient à une température égale ou inférieure au point de congélation pendant au moins 2 ans. Il se situe essentiellement dans l'extrême nord du Québec ou en haute altitude. Selon les projections, le réchauffement des températures au sol devrait favoriser le dégel du pergélisol sur de larges superficies dans les régions nordiques d'ici la moitié du siècle (Derksen *et al.*, 2019). Quelques observations régionales ont indiqué que la température du pergélisol a diminué de 0,1 à 1 °C par décennie, le réchauffement étant plus important dans le Canada arctique que dans les régions subarctiques. La formation de thermokarst s'accélère également sur de larges étendues dans le nord du Canada, soit un milieu caractérisé par des affaissements de terrain découlant du dégel du pergélisol. La superficie de terre soutenue par le pergélisol au Canada pourrait diminuer de 16 à 20 % pour des scénarios d'émissions faibles ou modérées de GES comparativement à 1990, certaines estimations étant même plus pessimistes (Derksen *et al.*, 2019). Le dégel du pergélisol accroît également le risque que des glissements de terrain surviennent puisqu'il déstabilise le sol.

Finalement, le réchauffement des températures diminue le couvert de glace et sa stabilité (D. G. Clark, Ford, Berrang-Ford, *et al.*, 2016). Cette fragilisation des glaces pourrait augmenter le risque de blessure chez les populations nordiques ou autochtones qui chassent sur la glace, ou tout autre individu effectuant des activités sur glace.

14.2 Les effets des glissements de terrain, des avalanches et du dégel du pergélisol sur la santé

14.2.1 EFFETS DES GLISSEMENTS DE TERRAIN SUR LA SANTÉ

Bien que non négligeable, le risque de décéder d'un glissement de terrain est plutôt faible et a diminué avec les années. De 1990 à 2018, 23 glissements de terrain ont causé la mort de 39 personnes à travers le Canada, soit de 1 à 2 décès par an en moyenne (Blais-Stevens *et al.*, 2018). La probabilité de décès est plus importante lors de glissements de terrain à développement rapide et lorsqu'ils touchent des personnes à l'intérieur d'un bâtiment (Kennedy *et al.*, 2015). Les glissements de terrain peuvent aussi entraîner certaines blessures et certains traumatismes physiques tels que des lacérations, des contusions, des commotions et des fractures. Par une réduction de l'apport sanguin artériel aux organes et la circulation de tissus musculaires nécrosés dans l'organisme, le syndrome de l'écrasement peut entraîner à court ou à long termes l'insuffisance rénale, la dégradation des organes et la mort (Kennedy *et al.*, 2015). Quelques études réalisées à l'extérieur du Canada (Italie, Grèce, Porto Rico, etc.) ont également associé l'exposition aux glissements de terrain à une incidence accrue de stress post-traumatique et à une détérioration de la cohésion sociale jusqu'à 2 ans après l'événement (Kennedy *et al.*, 2015). Toutefois, ces effets ont généralement été observés lors de glissements de terrain mortels de grande envergure, ce qui reste rare au Canada. Les glissements de terrain peuvent aussi fragiliser les infrastructures de transport et ainsi causer des accidents, les trains étant particulièrement à risque étant donné leur marge de manœuvre limitée (Macciotta et Lefsrud, 2018).

14.2.2 EFFETS DES AVALANCHES SUR LA SANTÉ

Santé physique

Le risque des avalanches pour la santé est principalement associé aux traumatismes et aux décès qu'elles peuvent causer. À travers le Canada, 123 personnes sont décédées des suites d'une avalanche de 2009 à 2018 (Avalanche Canada, 2018). Les provinces de l'ouest du Canada sont particulièrement à risque, 102 et 16 des 123 décès étant survenus respectivement en Colombie-Britannique et en Alberta. Cette répartition s'explique par le fait que les pentes des montagnes dans l'ouest du Canada sont beaucoup plus abruptes que dans le reste du pays. Au Québec, des auteurs ont répertorié 44 avalanches mortelles de 1825 à 2015, pour un bilan de 74 morts et de 50 blessés (Hetu *et al.*, 2015). L'asphyxie, les traumatismes sévères et l'hypothermie causent l'essentiel des décès associés aux avalanches (Boyd *et al.*, 2009; Kornhall et Martens-Nielsen, 2016). Les chances de survie décroissent avec le temps passé sous la neige et diminuent en fonction de la densité nivale (Haegeli *et al.*, 2011). À l'inverse, la probabilité de décès est très faible chez les personnes partiellement ensevelies. Une étude a d'ailleurs estimé que les avalanches étaient létales dans 23 % des cas, le taux de mortalité s'élevant à 50 % lorsque la victime était entièrement sous la neige (Kornhall *et al.*, 2016). Plus le milieu de l'avalanche est éloigné des lieux habités, plus les chances d'être secouru et de survivre diminuent pour les personnes exposées. Même si les avalanches sont souvent associées aux activités hivernales extérieures, une proportion considérable des décès est survenue historiquement à l'intérieur ou près d'un bâtiment (Hetu *et al.*, 2015). Cependant, cette proportion a grandement diminué avec les années, jusqu'à devenir marginale (Avalanche Canada, 2018; D. Germain, 2016; Hetu *et al.*, 2015).

Santé psychosociale

Les avalanches peuvent également avoir un effet à court et à long termes sur la santé psychosociale des personnes affectées. À ce titre, une étude menée en Islande a démontré les impacts psychosociaux dans les populations de deux villages affectés par des avalanches mortelles (Thordardottir *et al.*, 2015). Quelque 16 % des villageois, touchés directement ou non par les avalanches, affichaient des symptômes de stress post-traumatique relatifs à l'aléa 16 ans après l'événement. Les villageois avaient également un risque plus élevé de souffrir de troubles du sommeil et d'hyperréactivité post-traumatique comparativement à une population semblable non exposée.

14.2.3 EFFETS DU DÉGEL DU PERGÉLISOL OU DES GLACES SUR LA SANTÉ

Le dégel du pergélisol est un aléa spécifique aux milieux nordiques. Ses risques pour la santé sont plus indirects que les avalanches et les glissements de terrain qui constituent des aléas à développement rapide. Entre autres, le dégel du pergélisol compromet l'intégrité des infrastructures et des routes, les communautés nordiques affichant déjà un déficit sur le plan infrastructurel. Ces dernières sont également dépendantes du transport aérien pour l'importation d'aliments et de denrées essentielles comme les médicaments (Allard *et al.*, 2012; Durkalec *et al.*, 2015; J. D. Ford *et al.*, 2014). L'effritement du réseau routier nordique pourrait ainsi diminuer l'accessibilité aux services de santé, alors que les populations autochtones accusent déjà un retard sur ce plan (Centre de gouvernance de l'information des Premières Nations, 2018). Les routes déformées par l'affaissement du sol peuvent aussi augmenter le risque d'accident.

De plus, le dégel du pergélisol pourrait affecter le risque de contracter une maladie d'origine hydrique en libérant des charges d'agents infectieux et des concentrations importantes de métaux lourds tels que le mercure (Moquin et Wrona, 2015; Schuster *et al.*, 2018; Vonk *et al.*, 2015). À travers le Canada, 39 % des infrastructures d'eau potable présentent un haut risque de contamination dans les communautés autochtones, le dégel du pergélisol pouvant accroître cette proportion en fragilisant les aqueducs ou les sources d'eau (Neegan Burnside Ltd., 2011). Le dégel du pergélisol accélère aussi l'érosion du sol près des berges, ce qui peut forcer le déplacement d'infrastructures et de personnes (Lantuit *et al.*, 2013). En somme, les coûts relatifs aux dommages infrastructurels découlant de la fonte du pergélisol varieraient de 64 à 217 millions de 2015 à 2065 pour le gouvernement du Québec, dépendamment de la croissance démographique (Larrivée *et al.*, 2015).

Dans les latitudes nordiques, la diminution et la fragilisation des glaces accroissent le risque de blessure et le nombre d'opérations de secours en lien avec les activités traditionnelles comme la chasse, particulièrement pour les hommes (D. G. Clark, Ford, Berrang-Ford, *et al.*, 2016; D. G. Clark, Ford, Pearce, *et al.*, 2016; Durkalec *et al.*, 2014). Une étude effectuée au Nunavut sur les opérations de secours a déterminé que leur probabilité d'occurrence s'accroissait simultanément avec la diminution de l'épaisseur et de la concentration de la glace (D. G. Clark, Ford, Berrang-Ford, *et al.*, 2016; D. G. Clark, Ford, Pearce, *et al.*, 2016). Des températures près du point de congélation affichaient la probabilité la plus élevée qu'une opération de secours survienne. Les mêmes constats valent pour les noyades en hiver. Une étude comprenant près de 4 000 cas de noyades hivernales survenues dans l'hémisphère nord a montré que des hivers plus chauds et des températures près du point de congélation (de -5 °C à 0 °C), particulièrement à la fin de la saison, augmentaient le risque de noyade (Sharma *et al.*, 2020). Autant les populations des latitudes nordiques (nord du Québec) que tempérées (sud du Québec) observaient un risque accru de noyade dans ces situations.

14.3 Les populations à risque par rapport aux glissements de terrain, aux avalanches et au dégel du pergélisol ou des glaces

Pour les glissements de terrain, les personnes résidant sur des sols argileux ou près de pentes abruptes risquent plus d'y être exposées (Macciotta *et al.*, 2018; Porter et Morgenstern, 2013). De plus, certaines études internationales ont semblé démontrer que les femmes étaient plus susceptibles de manifester des symptômes de stress post-traumatique à la suite d'un glissement de terrain majeur (Kennedy *et al.*, 2015).

Concernant les avalanches, les personnes pratiquant la motoneige, le ski, la raquette, la randonnée pédestre hivernale et toute autre activité hivernale en terrain montagneux demeuraient les plus exposées (Boyd *et al.*, 2009). En fait, près de la moitié et un peu plus du tiers des décès découlant d'avalanches étaient attribuables respectivement aux activités de motoneige et de ski de 2009 à 2018 (Avalanche Canada, 2018). Les hommes risqueraient plus de mourir d'une avalanche du fait qu'ils recherchent davantage de sensations fortes (Sole *et al.*, 2010).

Dans le cas du dégel du pergélisol, les populations nordiques et autochtones sont principalement vulnérables étant donné la fragilité de leurs infrastructures (telles que les routes et les systèmes d'approvisionnement en eau potable) et l'accès limité à certaines ressources essentielles en raison de l'éloignement. Les personnes réalisant des activités sur glace, en particulier les autochtones chassant ou pêchant sur la glace, mais également certains sportifs (p. ex. motoneigistes, patineurs) ou travailleurs, sont susceptibles de se blesser ou de se noyer lors de ces activités (Durkalec *et al.*, 2014; Sharma *et al.*, 2020). Les hommes et les moins de 40 ans, parfois obligés de réaliser ces activités pour subvenir à leurs besoins, représentent la majeure proportion de ces personnes et sont conséquemment plus exposés à ces conséquences. Les enfants, souvent moins aptes à nager et à suivre les règles de sécurité, sont aussi plus à risque (Sharma *et al.*, 2020).

14.4 Les mesures d'adaptation aux glissements de terrain, aux avalanches et au dégel du pergélisol ou des glaces

14.4.1 LES MESURES D'ADAPTATION AUX GLISSEMENTS DE TERRAIN

Étant donné le faible risque de décéder d'un glissement de terrain, la mise en place de mesures d'adaptation majeures telles que la relocalisation ne serait justifiée que dans les zones les plus à risque (Macciotta *et al.*, 2018). Ressources naturelles Canada offre un guide des meilleures pratiques tenant compte de critères physiques, légaux, économiques et relatifs à l'acceptation du risque pour évaluer les risques associés aux glissements de terrain (Porter *et al.*, 2013). De plus, des systèmes d'alertes préventives tenant compte des seuils de résistance physique du sol et des prévisions de précipitations ont été développés ailleurs et pourraient constituer une option intéressante pour limiter l'exposition dans certains cas (Chae *et al.*, 2017). Sinon, la cartographie des zones exposées aux glissements de terrain et l'imposition de restrictions pour la construction dans ces zones à risque reste la mesure la plus sûre. Au Québec, les municipalités ont le pouvoir d'instaurer des zones de contraintes naturelles dans leur planification et de limiter le développement urbain dans ces zones (Québec.ca, s. d.). Plusieurs cartes des risques ont été réalisées pour les MRC, particulièrement au Saguenay-Lac-Saint-Jean et sur la Côte-Nord (Ouranos, 2015). Le gouvernement du Québec offre d'ailleurs un guide d'utilisation des cartes de contraintes relatives aux glissements de terrain dans les dépôts meubles (Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire [MAMOT], MSP et Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports, 2016). Rediriger les eaux pluviales loin des pentes friables, éviter de surcharger les talus (neige, terre, infrastructure,

véhicule, etc.) et empêcher le déblaiement ou l'excavation à la base d'un talus représentent d'autres solutions pour limiter la probabilité d'occurrence des glissements de terrain et de leurs conséquences (Québec.ca, s. d.).

14.4.2 LES MESURES D'ADAPTATION AUX AVALANCHES

L'évaluation des zones exposées aux avalanches et l'adaptation conséquente de l'aménagement du territoire ont diminué considérablement le nombre de décès à l'intérieur des bâtiments (D. Germain, 2016; Hetu *et al.*, 2015). Outre la localisation des bâtiments, la reforestation des pentes et l'urbanisation des replats au sommet des versants sont d'autres mesures d'aménagement diminuant le risque d'avalanche, car elles obstruent le vent et le corridor des avalanches (Hetu *et al.*, 2015). Les organismes de surveillance et de formation de sécurité en lien avec les avalanches conscientisent également le public aux risques associés. Le risque de mortalité a diminué depuis le foisonnement de ce type d'organismes (Avalanche Canada, 2018). De plus, le jumelage d'hommes et de femmes lors d'excursions hivernales pourrait être considéré puisqu'il atténuerait la prédisposition des hommes à adopter des comportements à risque (Sole *et al.*, 2010).

14.4.3 LES MESURES D'ADAPTATION AU DÉGEL DU PERGÉLISOL OU DES GLACES

Des travaux réalisés par Ressources naturelles Canada ont permis de caractériser et de déterminer les seuils de température propices au dégel du pergélisol (Labbé *et al.*, 2017). Des mesures d'adaptation telles que l'utilisation de surfaces avec un albédo élevé, la pose de conduits de ventilation ou de drains thermiques sous l'infrastructure, l'implantation de digues de convection d'air ou de thermosiphons la longeant et la construction d'un refuge solaire au-dessus peuvent rafraîchir le sol et atténuer conséquemment les dommages aux infrastructures, incluant les routes et les pistes d'aéroport, qui sont nécessaires à la distribution des denrées essentielles (Allard *et al.*, 2012; Calmels *et al.*, 2016; Doré *et al.*, 2016). Plusieurs de ces mesures ont été mises en œuvre dans les communautés nordiques canadiennes, bien qu'il n'y ait pas de stratégie nationale ou provinciale d'adaptation associée (Labbé *et al.*, 2017). La route de l'Alaska, qui passe entre autres par le Yukon, est un exemple bien documenté de caractérisation du risque et de stabilisation conséquente d'infrastructure (Calmels *et al.*, 2016; Stephani *et al.*, 2014).

La caractérisation des risques associés au pergélisol peut également mieux orienter la planification du territoire. En particulier, une cartographie caractérisant les zones de pergélisol aide à planifier de façon optimale le développement urbain et constitue une composante essentielle de la protection des infrastructures dans les communautés nordiques. Une telle cartographie a déjà été réalisée pour 4 communautés du Nunavik, soit Puvirnituk, Kangirsuk, Akulivik et Tasiujaq (L'Hérault *et al.*, 2013). À Arviat, une évaluation des risques associés au dégel du pergélisol a permis de mieux conscientiser les décideurs, en plus de faciliter la concertation des acteurs (Flynn *et al.*, 2018). L'inclusion du savoir traditionnel dans un projet technologique, l'acquisition des données et l'opérationnalisation de l'échelle de risque constituaient néanmoins des limites importantes. Le réseau de centres d'excellence pancanadien [ArcticNet](#) mène depuis 15 ans un important programme de recherche sur ces impacts et sur les solutions applicables.

Plusieurs mesures d'adaptation peuvent aussi être envisagées pour le dégel des glaces (Sharma *et al.*, 2020). Par exemple, la réglementation pour la sécurité des activités sur glace pourrait être renforcée. La pêche, le patinage ou la circulation en motoneige pourraient être interdits ou limités (p. ex. limite de vitesse, du poids ou du nombre de personnes) lorsque la température ou l'épaisseur de la glace le justifient. Ceci implique néanmoins une surveillance accrue des glaces et des activités reliées. La circulation nocturne en large groupe ou en état d'intoxication pourrait aussi être réglementée ou faire l'objet d'une campagne de sensibilisation. Les cours de sécurité nautique ou de

Les aléas affectés par les changements climatiques :
effets sur la santé, vulnérabilités et mesures d'adaptation

natation, le port de flotteurs ou de vêtements protégeant de l'hypothermie de même que l'utilisation d'autres outils tels que les pics à glace constituent d'autres options pour diminuer le risque de blessure ou de noyade en lien avec les étendues d'eau glacées. En dernier recours, certaines personnes pourraient envisager d'autres options de subsistance, comme l'exploitation accrue de sources terrestres de nourriture (voir section 10.3.2 **Insécurité alimentaire**) ou de techniques plus adaptées (Durkalec *et al.*, 2014, 2015).

15 Limites et lacunes

15.1 Limites du document

Avant d'énumérer les différentes lacunes ressorties dans les études recensées dans la revue de la littérature, il est important d'énoncer les limites du document. Premièrement, la qualité méthodologique des études n'a pas été évaluée en détail, ou en binôme. Même si les devis méthodologiques plus rigoureux ont été priorisés, la pertinence des modèles statistiques, la qualité des données ou des méthodes de collecte, la résolution spatiale utilisée, de même que les facteurs confondants et autres éléments méthodologiques n'ont pas été systématiquement considérés. Les devis de certaines études n'étant pas toujours clairs, certaines interprétations ont conséquemment dû être faites. Il pouvait aussi être difficile d'équilibrer les informations spécifiques au contexte québécois ou canadien et les informations de meilleure qualité représentatives d'autres contextes. Un certain niveau de subjectivité s'avérait donc nécessaire pour la priorisation des études, d'autant plus qu'elle a été effectuée essentiellement par une seule personne.

Deuxièmement, l'inclusion de termes concernant les changements climatiques et la santé a pu limiter les résultats, particulièrement pour les mesures d'adaptation. Plusieurs études ont pu traiter de mesures pertinentes sur le plan de l'adaptation aux changements climatiques sans faire référence au phénomène. Par exemple, les milieux agricole et municipal doivent s'adapter aux conditions météorologiques, mais ils ne tiendront pas nécessairement compte des changements climatiques dans leur planification, mais plutôt des effets à court terme. De plus, plusieurs études sur les mesures d'adaptation n'abordent pas directement le sujet de la santé, mais traitent plutôt des effets intermédiaires (p. ex., changements dans la température ou les comportements, nombre de personnes touchées, diminution des dommages matériels, réduction des concentrations de contaminants) pouvant affecter ultimement la santé. Par conséquent, la majorité des études répertoriées hors stratégie se rapportent aux mesures d'adaptation, puisque les résultats de la stratégie de recherche étaient moins fructueux sur ce plan.

Troisièmement, 128 études recensées dans la revue de la littérature n'ont pas été incluses dans les résultats, malgré leur pertinence. Elles étaient généralement redondantes avec les résultats d'autres études, ou semblaient afficher des failles trop importantes sur le plan de la méthodologie. L'ajout substantiel d'études hors stratégie de recherche ne permet pas non plus de dissocier ces dernières de celles étant ressorties dans la stratégie. L'inclusion d'autres moteurs de recherche pour la littérature scientifique aurait pu produire de meilleurs résultats, même si ceux inclus offraient déjà une diversité et un nombre importants de journaux scientifiques. Ce constat s'applique aussi à la stratégie de recherche pour la littérature grise. Les études pertinentes issues de la littérature grise, particulièrement en français, sont plus difficiles à répertorier. Plusieurs thèses, livres blancs et autres rapports ont probablement été manqués. Plusieurs informations d'importance ont aussi pu être omises lors de la lecture des études recensées, l'ensemble des informations pertinentes des études ne se retrouvant pas dans le document. L'objectif de cette revue exploratoire consistant à faire un tour d'horizon des articles disponibles sur les effets sur la santé, les populations à risque et les mesures d'adaptation, ce document n'a pas la prétention d'être exhaustif, en dépit du fait qu'il inclut près de 1 500 études. Les éléments influencés par les changements climatiques sont nombreux, même innombrables, tout comme les façons de s'y adapter. En vertu de ces limites, les lacunes ressorties dans la revue de la littérature pourraient ne pas s'appliquer à l'ensemble du corpus scientifique.

15.2 Lacunes ressorties dans les études recensées dans la revue de la littérature

Plusieurs lacunes dans la littérature scientifique ont été documentées quant aux effets sur la santé, aux populations à risque ainsi qu'aux mesures d'adaptation des aléas au Canada, au Québec et ailleurs. Cette section présente succinctement les principales lacunes relevées dans cette revue de la littérature.

Aléas traités et effets sur la santé

Les connaissances concernant les effets sur la santé associés à la température, aux inondations, aux maladies infectieuses ou à la qualité de l'air (pollens et polluants atmosphériques) sont généralement mieux documentées que celles des autres aléas traités dans le document. Les recherches sur l'érosion côtière, les submersions côtières, les glissements de terrain et le dégel du pergélisol mettent généralement l'accent sur les méthodes d'évaluation ou encore sur les dommages économiques et écologiques. Dans le cas des zoonoses, quoique les effets des changements climatiques sur les zoonoses vectorielles sont généralement bien connus, les connaissances sur les effets sur certaines zoonoses non vectorielles (p. ex., influenza aviaire, listériose, etc.) s'avèrent plus limitées. Concernant les effets des sécheresses, de l'improductivité agricole et des incendies de forêt sur la santé, ils ne sont pas bien répertoriés au Québec, bien que d'autres, comme la chaleur, le sont davantage. Les effets sur la santé de ces aléas gagneraient à être analysés plus en détail selon leurs particularités et dans un contexte québécois.

Des incertitudes substantielles restent également quant à l'effet des changements climatiques sur certains aléas, dont les tempêtes et les UV, ce qui empêche d'affirmer dans quelle direction iront les effets sur la santé associés à ces aléas. Les définitions de certains aléas, dont les sécheresses, les tempêtes et les vagues de froid ou de chaleur, peuvent différer largement d'étude en étude, ce qui peut mener à des résultats incohérents et à des interprétations difficiles. De plus, plusieurs études peuvent se contredire sur les effets sur la santé de certains aléas (p. ex., maladies cardiovasculaires pour les incendies de forêt, vulnérabilité des personnes à faible revenu à la chaleur, etc.). Les processus menant aux effets sur la santé sont souvent complexes et indirects. Certains effets peuvent ainsi ne pas ressortir en raison de la quantité importante de facteurs confondants (p. ex., habitudes de vie, prédispositions génétiques, exposition cumulée à des contaminants). Malgré tout, le nombre d'études sur la plupart des aléas affectés par les changements climatiques est substantiel et suffit la plupart du temps à observer des directions nettes.

Aspects méthodologiques

Les effets projetés sur la santé dépendent beaucoup des scénarios d'émissions de GES, des changements démographiques, de l'aménagement urbain ainsi que du niveau futur d'adaptation à l'échelle individuelle, communautaire et institutionnelle. Ces variables, incluant les scénarios climatiques, présentent un niveau d'incertitude non négligeable quant à l'amplitude des changements qui surviendront, mais moins concernant la direction des changements. Les projections des impacts des changements climatiques sur la santé doivent donc être interprétées avec prudence quant à leur magnitude, puisqu'un niveau important de variabilité est à prévoir. Ce constat vaut également pour les résultats provenant d'un contexte différent (p. ex., autres pays, milieu urbain par rapport au milieu rural ou périurbain, climat différent). Les impacts sur la santé et les mesures d'adaptation appropriées varieront d'un pays à un autre, et même d'une province ou d'une ville à une autre, en fonction des particularités du milieu (p. ex., populations à risque, capacité du secteur public, normes sociales). Il reste que les résultats localisés peuvent s'appliquer dans une certaine mesure dans un autre contexte et soutenir les décisions.

Plusieurs lacunes ressortent également quant à la rigueur méthodologique des études répertoriées. Les devis méthodologiques se situant en haut de la hiérarchie des preuves scientifiques (p. ex., devis expérimentaux, études de cas-témoin) sont particulièrement difficiles à mettre en œuvre pour évaluer les effets des changements climatiques, voire impossibles dans plusieurs cas. Par exemple, il peut être ardu d'attribuer fiablement tout effet à des mesures d'adaptation de grande envergure ou incluant une multitude d'interventions (p. ex., plan d'urgence, modification aux règlements), en raison de la myriade de facteurs à contrôler. Un déséquilibre persiste aussi dans la qualité des études répertoriées en fonction des aléas. Entre autres, la sporadicité et l'imprévisibilité relative des aléas (p. ex., les tempêtes, les feux de forêt et les submersions marines), et le fait qu'ils touchent des populations souvent circonscrites, limitent les devis pouvant être utilisés. Par exemple, des études de cohorte et de cas-témoin peuvent s'avérer difficiles à réaliser puisqu'elles exigent des mesures avant-après et un groupe contrôle. Par conséquent, la majorité des études répertoriées emploient un devis écologique qui est sujet à de multiples biais (p. ex., problème d'agrégation spatiale, erreur écologique, incomplétude des variables de contrôle). Tout cela complique l'analyse de ces phénomènes selon des critères scientifiques fiables. Même si plusieurs méta-analyses et revues de la littérature ont été répertoriées, elles peuvent être sujettes aux mêmes biais puisqu'elles combinent les résultats de ces études, bien qu'elles tiennent compte généralement de la qualité des études dans leurs résultats.

Effets sociaux

Bien que l'aspect psychologique (stress post-traumatique, dépression, etc.) associé aux aléas gagne en notoriété, les effets sur la cohésion sociale, l'inclusion, la dénaturation du milieu et les mouvements de population restent encore à déterminer, en particulier dans un contexte québécois. L'évaluation des effets sur la santé psychosociale demeure importante puisqu'ils ont en retour un impact sur la santé physique et la capacité d'adaptation des individus affectés. Les effets des changements climatiques sur les comportements et les habitudes de vie mériteraient aussi d'être développés. Par exemple, l'analyse des effets de la chaleur, des précipitations et des autres aléas sur l'activité physique, les activités extérieures, les habitudes de déplacement, l'alimentation, les interactions sociales, la criminalité, la charge émotionnelle, les capacités cognitives et les choix de localisation serait essentielle à une évaluation complète et représentative des conséquences relatives aux changements climatiques, mais peu de données existent à ce sujet. L'appréhension de ces effets sociaux exige la plupart du temps l'application de méthodes qualitatives, moins bien représentées dans les études répertoriées. Malgré les limites associées à ce type de méthode (p. ex., résultats très spécifiques et non généralisables), elles permettent de collecter des informations détaillées et hautement contextualisées.

Effets en cascade ou cumulés

Les effets en cascade des aléas, par exemple la probabilité que se manifestent une panne d'électricité, un déversement de matières dangereuses ou une pénurie d'eau ou de médicaments à la suite d'un aléa, sont encore peu étudiés. Il en va de même pour les impacts des EME en série ou se produisant en même temps étant donné leur rareté, mais leur survenue est destinée à augmenter avec les changements climatiques. Ces événements peuvent également survenir au cours d'autres aléas majeurs non météorologiques, dont les pandémies, les famines, les guerres, les effondrements de structure, les explosions d'origine anthropique (p. ex., accident ferroviaire de Lac-Mégantic) et les crises économiques ou sociales (généralisées ou localisées). Les effets cumulés des impacts en cascade ou d'événements majeurs en simultané peuvent rapidement dépasser la somme de chacun des événements et excéder la capacité sociale à s'y adapter. L'étude des effets cumulés potentiels et la relation entre eux importent pour déterminer à l'avance les mesures d'adaptation appropriées, d'autant plus que certaines d'entre elles pourront entrer en conflit. De surcroît, l'évaluation de la

capacité du système de santé à faire face à un ensemble d'aléas dans un court laps de temps est aussi essentielle pour éviter une interruption des services ou une surcharge, autant du point de vue des équipements que du personnel, notamment en milieu rural ou éloigné des centres urbains. Néanmoins, cette capacité reste peu documentée à l'heure actuelle. Un système de santé lui-même vulnérable aux aléas pourrait venir aggraver les effets sur la santé des populations vulnérables par son incapacité à répondre à la demande en soins, en médicaments et en services sociaux.

Cumul de facteurs de risque et populations à risque

Même si la vulnérabilité occupe une place centrale dans la littérature sur les impacts sanitaires des aléas et l'adaptation aux changements climatiques, la hiérarchisation en importance des facteurs de risque reste encore à développer pour prioriser efficacement les mesures d'adaptation. L'évaluation des interactions entre ces facteurs et de leurs effets cumulés dans un contexte de changements climatiques est également lacunaire. La remarque vaut de même pour les facteurs de protection et leurs interactions avec certains facteurs de risque. À l'heure actuelle, le processus de matérialisation de la vulnérabilité est parfois mal compris, entre autres en ce qui a trait à la cohésion sociale, au sentiment d'appartenance au milieu, à la scolarisation et à certains facteurs culturels ou cognitifs.

Certaines populations sont moins étudiées que d'autres. Par exemple, les personnes en situation d'itinérance, à mobilité réduite, issues de minorités ethniques et isolées socialement sont moins représentées dans la littérature comparativement aux hommes, aux femmes, aux enfants, aux travailleurs, aux aînés ou aux personnes avec certaines maladies chroniques. Le sexe est souvent inclus dans les impacts, chacun pouvant présenter différents facteurs de vulnérabilité, mais il s'avère difficile de dire si les femmes ou les hommes sont plus vulnérables dans l'ensemble. La question du genre et de l'orientation sexuelle se retrouve très peu dans la littérature scientifique sur le climat. De plus, la littérature sur les populations autochtones méridionales est rare, au contraire des populations autochtones nordiques. Le contexte culturel spécifique et l'exposition dissemblable des populations autochtones méridionales font en sorte que les facteurs de vulnérabilité et les impacts associés différeront probablement de ceux des populations non autochtones du sud du Canada et des populations nordiques.

Mesures d'adaptation

L'évaluation des effets sur la santé des mesures d'adaptation aux aléas est également manquante à plusieurs égards. La littérature scientifique se concentre davantage sur les effets des aléas sur la santé que sur les façons de s'en protéger. Les études tiennent rarement compte des mesures d'adaptation implantées et des capacités adaptatives individuelles ou sociales, sinon indirectement par le biais de certains facteurs socio-économiques tels que le revenu. La prise en compte de différents scénarios et contextes régionaux demeure une autre lacune. De plus, les mesures d'adaptation pour plusieurs aléas, entre autres la sécurité alimentaire, les tempêtes et les UV, tiennent rarement compte des changements climatiques.

Les systèmes bioclimatiques, sociaux et économiques sont aussi rarement intégrés dans l'évaluation des effets et de l'efficacité des mesures d'adaptation, ce qui pourrait mener à de la maladaptation. À ce titre, bien que des analyses coûts-avantages en adaptation aux changements climatiques existent, elles internalisent peu ou aucunement les bénéfices sanitaires y étant associés. La considération de ces coûts pourrait aider à justifier la mise en œuvre de certaines mesures d'adaptation qui, autrement, afficheraient un rendement insuffisant, ou inversement. Ce type d'analyse peut être plus parlant auprès des décideurs et de la population. Également, peu d'études mettent en lumière la qualité ainsi que le niveau global d'adaptation et de préparation aux changements climatiques à l'échelle municipale, provinciale et nationale.

Facteurs favorisant l'adaptation

Quoique plusieurs facteurs individuels soient relativement bien étudiés (p. ex., perception du risque, perception de contrôle, perception de l'efficacité des mesures d'adaptation), les facteurs sociétaux (p. ex., normes sociales, sentiment d'appartenance, cohésion sociale) favorisant l'adaptation aux aléas ne ressortent pas explicitement dans la revue de la littérature, et encore moins dans un contexte canadien ou québécois. De plus, les facteurs influençant les décideurs (gestionnaires et élus) à mettre en œuvre des mesures d'adaptation aux changements climatiques commencent seulement à être documentés dans un contexte québécois. L'organisation légale et administrative, la planification stratégique, la communication entre les différents secteurs et départements, l'attribution des ressources, les fenêtres d'opportunité, le rôle de l'opinion publique et les méthodes d'évaluation et de priorisation sont tous des sujets pertinents à approfondir pour faciliter l'adaptation aux changements climatiques et favoriser une gouvernance optimale.

À ce titre, la communication en termes de changements climatiques représente une avenue pour favoriser l'adaptation, mais les facteurs optimisant son impact semblent être encore en développement dans la littérature scientifique. L'implantation des moyens les plus efficaces pour rejoindre les personnes les plus à risque ou généralement moins disposées à s'adapter et la modulation du message en fonction de la clientèle semblent primordiales. Une meilleure compréhension du processus psychologique menant à l'adaptation à l'échelle individuelle permettrait aussi de mieux personnaliser les messages et les interventions, et notamment d'utiliser un cadrage positif pour encourager l'action. L'évaluation de la communication relative aux changements climatiques et à la santé devrait être effectuée afin d'optimiser les impacts des campagnes de sensibilisation. Une meilleure compréhension des processus de changements de comportement en lien avec les changements climatiques pourrait permettre d'accélérer l'adaptation à différentes échelles.

16 Conclusion

Cette revue a permis de soulever les impacts sur la santé des aléas survenant dans un contexte québécois et canadien en fonction des populations vulnérables présentes sur le territoire (voir **Sommaire**). Tous les aléas mentionnés occasionnent déjà des impacts sur la santé physique, mentale et sociale des populations, et plusieurs d'entre eux sont appelés à s'intensifier au cours des prochaines années. Plusieurs incertitudes subsistent néanmoins quant aux effets sur la santé des aléas traités dans cette revue et aux façons les plus efficaces de s'en protéger, sans compter les limites de la littérature répertoriée (voir section 15 **Limites et lacunes**). Les connaissances sur les impacts des aléas sur la santé, de même que les populations à risque et les mesures d'adaptation associées, se développent et suscitent un intérêt grandissant dans la communauté scientifique, auprès des décideurs publics et dans la population. Néanmoins, cette revue souligne plusieurs informations manquantes dans un contexte québécois. Davantage de recherches devraient donc être réalisées au Québec pour combler ces lacunes. Entre autres, les effets sociaux (p. ex., cohésion sociale, sentiment de sécurité), la prise en compte des facteurs cumulés de vulnérabilité et l'évaluation de l'efficacité des mesures d'adaptation pour réduire les effets sur la santé mériteraient une attention particulière (voir section 15 **Limites et lacunes**).

De plus, le rythme actuel d'implantation de mesures d'adaptation aux aléas pourrait ne pas suffire pour amortir substantiellement les effets actuels et futurs des changements climatiques sur la santé. Malgré tout, plusieurs mesures d'adaptation, implantées ou potentielles, ont démontré leur efficacité ou montrent des résultats prometteurs afin de réduire les effets des aléas sur la santé. Au Canada, le Québec fait d'ailleurs bonne figure sur le plan de l'adaptation aux changements climatiques et de la santé (S. E. Austin *et al.*, 2015; Ouranos, 2015). Même si la comparaison peut s'avérer réconfortante, le portrait d'ensemble demeure mitigé. Entre autres, la prise en compte des populations vulnérables dans les mesures d'adaptation demeure l'exception plutôt que la règle. C'est sans compter que les actions préliminaires (scénarios, outils conceptuels, guides, évaluation des impacts potentiels, etc.) prédominent largement sur la mise en œuvre de mesures pratiques (soutien financier, technologies, évaluation des mesures, etc.), même si cette situation tend à changer. Les interventions en santé se concentrent aussi sur un nombre limité d'aléas, tout particulièrement la chaleur, les inondations et certaines zoonoses.

En définitive, les effets des changements climatiques se font déjà sentir et continueront d'affecter nos communautés dans les prochaines décennies, et ce, même si une réduction substantielle des GES se produit dans les prochaines années. Il est donc essentiel de redoubler d'efforts pour s'adapter à ces changements afin de garantir une santé durable pour les générations actuelles et futures de l'ensemble des régions québécoises.

17 Bibliographie

- Abbasi, S. (2014). *Adaptation to drought in Saskatchewan rural communities: a case study of Kindersley and Maidstone, Saskatchewan*. University of Saskatchewan.
- Abhijith, K. V., Kumar, P., Gallagher, J., McNabola, A., Baldauf, R., Pilla, F., Broderick, B., Di Sabatino, S. et Pulvirenti, B. (2017). Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments – A review. *Atmospheric Environment*, 162, 71-86. 10.1016/j.atmosenv.2017.05.014
- Abu-Saad, K. et Fraser, D. (2010). Maternal nutrition and birth outcomes. *Epidemiologic Reviews*, 32(1), 5-25. 10.1093/epirev/mxq001
- Achakulwisut, P., Mickley, L. et Anenberg, S. (2018). Drought-sensitivity of fine dust in the US Southwest: Implications for air quality and public health under future climate change. *Environmental Research Letters*, 13(5), 054025.
- Acharya, P., Boggess, B. et Zhang, K. (2018). Assessing heat stress and health among construction workers in a changing climate: a review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(2). 10.3390/ijerph15020247
- Adam-Poupart, A., Brand, A., Fournier, M., Jerrett, M. et Smargiassi, A. (2014). Spatiotemporal modeling of ozone levels in Quebec (Canada): a comparison of kriging, land-use regression (LUR), and combined bayesian maximum entropy-LUR approaches. *Environmental Health Perspectives*, 122(9), 970-976. 10.1289/ehp.1306566
- Adam-Poupart, A., Labrèche, F., Busque, M.-A., Brand, A., Duguay, P., Fournier, M., Zayed, J. et Smargiassi, A. (2015). Association between outdoor ozone and compensated acute respiratory diseases among workers in Quebec (Canada). *Industrial Health*, 53(2), 171-175. 10.2486/indhealth.2014-0136
- Adam-Poupart, A., Labrèche, F., Smargiassi, A., Duguay, P., Busque, M.-A., Gagné, C., Rintamäki, H., Kjellstrom, T. et Zayed, J. (2013). Climate change and occupational health and safety in a temperate climate: potential impacts and research priorities in Quebec, Canada. *Industrial Health*, 51(1), 68-78. 10.2486/indhealth.2012-0100
- Adam-Poupart, A., Pouliot, L., Deger, L., Sassine, M.-P. et Boivin, M. (2019). *Impacts psychosociaux négatifs des vagues de chaleur, des inondations, des feux de forêt et des tempêtes chez les travailleurs du Québec*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/publications/2643>
- Adam-Poupart, A., Smargiassi, A., Busque, M.-A., Duguay, P., Fournier, M., Zayed, J. et Labreche, F. (2014). Summer outdoor temperature and occupational heat-related illnesses in Quebec (Canada). *Environmental Research*, 134, 339-344. 10.1016/j.envres.2014.07.018
- Adam-Poupart, A., Smargiassi, A., Busque, M.-A., Duguay, P., Fournier, M., Zayed, J. et Labrèche, F. (2015). Effect of summer outdoor temperatures on work-related injuries in Quebec (Canada). *Occupational & Environmental Medicine*, 72(5), 338-345.
- Adams, T. et Turner, M. (2014). Professional responsibilities versus familial responsibilities: an examination of role conflict among first responders during the Hurricane Katrina disaster. *Journal of Emergency Management*, 12(1), 45-54.

- Adekoya, N. et Nolte, K. B. (2005). Struck-by-lightning deaths in the United States. *Journal of Environmental Health*, 67(9), 45-51.
- Adetona, O., Reinhardt, T. E., Domitrovich, J., Broyles, G., Adetona, A. M., Kleinman, M. T., Ottmar, R. D. et Naeher, L. P. (2016). Review of the health effects of wildland fire smoke on wildland firefighters and the public. *Inhalation Toxicology*, 28(3), 95-139.
- Administrateur en chef de la santé publique du Canada. (2016). *État de santé des Canadiens 2016: Rapport de l'administrateur en chef de la santé publique*. Agence de la santé publique du Canada.
- Aenishaenslin, C., Bouchard, C., Koffi, J. K. et Ogden, N. H. (2017). Exposure and preventive behaviours toward ticks and Lyme disease in Canada: results from a first national survey. *Ticks and Tick-Borne Diseases*, 8(1), 112-118. 10.1016/j.ttbdis.2016.10.006
- Aenishaenslin, C., Bouchard, C., Koffi, J. K., Pelcat, Y. et Ogden, N. H. (2016). Evidence of rapid changes in Lyme disease awareness in Canada. *Ticks and Tick-Borne Diseases*, 7(6), 1067-1074. 10.1016/j.ttbdis.2016.09.007
- Aenishaenslin, C., Michel, P., Ravel, A., Gern, L., Milord, F., Waaub, J.-P. et Belanger, D. (2015). Factors associated with preventive behaviors regarding Lyme disease in Canada and Switzerland: a comparative study. *Bmc Public Health*, 15, 185. 10.1186/s12889-015-1539-2
- Aenishaenslin, C., Michel, P., Ravel, A., Gern, L., Waaub, J.-P., Milord, F. et Bélanger, D. (2015). Acceptability of tick control interventions to prevent Lyme disease in Switzerland and Canada: a mixed-method study. *BMC Public Health*, 16(1), 12. 10.1186/s12889-015-2629-x
- Aerts, J. C. J. H. et Botzen, W. (2011). Flood-resilient waterfront development in New York City: bridging flood insurance, building codes, and flood zoning. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1227(1), 1-82.
- Aerts, J. C. J. H., Botzen, W. J. W., Emanuel, K., Lin, N., Moel, H. de et Michel-Kerjan, E. O. (2014). Evaluating flood resilience strategies for coastal megacities. *Science*, 344(6183), 473-475. 10.1126/science.1248222
- Aerts, J. C. J. H., Botzen, W. W., de Moel, H. et Bowman, M. (2013). Cost estimates for flood resilience and protection strategies in New York City. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1294(1), 1-104.
- Afulani, P., Herman, D., Coleman-Jensen, A. et Harrison, G. G. (2015). Food insecurity and health outcomes among older adults: the role of cost-related medication underuse. *Journal of Nutrition in Gerontology and Geriatrics*, 34(3), 319-342. 10.1080/21551197.2015.1054575
- Agard, J., Schipper, L., Birkmann, J., Campos, M., Dubeux, C., Nojiri, Y. et Bilir, E. (2014). Glossaire. Dans *Cinquième Rapport d'évaluation du GIEC*. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.
- Agence canadienne d'inspection des aliments. (2019a). *Aflatoxines dans les produits du maïs, les noix, les produits de noix, les raisins secs, la poudre de cacao, la poudre de chili et le paprika – 1 avril 2012 au 31 mars 2013*. <https://www.inspection.gc.ca/salubrite-alimentaire-pour-l-industrie/chimie-et-microbiologie-alimentaires/bulletin-d-enquete-et-rapports-d-analyse-sur-la-sa/aflatoxines/fra/1557171015830/1557171066945>

- Agence canadienne d'inspection des aliments. (2019b). *Causes des empoisonnements alimentaires*. <https://www.inspection.gc.ca/salubrite-alimentaire-pour-l-industrie/information-pour-les-consommateurs/fiches-de-renseignements-et-infographies/empoisonnements-alimentaires/fra/1331151916451/1331152055552>
- Agence de la santé publique du Canada. (2015a). *Hantavirus*. <https://www.canada.ca/fr/sante-publique/services/maladies/hantavirus.html>
- Agence de la santé publique du Canada. (2015b). *Symptômes du virus du Nil occidental*. <https://www.canada.ca/fr/sante-publique/services/maladies/virus-nil-occidental/symptomes-virus-nil-occidental.html>
- Agence de la santé publique du Canada. (2018). *L'asthme et la maladie pulmonaire obstructive chronique (MPOC) au Canada, 2018*. <https://www.canada.ca/fr/sante-publique/services/publications/maladies-et-affections/asthme-maladie-pulmonaire-obstructive-chronique-canada-2018.html#a1.2.4>
- Agence de la santé publique du Canada. (2019a). *Leptospirose*. <https://www.canada.ca/fr/sante-publique/services/maladies/leptospirose.html>
- Agence de la santé publique du Canada. (2019b). *Maladie de Lyme*. <https://www.canada.ca/fr/sante-publique/services/maladies/maladie-lyme.html>
- Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. (2014). État des connaissances sur l'impact sanitaire lié à l'exposition de la population générale aux pollens présents dans l'air ambiant. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2011sa0151Ra.pdf>
- Agyapong, V. I. O., Hrabok, M., Juhas, M., Omeje, J., Denga, E., Nwaka, B., Akinjise, I., Corbett, S. E., Moosavi, S., Brown, M., Chue, P., Greenshaw, A. J. et Li, X.-M. (2018). Prevalence rates and predictors of generalized anxiety disorder symptoms in residents of Fort McMurray six months after a wildfire. *Frontiers in Psychiatry*, 9, 345. 10.3389/fpsy.2018.00345
- Akbari, H., Cartalis, C., Kolokotsa, D., Muscio, A., Pisello, A. L., Rossi, F., Santamouris, M., Synnefa, A., Wong, N. H. et Zinzi, M. (2016). Local climate change and urban heat island mitigation techniques – the state of the art. *Journal of Civil Engineering and Management*, 22(1), 1-16. 10.3846/13923730.2015.1111934
- Akhtar, F., Lodhi, S. A. et Shah Khan, S. (2015). Permaculture approach: linking ecological sustainability to businesses strategies. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 26(6), 795-809. 10.1108/MEQ-01-2015-0001
- Alaimo, K., Packnett, E., Miles, R. A. et Kruger, D. J. (2008). Fruit and vegetable intake among urban community gardeners. *Journal of Nutrition Education and Behavior*, 40(2), 94-101. 10.1016/j.jneb.2006.12.003
- Alberini, A., Gans, W. et Alhassan, M. (2011). Individual and public-program adaptation: coping with heat waves in five cities in Canada. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8(12), 4679-4701. 10.3390/ijerph8124679
- Albert-Green, A., Dean, C. B., Martell, D. L. et Woolford, D. G. (2013). A methodology for investigating trends in changes in the timing of the fire season with applications to lightning-caused forest fires in Alberta and Ontario, Canada. *Canadian Journal of Forest Research*, 43(1), 39-45. 10.1139/cjfr-2011-0432

- Alderman, K., Turner, L. R. et Tong, S. (2012). Floods and human health: a systematic review. *Environment International*, 47, 37-47. 10.1016/j.envint.2012.06.003
- Ali, A. A., Blarquez, O., Girardin, M. P., Hély, C., Tinquaut, F., El Guellab, A., Valsecchi, V., Terrier, A., Bremond, L. et Genries, A. (2012). Control of the multimillennial wildfire size in boreal North America by spring climatic conditions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(51), 20966-20970.
- Ali, A. M. et Willett, K. (2015). What is the effect of the weather on trauma workload? A systematic review of the literature. *Injury*, 46(6), 945-953. 10.1016/j.injury.2015.03.016
- Allan, B. (2015). *Influence of water quality and stormwater management on the ecology of mosquito-borne disease*. University of Illinois.
- Allard, M., Lemay, M., Barrette, C., L'Hérault, E., Sarrazin, D., Bell, T. et Doré, G. (2012). Permafrost and climate change in Nunavik and Nunatsiavut: Importance for municipal and transportation infrastructures. Dans *Nunavik and Nunatsiavut: From science to policy. An Integrated Regional Impact Study (IRIS) of climate change and modernization* (p. 171-197).
- Allen, J. O., Alaimo, K., Elam, D. et Perry, E. (2008). Growing vegetables and values: benefits of neighborhood-based community gardens for youth development and nutrition. *Journal of Hunger & Environmental Nutrition*, 3(4), 418-439. 10.1080/19320240802529169
- Almendra, R., Santana, P. et Vasconcelos, J. (2017). Evidence of social deprivation on the spatial patterns of excess winter mortality. *International Journal of Public Health*, 62(8), 849-856.
- Alston, M. (2011). Gender and climate change in Australia. *Journal of Sociology*, 47(1), 53-70. 10.1177/1440783310376848
- Altieri, M. A., Nicholls, C. I., Henao, A. et Lana, M. A. (2015). Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(3), 869-890. 10.1007/s13593-015-0285-2
- Altizer, S., Ostfeld, R. S., Johnson, P. T. J., Kutz, S. et Harvell, C. D. (2013). Climate change and infectious diseases: from evidence to a predictive framework. *Science*, 341(6145), 514-519. 10.1126/science.1239401
- Amato, F., Pandolfi, M., Alastuey, A., Lozano, A., Contreras González, J. et Querol, X. (2013). Impact of traffic intensity and pavement aggregate size on road dust particles loading. *Atmospheric Environment*, 77, 711-717. 10.1016/j.atmosenv.2013.05.020
- Amiro, B. D., Cantin, A., Flannigan, M. D. et de Groot, W. J. (2009). Future emissions from Canadian boreal forest fires. *Canadian Journal of Forest Research*, 39(2), 383-395. 10.1139/X08-154
- Analtis, A., Michelozzi, P., D'Ippoliti, D., De'Donato, F., Menne, B., Matthies, F., Atkinson, R. W., Iñiguez, C., Basagaña, X., Schneider, A., Lefranc, A., Paldy, A., Bisanti, L. et Katsouyanni, K. (2014). Effects of heat waves on mortality: effect modification and confounding by air pollutants. *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*, 25(1), 15-22. 10.1097/EDE.0b013e31828ac01b
- Andersson, C. et Engardt, M. (2010). European ozone in a future climate: Importance of changes in dry deposition and isoprene emissions. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 115(D2). 10.1029/2008JD011690

- Andrey, J. (2010). Long-term trends in weather-related crash risks. *Journal of Transport Geography*, 18(2), 247-258. 10.1016/j.jtrangeo.2009.05.002
- Anel, B., Cogliastro, A., Olivier, A. et Rivest, D. (2017). *Une agroforesterie pour le Québec*. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. <https://www.craaq.qc.ca/Publications-du-CRAAQ/une-agroforesterie-pour-le-quebec-document-de-reflexion-et-d-orientation/p/PAGF0102-PDF>
- Anema, A., Chan, K., Chen, Y., Weiser, S., Montaner, J. S. G. et Hogg, R. S. (2013). Relationship between food insecurity and mortality among HIV-positive injection drug users receiving antiretroviral therapy in British Columbia, Canada. *Food Insecurity and Disease*, 8(5), 127-146.
- Anglin, R. E. S., Samaan, Z., Walter, S. D. et McDonald, S. D. (2013). Vitamin D deficiency and depression in adults: systematic review and meta-analysis. *The British Journal of Psychiatry*, 202(2), 100-107. 10.1192/bjp.bp.111.106666
- Apparicio, P., Gelb, J., Carrier, M., Mathieu, M.-È. et Kingham, S. (2018). Exposure to noise and air pollution by mode of transportation during rush hours in Montreal. *Journal of Transport Geography*, 70, 182-192. 10.1016/j.jtrangeo.2018.06.007
- Applebaum, K. M., Graham, J., Gray, G. M., LaPuma, P., McCormick, S. A., Northcross, A. et Perry, M. J. (2016). An overview of occupational risks from climate change. *Current Environmental Health Reports*, 3(1), 13-22. 10.1007/s40572-016-0081-4
- Arbuckle, J. G., Prokopy, L. S., Haigh, T., Hobbs, J., Knoot, T., Knutson, C., Loy, A., Mase, A. S., McGuire, J., Morton, L. W., Tyndall, J. et Widhalm, M. (2013). Climate change beliefs, concerns, and attitudes toward adaptation and mitigation among farmers in the Midwestern United States. *Climatic Change*, 117(4), 943-950. 10.1007/s10584-013-0707-6
- Arbuthnott, K., Hajat, S., Heaviside, C. et Vardoulakis, S. (2016). Changes in population susceptibility to heat and cold over time: assessing adaptation to climate change. *Environmental Health*, 15(1), S33.
- Ariano, R., Canonica, G. W. et Passalacqua, G. (2010). Possible role of climate changes in variations in pollen seasons and allergic sensitizations during 27 years. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, 104(3), 215-222. 10.1016/j.anai.2009.12.005
- Armstrong, B., Sera, F., Vicedo-Cabrera, A. M., Abrutzky, R., Åström, D. O., Bell, M. L., Chen, B.-Y., de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, M., Correa, P. M. et Dang, T. N. (2019). The role of humidity in associations of high temperature with mortality: a multicountry, multicity study. *Environmental Health Perspectives*, 127(9), 097007.
- Armstrong, P. M. et Andreadis, T. G. (2010). Eastern equine encephalitis virus in mosquitoes and their role as bridge vectors. *Emerging Infectious Diseases*, 16(12), 1869-1874. 10.3201/eid1612.100640
- Aschemann-Witzel, J., De Hooge, I., Amani, P., Bech-Larsen, T. et Oostindjer, M. (2015). Consumer-related food waste: causes and potential for action. *Sustainability*, 7(6), 6457-6477. 10.3390/su7066457
- Ashley, S. T. et Ashley, W. S. (2008). Flood fatalities in the United States. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47(3), 805-818. 10.1175/2007JAMC1611.1
- Ashley, W. S. et Gilson, C. W. (2009). A reassessment of U.S. lightning mortality. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 90(10), 1501-1518. 10.1175/2009BAMS2765.1

Askew, A. E. et Bowker, J. M. . (2018). Impacts of climate change on outdoor recreation participation: outlook to 2060. *Journal of Park & Recreation Administration*, 36(2), 97-120.

Association canadienne de dermatologie. (s. d.). *Programme de protection solaire*.
<https://dermatology.ca/fr/industrie/industrie-programmes-homologation/pps/>

Association des Allergologues et Immunologues du Québec. (2016a). *L'allergie aux insectes à venin*.
https://allerg.qc.ca/Information_allergique/5_2_insectes.html

Association des Allergologues et Immunologues du Québec. (2016b). *L'allergie aux moisissures*.
https://allerg.qc.ca/Information_allergique/2_3c_moisissures.html

Astell-Burt, T., Feng, X. et Kolt, G. S. (2014). Neighbourhood green space and the odds of having skin cancer: multilevel evidence of survey data from 267072 Australians. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 68(4), 370-374. 10.1136/jech-2013-203043

Atari, D. O., Luginaah, I. N. et Fung, K. (2009). The relationship between odour annoyance scores and modelled ambient air pollution in Sarnia, "Chemical valley", Ontario. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 6(10), 2655-2675. 10.3390/ijerph6102655

Audinet, P., Amado, J.-C. et Rabb, B. (2014). Climate risk management approaches in the electricity sector: lessons from early adapters. Dans A. Troccoli, L. Dubus et S. E. Haupt (dir.), *Weather Matters for Energy* (p. 17-64). Springer New York. 10.1007/978-1-4614-9221-4_2

Auger, N., Bilodeau-Bertrand, M., Labesse, M. E. et Kosatsky, T. (2017). Association of elevated ambient temperature with death from cocaine overdose. *Drug and Alcohol Dependence*, 178, 101-105. 10.1016/j.drugalcdep.2017.04.019

Auger, N., Fraser, W. D., Arbour, L., Bilodeau-Bertrand, M. et Kosatsky, T. (2017). Elevated ambient temperatures and risk of neural tube defects. *Occupational and Environmental Medicine*, 74(5), 315-320. 10.1136/oemed-2016-103956

Auger, N., Fraser, W. D., Sauvé, R., Bilodeau-Bertrand, M. et Kosatsky, T. (2017). Risk of congenital heart defects after ambient heat exposure early in pregnancy. *Environmental Health Perspectives*, 125(1), 8-14. 10.1289/EHP171

Auger, N., Fraser, W. D., Smargiassi, A. et Kosatsky, T. (2015). Ambient heat and sudden infant death: a case-crossover study spanning 30 years in Montreal, Canada. *Environmental Health Perspectives*, 123(7), 712-716. 10.1289/ehp.1307960

Auger, N., Fraser, W. D., Smargiassi, A., Bilodeau-Bertrand, M. et Kosatsky, T. (2017). Elevated outdoor temperatures and risk of stillbirth. *International Journal of Epidemiology*, 46(1), 200-208. 10.1093/ije/dyw077

Auger, N., Naimi, A. I., Smargiassi, A., Lo, E. et Kosatsky, T. (2014). Extreme heat and risk of early delivery among preterm and term pregnancies. *Epidemiology*, 25(3), 344. 10.1097/EDE.0000000000000074

Auger, N., Potter, B. J., Smargiassi, A., Bilodeau-Bertrand, M., Paris, C. et Kosatsky, T. (2017). Association between quantity and duration of snowfall and risk of myocardial infarction. *Canadian Medical Association Journal*, 189(6), E235-E242. 10.1503/cmaj.161064

Auger, N., Rhéaume, M.-A., Bilodeau-Bertrand, M., Tang, T. et Kosatsky, T. (2017). Climate and the eye: case-crossover analysis of retinal detachment after exposure to ambient heat. *Environmental Research*, 157, 103-109. 10.1016/j.envres.2017.05.017

- Austin, E. K., Handley, T., Kiem, A. S., Rich, J. L., Lewin, T. J., Askland, H. H., Askarimarnani, S. S., Perkins, D. A. et Kelly, B. J. (2018). Drought-related stress among farmers: findings from the Australian Rural Mental Health Study. *Medical Journal of Australia*, 209(4), 159-165. 10.5694/mja17.01200
- Austin, S. E., Ford, J. D., Berrang-Ford, L., Araos, M., Parker, S. et Fleury, M. D. (2015). Public health adaptation to climate change in Canadian jurisdictions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(1), 623-651. 10.3390/ijerph120100623
- Avalanche Canada. (2018). *2017-2018 Annual report*. Avalanche Canada. https://issuu.com/avalancheaca/docs/ac_2018_annual_reportissuu
- Ayoub, A., Kosatsky, T., Smargiassi, A., Bilodeau-Bertrand, M. et Auger, N. (2017). Risk of hospitalization for fire-related burns during extreme cold weather. *Environmental Research*, 158, 393-398. 10.1016/j.envres.2017.07.001
- Azevedo, I. M. L. (2014). Consumer end-use energy efficiency and rebound effects. *Annual Review of Environment and Resources*, 39(1), 393-418. 10.1146/annurev-environ-021913-153558
- Azuma, K., Ikeda, K., Kagi, N., Yanagi, U., Hasegawa, K. et Osawa, H. (2014). Effects of water-damaged homes after flooding: health status of the residents and the environmental risk factors. *International Journal of Environmental Health Research*, 24(2), 158-175. 10.1080/09603123.2013.800964
- Babadjouni, R. M., Hodis, D. M., Radwanski, R., Durazo, R., Patel, A., Liu, Q. et Mack, W. J. (2017). Clinical effects of air pollution on the central nervous system; a review. *Journal of Clinical Neuroscience*, 43, 16-24. 10.1016/j.jocn.2017.04.028
- Badawi, A., Shering, M., Rahman, S. et Lindsay, L. R. (2017). A systematic review and meta-analysis for the adverse effects, immunogenicity and efficacy of Lyme disease vaccines: guiding novel vaccine development. *Canadian Journal of Public Health*, 108(1), e62-e70. 10.17269/CJPH.108.5728
- Badawi, A., Velummailum, R., Ryoo, S. G., Senthinathan, A., Yaghoubi, S., Vasileva, D., Ostermeier, E., Plishka, M., Soosaipillai, M. et Arora, P. (2018). Prevalence of chronic comorbidities in dengue fever and West Nile virus: a systematic review and meta-analysis. *PLOS ONE*, 13(7).
- Badjeck, M.-C., Allison, E. H., Halls, A. S. et Dulvy, N. K. (2010). Impacts of climate variability and change on fishery-based livelihoods. *Marine Policy*, 34(3), 375-383. 10.1016/j.marpol.2009.08.007
- Baert, V., Gorus, E., Mets, T., Geerts, C. et Bautmans, I. (2011). Motivators and barriers for physical activity in the oldest old: a systematic review. *Ageing Research Reviews*, 10(4), 464-474. 10.1016/j.arr.2011.04.001
- Bai, L., Li, Q., Wang, J., Lavigne, E., Gasparini, A., Copes, R., Yagouti, A., Burnett, R. T., Goldberg, M. S., Villeneuve, P. J., Cakmak, S. et Chen, H. (2016). Hospitalizations from hypertensive diseases, diabetes, and arrhythmia in relation to low and high temperatures: population-based study. *Scientific Reports*, 6, 30283. 10.1038/srep30283
- Bai, L., Li, Q., Wang, J., Lavigne, É., Gasparini, A., Copes, R., Yagouti, A., Burnett, R. T., Goldberg, M. S. et Cakmak, S. (2017). Increased coronary heart disease and stroke hospitalisations from ambient temperatures in Ontario. *Heart*, 104(8), 673-679.

- Bais, A. F., Lucas, R. M., Bornman, J. F., Williamson, C. E., Sulzberger, B., Austin, A. T., Wilson, S. R., Andrady, A. L., Bernhard, G. et McKenzie, R. L. (2018). Environmental effects of ozone depletion, UV radiation and interactions with climate change: UNEP Environmental Effects Assessment Panel, update 2017. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 17(2), 127-179.
- Bais, A. F., McKenzie, R., Bernhard, G., Aucamp, P., Ilyas, M., Madronich, S. et Tourpali, K. (2015). Ozone depletion and climate change: impacts on UV radiation. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 14(1), 19-52.
- Balion, C., Griffith, L. E., Striffler, L., Henderson, M., Patterson, C., Heckman, G., Llewellyn, D. J. et Raina, P. (2012). Vitamin D, cognition, and dementia A systematic review and meta-analysis. *Neurology*, 79(13), 1397-1405. 10.1212/WNL.0b013e31826c197f
- Bangalee, M. Z. I., Lin, S. Y. et Miao, J. J. (2012). Wind driven natural ventilation through multiple windows of a building: a computational approach. *Energy and Buildings*, 45, 317-325. 10.1016/j.enbuild.2011.11.025
- Barbeau, B., Carrière, A., Prévost, M., Zamyadi, A. et Chevalier, P. (2009). *Climate change in southern Quebec: an analysis of the vulnerability of Québec drinking water facilities to toxic cyanobacteria*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/node/2905>
- Barn, P., Roberecki, S., Jenkins, P., Hasselback, P. et Rideout, K. (2014). *Evidence review: Home and community clean air shelters to protect public health during wildfire smoke events*. British Columbia Centre for Disease Control.
- Barnes, C., Pacheco, F., Landuyt, J., Hu, F. et Portnoy, J. (2001). Hourly variation of airborne ragweed pollen in Kansas City. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, 86(2), 166-171. 10.1016/S1081-1206(10)62686-5
- Barnett, A. G., Tong, S. et Clements, A. (2010). What measure of temperature is the best predictor of mortality? *Environmental research*, 110(6), 604-611.
- Barreca, A. I. (2012). Climate change, humidity, and mortality in the United States. *Journal of Environmental Economics and Management*, 63(1), 19-34.
- Bartholdson, S. et von Schreeb, J. (2018). Natural disasters and injuries: what does a surgeon need to know? *Current trauma reports*, 1-6.
- Barwise, Y. et Kumar, P. (2020). Designing vegetation barriers for urban air pollution abatement: a practical review for appropriate plant species selection. *Climate and Atmospheric Science*, 3(1), 1-19. 10.1038/s41612-020-0115-3
- Basu, R., Pearson, D., Malig, B., Broadwin, R. et Green, R. (2012). The effect of high ambient temperature on emergency room visits. *Epidemiology*, 23(6), 813. 10.1097/EDE.0b013e31826b7f97
- Bauwens, J. et Tosone, C. (2014). Posttraumatic growth following Hurricane Katrina: the influence of clinicians' trauma histories and primary and secondary traumatic stress. *Traumatology*, 20(3), 209.
- Baxi, S. N. et Phipatanakul, W. (2010). The role of allergen exposure and avoidance in asthma. *Adolescent Medicine: State of the Art Reviews*, 21(1), 57-ix.

- Bayentin, L., El Adlouni, S., Ouarda, T. B., Gosselin, P., Doyon, B. et Chebana, F. (2010). Spatial variability of climate effects on ischemic heart disease hospitalization rates for the period 1989-2006 in Quebec, Canada. *International Journal of Health Geographics*, 9, 5. 10.1186/1476-072X-9-5
- Bazerghi, C., McKay, F. H. et Dunn, M. (2016). The role of food banks in addressing food insecurity: a systematic review. *Journal of Community Health*, 41(4), 732-740. 10.1007/s10900-015-0147-5
- Beach, R. H., Sulser, T. B., Crimmins, A., Cenacchi, N., Cole, J., Fukagawa, N. K., Mason-D'Croz, D., Myers, S., Sarofim, M. C., Smith, M. et Ziska, L. H. (2019). Combining the effects of increased atmospheric carbon dioxide on protein, iron, and zinc availability and projected climate change on global diets: a modelling study. *The Lancet Planetary Health*, 3(7), e307-e317. 10.1016/S2542-5196(19)30094-4
- Beaudoin, J., Farzin, Y. H. et Lin Lawell, C.-Y. C. (2015). Public transit investment and sustainable transportation: A review of studies of transit's impact on traffic congestion and air quality. *Research in Transportation Economics*, 52, 15-22. 10.1016/j.retrec.2015.10.004
- Beaudoin, M. et Gosselin, P. (2016). An effective public health program to reduce urban heat islands in Quebec, Canada. *Pan American Journal of Public Health*, 40(3), 160-166.
- Beaudoin, M. et Levasseur, M.-E. (2017). *Verdir les villes pour la santé de la population*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/publications/2265>
- Beaumont, J.-P. et Massicotte, R. (2006). *Implanter un couvert végétal - Document d'information sur la technique d'implantation d'un couvert végétal compétitif afin de lutter contre l'herbe à poux (Ambrosia artemisiifolia L.)*. Table québécoise sur l'herbe à poux.
- Becker-Algeri, T. A., Castagnaro, D., de Bortoli, K., de Souza, C., Drunkler, D. A. et Badiale-Furlong, E. (2016). Mycotoxins in bovine milk and dairy products: a review. *Journal of Food Science*, 81(3), R544-552. 10.1111/1750-3841.13204
- Bedsworth, L. W. et Hanak, E. (2010). Adaptation to climate change. *Journal of the American Planning Association*, 76(4), 477-495. 10.1080/01944363.2010.502047
- Beelen, R., Raaschou-Nielsen, O., Stafoggia, M., Andersen, Z. J., Weinmayr, G., Hoffmann, B., Wolf, K., Samoli, E., Fischer, P., Nieuwenhuijsen, M., Vineis, P., Xun, W. W., Katsouyanni, K., Dimakopoulou, K., Oudin, A., Forsberg, B., Modig, L., Havulinna, A. S., Lanki, T., ... Hoek, G. (2014). Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project. *The Lancet*, 383(9919), 785-795. 10.1016/S0140-6736(13)62158-3
- Beggs, P. J. (2015). Environmental allergens: from asthma to hay fever and beyond. *Current Climate Change Reports*, 1(3), 176-184. 10.1007/s40641-015-0018-2
- Beggs, P. J. et Walczyk, N. E. (2008). Impacts of climate change on plant food allergens: a previously unrecognized threat to human health. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 1(2), 119-123. 10.1007/s11869-008-0013-z
- Behraves, C. B., Jones, T. F., Vugia, D. J., Long, C., Marcus, R., Smith, K., Thomas, S., Zansky, S., Fullerton, K. E., Henao, O. L. et Scallan, E. (2011). Deaths associated with bacterial pathogens transmitted commonly through food: foodborne diseases active surveillance network (FoodNet), 1996-2005. *Journal of Infectious Diseases*, 204(2), 263-267. 10.1093/infdis/jir263

- Bekkar, B., Pacheco, S., Basu, R. et DeNicola, N. (2020). Association of air pollution and heat exposure with preterm birth, low birth weight, and stillbirth in the US: a systematic review. *JAMA Network Open*, 3(6), e208243-e208243. 10.1001/jamanetworkopen.2020.8243
- Bélanger, D., Abdous, B., Valois, P., Gosselin, P. et Sidi, E. A. L. (2016). A multilevel analysis to explain self-reported adverse health effects and adaptation to urban heat: a cross-sectional survey in the deprived areas of 9 Canadian cities. *BMC Public Health*, 16. 10.1186/s12889-016-2749-y
- Bélanger, D., Bustinza, R. et Gosselin, P. (2015). *Médicaments et effets indésirables: recommandations cliniques en périodes de canicule*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/publications/2036>
- Bélanger, D., Gosselin, P., Valois, P. et Abdous, B. (2006). *Vagues de froid au Québec méridional: adaptations actuelles et suggestions d'adaptations futures*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/node/2854>
- Bélanger, D., Gosselin, P., Valois, P. et 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), 11028-11053. 10.3390/ijerph111111028
- Bélanger, D., Gosselin, P., Valois, P. et Abdous, B. (2015a). *Caractéristiques et perceptions du quartier et du logement associées aux impacts sanitaires néfastes autorapportés lorsqu'il fait très chaud et humide en été dans les secteurs urbains les plus défavorisés: étude transversale dans 9 villes du Québec*. Institut national de la recherche scientifique. <http://espace.inrs.ca/2537/>
- Bélanger, D., Gosselin, P., Valois, P. et Abdous, B. (2015b). *Climatisation à domicile lorsqu'il fait très chaud et humide en été dans les secteurs urbains les plus défavorisés: étude transversale dans 9 villes du Québec*. Institut national de la recherche scientifique. <http://espace.inrs.ca/2693/>
- Bélanger, D., Gosselin, P., Valois, P. et Abdous, B. (2015c). *Impacts sanitaires néfastes perçus à la chaleur et leurs déterminants: enquête transversale dans les quartiers défavorisés de neuf villes du Québec: Rapport final*. Institut national de la recherche scientifique. <http://espace.inrs.ca/2536/>
- Bell, M. L. et Dominici, F. (2008). Effect modification by community characteristics on the short-term effects of ozone exposure and mortality in 98 US communities. *American Journal of Epidemiology*, 167(8), 986-997. 10.1093/aje/kwm396
- Bell, M. L., Zanobetti, A. et Dominici, F. (2014). Who is more affected by ozone pollution? A systematic review and meta-analysis. *American Journal of Epidemiology*, 180(1), 15-28. 10.1093/aje/kwu115
- Bell, S. A. et Folkerth, L. A. (2016). Women's mental health and intimate partner violence following natural disaster: a scoping review. *Prehospital and Disaster Medicine*, 31(6), 648-657. 10.1017/S1049023X16000911
- Bell, S. A., Abir, M., Choi, H., Cooke, C. et Iwashyna, T. (2018). All-cause hospital admissions among older adults after a natural disaster. *Annals of Emergency Medicine*, 71(6), 746-754.
- Bellaire, S., Jamieson, B., Thumlert, S., Goodrich, J. et Statham, G. (2016). Analysis of long-term weather, snow and avalanche data at Glacier National Park, B.C., Canada. *Cold Regions Science and Technology*, 121, 118-125. 10.1016/j.coldregions.2015.10.010

- Benmarhnia, T., Bailey, Z., Kaiser, D., Auger, N., King, N. et Kaufman, J. S. (2016). A difference-in-differences approach to assess the effect of a heat action plan on heat-related mortality, and differences in effectiveness according to sex, age, and socioeconomic status (Montreal, Quebec). *Environmental Health Perspectives*, 124(11), 1694-1699. 10.1289/EHP203
- Benmarhnia, T., Deguen, S., Kaufman, J. S. et Smargiassi, A. (2015). Review article: vulnerability to heat-related mortality - a systematic review, meta-analysis, and meta-regression analysis. *Epidemiology*, 26(6), 781. 10.1097/EDE.0000000000000375
- Berardi, U. (2016). The outdoor microclimate benefits and energy saving resulting from green roofs retrofits. *Energy and Buildings*, 121, 217-229. 10.1016/j.enbuild.2016.03.021
- Bereitschaft, B. et Debbage, K. (2013). Urban form, air pollution, and CO2 emissions in large U.S. metropolitan areas. *The Professional Geographer*, 65(4), 612-635. 10.1080/00330124.2013.799991
- Bergeron, Y., Cyr, D., Girardin, M. P. et Carcaillet, C. (2011). Will climate change drive 21st century burn rates in Canadian boreal forest outside of its natural variability: collating global climate model experiments with sedimentary charcoal data. *International Journal of Wildland Fire*, 19(8), 1127-1139. 10.1071/WF09092
- Bergmann, R. L., Edenharter, G., Bergmann, K. E., Lau, S. et Wahn, U. (2000). Socioeconomic status is a risk factor for allergy in parents but not in their children. *Clinical and Experimental Allergy: Journal of the British Society for Allergy and Clinical Immunology*, 30(12), 1740-1745. 10.1046/j.1365-2222.2000.00927.x
- Berman, J. D., Ebisu, K., Peng, R. D., Dominici, F. et Bell, M. L. (2017). Drought and the risk of hospital admissions and mortality in older adults in western USA from 2000 to 2013: a retrospective study. *The Lancet Planetary Health*, 1(1), e17-e25. 10.1016/S2542-5196(17)30002-5
- Bernatchez, P. (2015). *Bilan des connaissances sur l'érosion et la submersion côtière au Québec: enjeux, causes et perspectives*. Communication présentée au Colloque sur la sécurité civile et incendie 2015. https://www.securitepublique.gouv.qc.ca/fileadmin/Documents/securite_civile/colloques/2015/presentations/bernatchez2015.pdf
- Bernatchez, P. et Marie, G. (2017). *L'adaptation aux aléas côtiers dans un contexte de changements climatiques: portrait des besoins exprimés et des outils proposés à l'échelle des MRC de l'Est du Québec*. Université du Québec à Rimouski. https://ldgizc.uqar.ca/Web/docs/default-source/default-document-library/portrait_besoins_outils_mrc_est_qc.pdf?sfvrsn=8471b646_2
- Bernatchez, P., Dugas, S., Fraser, C. et Da Silva, L. (2015). *Évaluation économique des impacts potentiels de l'érosion des côtes du Québec maritime dans un contexte de changements climatiques*. Ouranos. https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportBernatchez2015_FR.pdf
- Bernatsky, S., Smargiassi, A., Barnabe, C., Svenson, L. W., Brand, A., Martin, R. V., Hudson, M., Clarke, A. E., Fortin, P. R., van Donkelaar, A., Edworthy, S., Belisle, P. et Joseph, L. (2016). Fine particulate air pollution and systemic autoimmune rheumatic disease in two Canadian provinces. *Environmental Research*, 146, 85-91. 10.1016/j.envres.2015.12.021
- Bernstein, A. M., Bloom, D. E., Rosner, B. A., Franz, M. et Willett, W. C. (2010). Relation of food cost to healthfulness of diet among US women. *American Journal of Clinical Nutrition*, 92(5), 1197-1203. 10.3945/ajcn.2010.29854

- Berry, H. L., Bowen, K. et Kjellstrom, T. (2010). Climate change and mental health: a causal pathways framework. *International Journal of Public Health*, 55(2), 123-132.
- Berry, H. L., Hogan, A., Owen, J., Rickwood, D. et Fragar, L. (2011). Climate change and farmers' mental health: risks and responses. *Asia Pacific Journal of Public Health*, 23(2_suppl), 119S-132S.
- Berzitis, E. A., Minigan, J. N., Hallett, R. H. et Newman, J. A. (2014). Climate and host plant availability impact the future distribution of the bean leaf beetle (*Cerotoma trifurcata*). *Global Change Biology*, 20(9), 2778-2792. 10.1111/gcb.12557
- Bielory, L., Lyons, K. et Goldberg, R. (2012). Climate change and allergic disease. *Current Allergy and Asthma Reports*, 12(6), 485-494. 10.1007/s11882-012-0314-z
- Biggs, A., Brough, P. et Barbour, J. P. (2014). Exposure to extraorganizational stressors: impact on mental health and organizational perceptions for police officers. *International Journal of Stress Management*, 21(3), 255-282. 10.1037/a0037297
- Bishop-Williams, K. E., Berke, O., Pearl, D. L. et Kelton, D. F. (2016). Mapping rural community and dairy cow heat stress in Southern Ontario: A common geographic pattern from 2010 to 2012. *Archives of Environmental & Occupational Health*, 71(4), 199-207. 10.1080/19338244.2015.1058235
- Bjerg, A., Ekerljung, L., Eriksson, J., Näslund, J., Sjölander, S., Rönmark, E., Dahl, Å., Holmberg, K., Wennergren, G., Torén, K., Borres, M. P., Lötvall, J. et Lundbäck, B. (2016). Increase in pollen sensitization in Swedish adults and protective effect of keeping animals in childhood. *Clinical & Experimental Allergy*, 46(10), 1328-1336. 10.1111/cea.12757
- Black, C., Tesfaigzi, Y., Bassein, J. A. et Miller, L. A. (2017). Wildfire smoke exposure and human health: Significant gaps in research for a growing public health issue. *Environmental toxicology and pharmacology*, 55, 186-195.
- Blais-Stevens, A., Behnia, O. et Castagner, A. (2018). *Historical landslides that have resulted in fatalities in Canada (1771-2018)*. Ressources naturelles Canada.
- Blanchet, C. et Rochette, L. (2008). *Nutrition and food consumption among the Inuit of Nunavik*. Régie régionale de la santé et des Services sociaux Nunavik et Institut national de santé publique du Québec.
https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/resumes_nunavik/anglais/esi_nutrition.pdf
- Blando, J., Bielory, L., Nguyen, V., Diaz, R. et Jeng, H. A. (2012). Anthropogenic climate change and allergic diseases. *Atmosphere*, 3(1), 200-212. 10.3390/atmos3010200
- Blankholm, H. P., Lidén, K., Kovačević, N. et Angerbjörn, K. (2020). Dangerous food. Climate change induced elevated heavy metal levels in Younger Stone Age seafood in northern Norway. *Quaternary International*. 10.1016/j.quaint.2020.01.019
- Boada, L. D., Henríquez-Hernández, L. A. et Luzardo, O. P. (2016). The impact of red and processed meat consumption on cancer and other health outcomes: epidemiological evidences. *Food and Chemical Toxicology*, 92, 236-244. 10.1016/j.fct.2016.04.008
- Bobb, J. F., Peng, R. D., Bell, M. L. et Dominici, F. (2014). Heat-related mortality and adaptation to heat in the United States. *Environmental Health Perspectives*, 122(8), 811-816.

- Boeckmann, M. et Rohn, I. (2014). Is planned adaptation to heat reducing heat-related mortality and illness? A systematic review. *Bmc Public Health*, 14, 1112. 10.1186/1471-2458-14-1112
- Bohrer, B. M. (2017). Review: Nutrient density and nutritional value of meat products and non-meat foods high in protein. *Trends in Food Science & Technology*, 65, 103-112. 10.1016/j.tifs.2017.04.016
- Böhrer, M., Stewart, S. A. et Hurley, K. F. (2018). Epidemiology of electrical and lightning-related injuries among Canadian children and youth, 1997-2010: a Canadian Hospitals Injury Reporting and Prevention Program (CHIRPP) study. *Canadian Journal of Emergency Medicine*, 20(4), 586-591. 10.1017/cem.2017.49
- Bolduc, A. et Robert, C. (2016). *Bilan de la qualité de l'eau potable au Québec 2010-2014*. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/potable/bilans/bilan-qualite2010-2014.pdf>
- Bolitho, A. et Miller, F. (2017). Heat as emergency, heat as chronic stress: policy and institutional responses to vulnerability to extreme heat. *Local Environment*, 22(6), 682-698.
- Bonaiuto, M., Alves, S., De Dominicis, S. et Petruccelli, I. (2016). Place attachment and natural hazard risk: research review and agenda. *Journal of Environmental Psychology*, 48, 33-53.
- Bonsal, B. R., Peters, D. L., Seglenieks, F., Rivera, A. et Berg, A. (2019). Chapitre 6 : Évolution de la disponibilité de l'eau douce à l'échelle du Canada. Dans E. Bush et D. S. Lemmen (dir.), *Rapport sur le climat changeant du Canada* (Gouvernement du Canada).
- Bonsal, B. R., Wheaton, E. E., Chipanshi, A. C., Lin, C., Sauchyn, D. J. et Wen, L. (2011). Drought research in Canada: a review. *Atmosphere-Ocean*, 49(4), 303-319. 10.1080/07055900.2011.555103
- Boorgula, G. D. Y., Peterson, A. T., Foley, D. H., Ganta, R. R. et Raghavan, R. K. (2020). Assessing the current and future potential geographic distribution of the American dog tick, *Dermacentor variabilis* (Say) (Acari: Ixodidae) in North America. *PLOS ONE*, 15(8), e0237191. 10.1371/journal.pone.0237191
- Borchers Arriagada, N., Horsley, J. A., Palmer, A. J., Morgan, G. G., Tham, R. et Johnston, F. H. (2019). Association between fire smoke fine particulate matter and asthma-related outcomes: systematic review and meta-analysis. *Environmental Research*, 179, 108777. 10.1016/j.envres.2019.108777
- Borchert, S. M., Osland, M. J., Enwright, N. M. et Griffith, K. T. (2018). Coastal wetland adaptation to sea level rise: Quantifying potential for landward migration and coastal squeeze. *Journal of Applied Ecology*, 55(6), 2876-2887. 10.1111/1365-2664.13169
- Bosch-Cano, F., Bernard, N., Sudre, B., Gillet, F., Thibaudon, M., Richard, H., Badot, P.-M. et Ruffaldi, P. (2011). Human exposure to allergenic pollens: A comparison between urban and rural areas. *Environmental Research*, 111(5), 619-625. 10.1016/j.envres.2011.04.001
- Botzen, W. J. W., Aerts, J. C. J. H. et van den Bergh, J. C. J. M. (2009). Willingness of homeowners to mitigate climate risk through insurance. *Ecological Economics*, 68(8), 2265-2277. 10.1016/j.ecolecon.2009.02.019

- Bouchard, C., Aenishaenslin, C., Rees, E. E., Koffi, J. K., Pelcat, Y., Ripoche, M., Milord, F., Lindsay, L. R., Ogden, N. H. et Leighton, P. A. (2018). Integrated social-behavioral and ecological risk maps to prioritize local public health responses to Lyme disease. *Environmental Health Perspectives*, 126(4), 047008.
- Bouchard, C., Dibernardo, A., Koffi, J., Wood, H., Leighton, P. et Lindsay, L. (2019). Increased risk of tick-borne diseases with climate and environmental changes. *Canada Communicable Disease Report*, 45(4), 83-89. 10.14745/ccdr.v45i04a02
- Bouchard, C., Leonard, E., Koffi, J. K., Pelcat, Y., Peregrine, A., Chilton, N., Rochon, K., Lysyk, T., Lindsay, L. R. et Ogden, N. H. (2015). The increasing risk of Lyme disease in Canada. *The Canadian Veterinary Journal*, 56(7), 693-699.
- Bouchard, C., Lowe, A.-M. et Simon, A. (2017). *Portrait des zoonoses priorisées par l'Observatoire multipartite québécois sur les zoonoses et l'adaptation aux changements climatiques en 2015*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/publications/2290>
- Boulanger, Y., Gauthier, S. et Burton, P. J. (2014). A refinement of models projecting future Canadian fire regimes using homogeneous fire regime zones. *Canadian Journal of Forest Research*, 44(4), 365-376. 10.1139/cjfr-2013-0372
- Boulfroy, E., Khaldoune, J., Grenon, F., Fournier, R. et Talbot, B. (2013). *Conservation des îlots de fraîcheur urbains - Description de la méthode suivie pour identifier et localiser les îlots de fraîcheur et de chaleur (méthode en 9 niveaux)*. CERFO et Université de Sherbrooke.
- Bourduas-Crouhen, V., Siron, R. et Blondlot, A. (2017). *État des lieux: des pêches et de l'aquaculture au Québec en lien avec les changements climatiques*. Ouranos. https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/Etat_peches_aquaculture2017.pdf
- Boyd, J., Haegeli, P., Abu-Laban, R. B., Shuster, M. et Butt, J. C. (2009). Patterns of death among avalanche fatalities: a 21-year review. *Canadian Medical Association Journal*, 180(5), 507-512. 10.1503/cmaj.081327
- Boyer, T. A., Melstrom, R. T. et Sanders, L. D. (2017). Effects of climate variation and water levels on reservoir recreation. *Lake and Reservoir Management*, 33(3), 223-233. 10.1080/10402381.2017.1285375
- Bråbäck, L., Hjern, A. et Rasmussen, F. (2005). Body mass index, asthma and allergic rhinoconjunctivitis in Swedish conscripts—a national cohort study over three decades. *Respiratory Medicine*, 99(8), 1010-1014. 10.1016/j.rmed.2005.02.004
- Bransfield, R. C. (2017). Suicide and Lyme and associated diseases. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, 13, 1575-1587. 10.2147/NDT.S136137
- Bransfield, R. C. (2018). Aggressiveness, violence, homicidality, homicide, and Lyme disease. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, 14, 693-713. 10.2147/NDT.S155143
- Bränström, R., Kasparian, N. A., Chang, Y., Affleck, P., Tibben, A., Aspinwall, L. G., Azizi, E., Baron-Epel, O., Battistuzzi, L., Bergman, W., Bruno, W., Chan, M., Cuellar, F., Dębniak, T., Pjanova, D., Ertmański, S., Figl, A., Gonzalez, M., Hayward, N. K., ... Brandberg, Y. (2010). Predictors of sun protection behaviors and severe sunburn in an international online study. *Cancer Epidemiology and Prevention Biomarkers*, 19(9), 2199-2210. 10.1158/1055-9965.EPI-10-0196

- Brassard, D., Laramée, C., Provencher, V., Vohl, M.-C., Robitaille, J., Lemieux, S. et Lamarche, B. (2019). Consumption of low nutritive value foods and cardiometabolic risk factors among French-speaking adults from Quebec, Canada: the PREDISE study. *Nutrition Journal*, 18(1), 49. 10.1186/s12937-019-0474-y
- Bratton, R. L., Whiteside, J. W., Hovan, M. J., Engle, R. L. et Edwards, F. D. (2008). Diagnosis and treatment of Lyme disease. *Mayo Clinic Proceedings*, 83(5), 566-571. 10.4065/83.5.566
- Braubach, M., Jacobs, D. E. et Ormandy, D. (2011). Environmental burden of disease associated with inadequate housing. *World Health Organization*.
- Brei, B., Brownstein, J. S., George, J. E., Pound, J. M., Miller, J. A., Daniels, T. J., Falco, R. C., Stafford III, K. C., Schulze, T. L. et Mather, T. N. (2009). Evaluation of the United States Department of Agriculture northeast area-wide tick control project by meta-analysis. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 9(4), 423-430.
- Breton, M.-C., Garneau, M., Fortier, I., Guay, F. et Louis, J. (2006). Relationship between climate, pollen concentrations of Ambrosia and medical consultations for allergic rhinitis in Montreal, 1994–2002. *Science of The Total Environment*, 370(1), 39-50. 10.1016/j.scitotenv.2006.05.022
- Briand, S., Adam-Poupart, A., Irace-Cima, A. et Thivierge, K. (2017). *Cartographie du risque d'acquisition de la maladie de Lyme au Québec: année 2017*. Institut national de santé publique du Québec.
https://www.inspq.qc.ca/sites/default/files/publications/2330_cartographie_risque_acquisition_maladie_lyme.pdf
- Brisson, G., Dubé, K., Doyon, S. et Lévesque, B. (2017). Social construction of cyanobacteria blooms in Quebec: a matter of perceptions and risk management. *SAGE Open*, 7(1), 2158244017697361. 10.1177/2158244017697361
- Brocherie, F., Girard, O. et Millet, G. P. (2015). Emerging environmental and weather challenges in outdoor sports. *Climate*, 3(3), 492-521.
- Brock, R. L., O'Hara, M. W., Hart, K. J., McCabe, J. E., Williamson, J. A., Laplante, D. P., Yu, C. et King, S. (2014). Partner support and maternal depression in the context of the Iowa floods. *Journal of Family Psychology*, 28(6), 832-843. 10.1037/fam0000027
- Brook, R. D., Cakmak, S., Turner, M. C., Brook, J. R., Crouse, D. L., Peters, P. A., Donkelaar, A. van, Villeneuve, P. J., Brion, O., Jerrett, M., Martin, R. V., Rajagopalan, S., Goldberg, M. S., Pope, C. A. et Burnett, R. T. (2013). Long-term fine particulate matter exposure and mortality from diabetes in Canada. *Diabetes Care*, 36(10), 3313-3320. 10.2337/dc12-2189
- Brook, R. D., Rajagopalan, S., Pope, C. A., Brook, J. R., Bhatnagar, A., Diez-Roux, A. V., Holguin, F., Hong, Y., Luepker, R. V., Mittleman, M. A., Peters, A., Siscovick, D., Smith, S. C., Whitsel, L. et Kaufman, J. D. (2010). Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: an update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, 121(21), 2331-2378. 10.1161/CIR.0b013e3181dbee1
- Brown, A. J., Goodacre, S. W. et Cross, S. (2010). Do emergency department attendances by homeless people increase in cold weather? *Emergency Medicine Journal*, 27(7), 526-529.
<https://doi.org/10.1136/emj.2009.076679>
- Brown, L. et Murray, V. (2013). Examining the relationship between infectious diseases and flooding in Europe. *Disaster Health*, 1(2), 117-127. 10.4161/dish.25216

- Brown, M., Agyapong, V., Greenshaw, A. J., Cribben, I., Brett-MacLean, P., Drolet, J., McDonald-Harker, C., Omeje, J., Mankowski, M., Noble, S., Kitching, D. et Silverstone, P. H. (2019). After the Fort McMurray wildfire there are significant increases in mental health symptoms in grade 7-12 students compared to controls. *BMC Psychiatry*, 19(1), 18. 10.1186/s12888-018-2007-1
- Brown, T., Dassonville, C., Derbez, M., Ramalho, O., Kirchner, S., Crump, D. et Mandin, C. (2015). Relationships between socioeconomic and lifestyle factors and indoor air quality in French dwellings. *Environmental Research*, 140, 385-396. 10.1016/j.envres.2015.04.012
- Brubacher, J., Allen, D. M., Déry, S. J., Parkes, M. W., Chhetri, B., Mak, S., Sobie, S. et Takaro, T. K. (2020). Associations of five food- and water-borne diseases with ecological zone, land use and aquifer type in a changing climate. *Science of The Total Environment*, 728, 138808. 10.1016/j.scitotenv.2020.138808
- Bruce, M., Zulz, T. et Koch, A. (2016). Surveillance of infectious diseases in the Arctic. *Public health*, 137, 5-12.
- Bruening, M., Argo, K., Payne-Sturges, D. et Laska, M. (2017). The struggle is real: a systematic review of food insecurity on post-secondary campuses. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 117(11), 1767-1791. 10.1016/j.jand.2017.05.022
- Bryant, C., Singh, B., Thomassin, P. et Baker, L. (2007). *Vulnérabilités et adaptation aux changements climatiques au Québec au niveau de la ferme: leçons tirées de la gestion du risque et de l'adaptation à la variabilité climatique par les agriculteurs*. Ressources naturelles Canada et Ouranos. https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportBryant2007_FR.pdf
- Bubeck, P., Botzen, W. J. et Aerts, J. C. (2012). A review of risk perceptions and other factors that influence flood mitigation behavior. *Risk Analysis: An International Journal*, 32(9), 1481-1495.
- Bunker, A., Wildenhain, J., Vandenberg, A., Henschke, N., Rocklöv, J., Hajat, S. et Sauerborn, R. (2016). Effects of air temperature on climate-sensitive mortality and morbidity outcomes in the elderly; a systematic review and meta-analysis of epidemiological evidence. *EBioMedicine*, 6, 258-268. 10.1016/j.ebiom.2016.02.034
- Burkhardt, J., Bayham, J., Wilson, A., Berman, J. D., O'Dell, K., Ford, B., Fischer, E. V. et Pierce, J. R. (2019). The relationship between monthly air pollution and violent crime across the United States. *Journal of Environmental Economics and Policy*, 9(2), 1-18. 10.1080/21606544.2019.1630014
- Burks, A. W. (2015). The changing field of food allergy. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice*, 3(1), 39-41.
- Burnett, M. E. et Wang, S. Q. (2011). Current sunscreen controversies: a critical review. *Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine*, 27(2), 58-67. 10.1111/j.1600-0781.2011.00557.x
- Burton, H., Rabito, F., Danielson, L. et Takaro, T. K. (2016). Health effects of flooding in Canada: a 2015 review and description of gaps in research. *Canadian Water Resources Journal*, 41(1-2), 238-249. 10.1080/07011784.2015.1128854
- Bush, E. et Lemmen, D. S. (2019). *Rapport sur le climat changeant du Canada*. Gouvernement du Canada. <https://www.rncan.gc.ca/environnement/impacts-adaptation/21188>

- Bush, L. M. et Perez, M. T. (2018). *Tularémie*. Le manuel Merck. <https://www.merckmanuals.com/fr-ca/professional/maladies-infectieuses/bacilles-gram-n%C3%A9gatifs/tular%C3%A9mie?query=tular%C3%A9mie>
- Bush, R. K. (2011). Does allergen avoidance work? *Immunology and Allergy Clinics*, 31(3), 493-507. 10.1016/j.iac.2011.05.005
- Bustinza, R. et Demers-Bouffard, D. (à paraître). *Mesures d'adaptation au regard de la chaleur*. Institut national de santé publique du Québec.
- Bustinza, R., Lebel, G., Gosselin, P., Bélanger, D. et Chebana, F. (2013). Health impacts of the July 2010 heat wave in Québec, Canada. *BMC Public Health*, 13(1), 56. 10.1186/1471-2458-13-56
- Bustinza, R., Tairou, F. O., Gosselin, P. et Bélanger, D. (2010). *Proposition d'indicateurs aux fins de vigie et de surveillance des troubles de la santé liés à la foudre et aux incendies de forêt*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/publications/1223>
- Buteau, S., Goldberg, M. S., Burnett, R. T., Gasparini, A., Valois, M.-F., Brophy, J. M., Crouse, D. L. et Hatzopoulou, M. (2018). Associations between ambient air pollution and daily mortality in a cohort of congestive heart failure: case-crossover and nested case-control analyses using a distributed lag nonlinear model. *Environment International*, 113, 313-324. 10.1016/j.envint.2018.01.003
- Buters, J. T. M., Antunes, C., Galveias, A., Bergmann, K. C., Thibaudon, M., Galán, C., Schmidt-Weber, C. et Oteros, J. (2018). Pollen and spore monitoring in the world. *Clinical and Translational Allergy*, 8(1), 9. 10.1186/s13601-018-0197-8
- Butler, S. T. et Fosko, S. W. (2010). Increased prevalence of left-sided skin cancers. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 63(6), 1006-1010. 10.1016/j.jaad.2009.11.032
- Cabrera, S. E., Mindell, J. S., Toledo, M., Alvo, M. et Ferro, C. J. (2016). Associations of Blood Pressure With Geographical Latitude, Solar Radiation, and Ambient Temperature: Results From the Chilean Health Survey, 2009–2010. *American Journal of Epidemiology*, 183(11), 1071-1073. 10.1093/aje/kww037
- Caillaud, D., Martin, S., Segala, C., Besancenot, J.-P., Clot, B., Thibaudon, M. et Network, on behalf of the F. A. (2014). Effects of airborne birch pollen levels on clinical symptoms of seasonal allergic rhinoconjunctivitis. *International Archives of Allergy and Immunology*, 163(1), 43-50. 10.1159/000355630
- Caillaud, D., Thibaudon, M., Martin, S., Ségala, C., Besancenot, J. P., Clot, B., François, H. et French Aerobiology Network. (2014). Short-term effects of airborne ragweed pollen on clinical symptoms of hay fever in a panel of 30 patients. *Journal of Investigational Allergology & Clinical Immunology*, 24(4), 249-256.
- Cakmak, S., Dales, R. E., Judek, S. et Coates, F. (2005). Does socio-demographic status Influence the effect of pollens and molds on hospitalization for asthma? Results from a time-series study in 10 Canadian cities. *Annals of Epidemiology*, 15(3), 214-218. 10.1016/j.annepidem.2004.06.001
- Cakmak, S., Hebborn, C., Pinault, L., Lavigne, É., Vanos, J., Crouse, D. L. et Tjepkema, M. (2018). Associations between long-term PM2.5 and ozone exposure and mortality in the Canadian Census Health and Environment Cohort (CANHEC), by spatial synoptic classification zone. *Environment International*, 111, 200-211. 10.1016/j.envint.2017.11.030

- Calderón-Garcidueñas, L., Solt, A. C., Henríquez-Roldán, C., Torres-Jardón, R., Nuse, B., Herritt, L., Villarreal-Calderón, R., Osnaya, N., Stone, I., García, R., Brooks, D. M., González-Maciel, A., Reynoso-Robles, R., Delgado-Chávez, R. et Reed, W. (2008). Long-term air pollution exposure is associated with neuroinflammation, an altered innate immune response, disruption of the blood-brain barrier, ultrafine particulate deposition, and accumulation of amyloid β -42 and α -synuclein in children and young adults. *Toxicologic Pathology*, 36(2), 289-310. 10.1177/0192623307313011
- Calmels, F., Doré, G., Kong, X. et Roy, L. P. (2016). *Vulnerability of the north Alaska Highway to permafrost thaw: design options and climate change adaptation*. Northern Climate Exchange, Yukon Research Centre.
- Cameron, D. J., Johnson, L. B. et Maloney, E. L. (2014). Evidence assessments and guideline recommendations in Lyme disease: the clinical management of known tick bites, erythema migrans rashes and persistent disease. *Expert Review of Anti-infective Therapy*, 12(9), 1103-1135. 10.1586/14787210.2014.940900
- Campagna, S., Lévesque, B., Anassour-Laouan-Sidi, E., Côté, S., Serhir, B., Ward, B. J., Libman, M. D., Drebot, M. A., Makowski, K., Andonova, M., Ndao, M. et Dewailly, É. (2011). Seroprevalence of 10 zoonotic infections in 2 Canadian Cree communities. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease*, 70(2), 191-199. 10.1016/j.diagmicrobio.2011.01.009
- Campbell, B. M., Vermeulen, S. J., Aggarwal, P. K., Corner-Dolloff, C., Girvetz, E., Loboguerrero, A. M., Ramirez-Villegas, J., Rosenstock, T., Sebastian, L. et Thornton, P. K. (2016). Reducing risks to food security from climate change. *Global Food Security*, 11, 34-43.
- Canadian Cancer Society. (2010). *Insight on cancer: Sun exposure and protective behaviours in Ontario: An Ontario Report based on the 2006 Second National Sun Survey*.
- Cann, K., Thomas, D. R., Salmon, R., Wyn-Jones, A. et Kay, D. (2013). Extreme water-related weather events and waterborne disease. *Epidemiology & Infection*, 141(4), 671-686.
- Canuel, M. (2019). *Prévalence des symptômes et du diagnostic de l'asthme chez les élèves du secondaire au Québec, 2010-2011*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/publications/2621>
- Canuel, M. et Lebel, G. (2014). Épidémiologie de la rhinite allergique au Québec d'après une enquête populationnelle de 2008. *Maladies chroniques et blessures au Canada*, 34(2-3), 179-184.
- Cariñanos, P., Grilo, F., Pinho, P., Casares-Porcel, M., Branquinho, C., Acil, N., Andreucci, M. B., Anjos, A., Bianco, P. M., Brini, S., Calaza-Martínez, P., Calvo, E., Carrari, E., Castro, J., Chiesura, A., Correia, O., Gonçalves, A., Gonçalves, P., Mexia, T., ... Vilhar, U. (2019). Estimation of the allergenic potential of urban trees and urban parks: towards the healthy design of urban green spaces of the future. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(8), 1357. 10.3390/ijerph16081357
- Carmichael, S. L., Yang, W., Herring, A., Abrams, B. et Shaw, G. M. (2007). Maternal food insecurity is associated with increased risk of certain birth defects. *Journal of Nutrition*, 137(9), 2087-2092. 10.1093/jn/137.9.2087
- Carnie, T.-L., Berry, H. L., Blinkhorn, S. A. et Hart, C. R. (2011). In their own words: Young people's mental health in drought-affected rural and remote NSW. *Australian Journal of Rural Health*, 19(5), 244-248. 10.1111/j.1440-1584.2011.01224.x

- Carra, K. A. et Curtin, M. (2017). Posttraumatic growth among Australian farming women after a flood. *Journal of Loss and Trauma*, 22(5), 453-463. 10.1080/15325024.2017.1310506
- Carroll, B., Balogh, R., Morbey, H. et Araoz, G. (2010). Health and social impacts of a flood disaster: responding to needs and implications for practice. *Disasters*, 34(4), 1045-1063. 10.1111/j.1467-7717.2010.01182.x
- Cascio, W. E. (2018). Wildland fire smoke and human health. *Science of The Total Environment*, 624, 586-595. 10.1016/j.scitotenv.2017.12.086
- Caspi, C. E., Tucker-Seeley, R. D., Adamkiewicz, G., Roberto, C. A., Stoddard, A. M. et Sorensen, G. C. (2017). Food hardship and obesity in a sample of low-income immigrants. *Journal of Immigrant and Minority Health*, 19(1), 130-137. 10.1007/s10903-016-0344-z
- Cassell, K., Gacek, P., Warren, J. L., Raymond, P. A., Cartter, M. et Weinberger, D. M. (2018). Association between sporadic legionellosis and river systems in Connecticut. *The Journal of Infectious Diseases*, 217(2), 179-187. 10.1093/infdis/jix531
- Centers for Disease Control and Prevention. (2006). Hypothermia-related deaths--United States, 1999-2002 and 2005. *MMWR: Morbidity and Mortality Weekly Report*, 55(10), 282-284.
- Centers for Disease Control and Prevention. (2008). Outbreak of Salmonella serotype Saintpaul infections associated with multiple raw produce items--United States, 2008. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 57(34), 929-934.
- Centers for Disease Control and Prevention. (2017). *Influenza (Flu)*. <https://www.cdc.gov/flu/avianflu/avian-in-humans.htm>
- Centers for Disease Control and Prevention. (2019). *Powassan Virus*. <https://www.cdc.gov/powassan/symptoms.html>
- Centre d'expertise hydrique du Québec. (2015). Atlas hydroclimatique du Québec méridional - Impact des changements climatiques sur les régimes de crue, d'étiage et d'hydraulicité à l'horizon 2050. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. https://www.cehq.gouv.qc.ca/hydrometrie/atlas/Atlas_hydroclimatique_2015.pdf
- Centre de collaboration nationale en santé environnementale. (2020). *Application mobile eTick : la plateforme s'étend à d'autres provinces*. https://ccnse.ca/content/blog/application-mobile-etick-la-plateforme-setend-dautres-provinces?utm_source=PANTHEON_STRIPPED&utm_medium=PANTHEON_STRIPPED&utm_campaign=PANTHEON_STRIPPED
- Centre de gouvernance de l'information des Premières Nations. (2018). *National report of the First Nations regional health survey phase 3: volume two*.
- Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. (2018). *Atlas*. Agrométéo Québec. <http://www.agrometeo.org/index.php/atlas>
- Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux du Centre-Sud-de-l'Île-de-Montréal. (2017). *Le Directeur de santé publique de Montréal présente les principaux constats de l'enquête réalisée auprès des victimes des inondations*. <https://santemontreal.qc.ca/population/actualites/nouvelle/le-directeur-de-sante-publique-de-montreal-presente-les-principaux-constats-de-lenquete-sant/>

- Centre international de référence sur le cycle de vie des produits, procédés et services. (2016). *Analyse du cycle de vie comparative des impacts environnementaux potentiels du véhicule électrique et du véhicule conventionnel dans un contexte d'utilisation québécois*. Polytechnique Montréal.
- Cepeda, M., Schoufour, J., Freak-Poli, R., Koolhaas, C. M., Dhana, K., Bramer, W. M. et Franco, O. H. (2017). Levels of ambient air pollution according to mode of transport: a systematic review. *The Lancet Public Health*, 2(1), e23-e34. 10.1016/S2468-2667(16)30021-4
- Chae, B.-G., Park, H.-J., Catani, F., Simoni, A. et Berti, M. (2017). Landslide prediction, monitoring and early warning: a concise review of state-of-the-art. *Geosciences Journal*, 21(6), 1033-1070. 10.1007/s12303-017-0034-4
- Chakraborty, S. et Newton, A. C. (2011). Climate change, plant diseases and food security: an overview. *Plant Pathology*, 60(1), 2-14. 10.1111/j.1365-3059.2010.02411.x
- Chan, C. B., Ryan, D. A. et Tudor-Locke, C. (2006). Relationship between objective measures of physical activity and weather: a longitudinal study. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 3(1), 21. 10.1186/1479-5868-3-21
- Chapra, S. C., Boehlert, B., Fant, C., Bierman, V. J., Henderson, J., Mills, D., Mas, D. M. L., Rennels, L., Jantarasami, L., Martinich, J., Strzepek, K. M. et Paerl, H. W. (2017). Climate change impacts on harmful algal blooms in US freshwaters: a screening-level assessment. *Environmental Science & Technology*, 51(16), 8933-8943. 10.1021/acs.est.7b01498
- Charbonneau, É., Ouellet, V., Fournel, S., Payant, C., Jégo, G., Bélanger, G., Tremblay, G., Grenier, P., Cabrera, V., Pellerin, D., Bertrand, A., Godbout, S. et Roy, R. (2020). *Choix des graminées fourragères et des mesures d'atténuation du stress thermique des vaches sur les fermes laitières québécoises dans un contexte de changements climatiques*. Ouranos.
- Charbonneau, É., Prado, J. M. M., Pellerin, D., Bélanger, G., Côté, A. et Allard, G. (2014). *Première évaluation de l'impact potentiel des changements climatiques sur la durabilité technico-économique et agroenvironnementale des fermes laitières au Québec: rapport final*. Ouranos.
- Charrois, J. W. (2010). Private drinking water supplies: challenges for public health. *Canadian Medical Association Journal*, 182(10), 1061-1064.
- Chaskopoulou, A., Braks, M. et Bortel, W. V. (2020). *Vector control practices and strategies against West Nile virus*. European Centre for Disease Prevention and Control. <https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/documents/Vector-control-practices-and-strategies-against-West-Nile-virus.pdf>
- Chaskopoulou, Alexandra, L'Ambert, G., Petric, D., Bellini, R., Zgomba, M., Groen, T. A., Marrama, L. et Bicout, D. J. (2016). Ecology of West Nile virus across four European countries: review of weather profiles, vector population dynamics and vector control response. *Parasites & Vectors*, 9(1), 482. 10.1186/s13071-016-1736-6
- Chaudhry, S. A., Gad, N. et Koren, G. (2014). Toxoplasmosis and pregnancy. *Canadian Family Physician*, 60(4), 334-336.
- Chauhan, B. F. et Ducharme, F. M. (2012). Anti-leukotriene agents compared to inhaled corticosteroids in the management of recurrent and/or chronic asthma in adults and children. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (5). 10.1002/14651858.CD002314.pub3

- Chen, C., Liu, X., Wang, X., Li, W., Qu, W., Dong, L., Li, X., Rui, Z. et Yang, X. (2019). Risk of temperature, humidity and concentrations of air pollutants on the hospitalization of AECOPD. *PLOS ONE*, 14(11), e0225307. 10.1371/journal.pone.0225307
- Chen, H., Burnett, R. T., Copes, R., Kwong, J. C., Villeneuve, P. J., Goldberg, M. S., Brook, R. D., van Donkelaar, A., Jerrett, M., Martin, R. V., Brook, J. R., Kopp, A. et Tu, J. V. (2016). Ambient fine particulate matter and mortality among survivors of myocardial infarction: population-based cohort study. *Environmental Health Perspectives*, 124(9), 1421-1428. 10.1289/EHP185
- Chen, H., Burnett, R. T., Kwong, J. C., Villeneuve, P. J., Goldberg, M. S., Brook, R. D., van Donkelaar, A., Jerrett, M., Martin, R. V., Kopp, A., Brook, J. R. et Copes, R. (2014). Spatial association between ambient fine particulate matter and incident hypertension. *Circulation*, 129(5), 562-569. 10.1161/CIRCULATIONAHA.113.003532
- Chen, H., Kwong, J. C., Copes, R., Hystad, P., van Donkelaar, A., Tu, K., Brook, J. R., Goldberg, M. S., Martin, R. V., Murray, B. J., Wilton, A. S., Kopp, A. et Burnett, R. T. (2017). Exposure to ambient air pollution and the incidence of dementia: A population-based cohort study. *Environment International*, 108, 271-277. 10.1016/j.envint.2017.08.020
- Chen, H., Li, Q., Kaufman, J. S., Wang, J., Copes, R., Su, Y. et Benmarhnia, T. (2018). Effect of air quality alerts on human health: a regression discontinuity analysis in Toronto, Canada. *The Lancet Planetary Health*, 2(1), e19-e26. 10.1016/S2542-5196(17)30185-7
- Chen, H., Wang, J., Li, Q., Yagouti, A., Lavigne, E., Foty, R., Burnett, R. T., Villeneuve, P. J., Cakmak, S. et Copes, R. (2016). Assessment of the effect of cold and hot temperatures on mortality in Ontario, Canada: a population-based study. *CMAJ Open*, 4(1), E48-E58. 10.9778/cmajo.20150111
- Chen, I.-C., Hill, J. K., Ohlemüller, R., Roy, D. B. et Thomas, C. D. (2011). Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. *Science*, 333(6045), 1024-1026. 10.1126/science.1206432
- Chen, M., Qin, X., Zeng, G. et Li, J. (2016). Impacts of human activity modes and climate on heavy metal “spread” in groundwater are biased. *Chemosphere*, 152, 439-445. 10.1016/j.chemosphere.2016.03.046
- Chen, M.-H., Su, T.-P., Chen, Y.-S., Hsu, J.-W., Huang, K.-L., Chang, W.-H. et Bai, Y.-M. (2013). Allergic rhinitis in adolescence increases the risk of depression in later life: a nationwide population-based prospective cohort study. *Journal of Affective Disorders*, 145(1), 49-53. 10.1016/j.jad.2012.07.011
- Cheng, C. S., Campbell, M., Li, Q., Li, G., Auld, H., Day, N., Pengelly, D., Gingrich, S., Klaassen, J. et Maclver, D. (2008). Differential and combined impacts of extreme temperatures and air pollution on human mortality in south-central Canada. Part I: historical analysis. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 1(4), 209-222.
- Cheng, J., Xu, Z., Zhu, R., Wang, X., Jin, L., Song, J. et Su, H. (2014). Impact of diurnal temperature range on human health: a systematic review. *International Journal of Biometeorology*, 58(9), 2011-2024.
- Cheng, L. H., Crim, S. M., Cole, C. R., Shane, A. L., Henao, O. L. et Mahon, B. E. (2013). Epidemiology of infant salmonellosis in the United States, 1996–2008: a foodborne diseases active surveillance network study. *Journal of the Pediatric Infectious Diseases Society*, 2(3), 232-239. 10.1093/jpids/pit020

- Cherry, N. et Haynes, W. (2017). Effects of the Fort McMurray wildfires on the health of evacuated workers: follow-up of 2 cohorts. *CMAJ Open*, 5(3), E638-E645. 10.9778/cmajo.20170047
- Cheung, W. W. L., Lam, V. W. Y., Sarmiento, J. L., Kearney, K., Watson, R., Zeller, D. et Pauly, D. (2010). Large-scale redistribution of maximum fisheries catch potential in the global ocean under climate change. *Global Change Biology*, 16(1), 24-35. 10.1111/j.1365-2486.2009.01995.x
- Chhetri, B. K., Galanis, E., Sobie, S., Brubacher, J., Balshaw, R., Otterstatter, M., Mak, S., Lem, M., Lysyshyn, M., Murdock, T., Fleury, M., Zickfeld, K., Zubel, M., Clarkson, L. et Takaro, T. K. (2019). Projected local rain events due to climate change and the impacts on waterborne diseases in Vancouver, British Columbia, Canada. *Environmental Health*, 18(1), 116. 10.1186/s12940-019-0550-y
- Chhetri, B. K., Takaro, T. K., Balshaw, R., Otterstatter, M., Mak, S., Lem, M., Zubel, M., Lysyshyn, M., Clarkson, L., Edwards, J., Fleury, M. D., Henderson, S. B. et Galanis, E. (2017). Associations between extreme precipitation and acute gastro-intestinal illness due to cryptosporidiosis and giardiasis in an urban Canadian drinking water system (1997–2009). *Journal of Water and Health*, 15(6), 898-907. 10.2166/wh.2017.100
- Chizewer, D. M. et Tarlock, A. D. (2012). New challenges for urban areas facing flood risks. *Fordham Urb. LJ*, 40, 1739.
- Chouinard, O., Plante, S. et Martin, G. (2008). The community engagement process: A governance approach in adaptation to coastal erosion and flooding in Atlantic Canada. *Canadian Journal of Regional Science*, 31(3), 507-520.
- Christianson, A. (2015). Social science research on Indigenous wildfire management in the 21st century and future research needs. *International Journal of Wildland Fire*, 24(2), 190-200. 10.1071/WF13048
- Ciprandi, G., Murdaca, G., Marseglia, G., Colombo, B. M., Quaglini, S. et De Amici, M. (2008). Serum adiponectin levels in patients with pollen-induced allergic rhinitis. *International Immunopharmacology*, 8(6), 945-949. 10.1016/j.intimp.2008.02.004
- Circé, M., Da Silva, L., Boyer-Villemare, U., Duff, G., Desjarlais, C. et Morneau, F. (2016). *Analyse coûts-avantages des options d'adaptation en zone côtière au Québec*. Ouranos.
- Clarivate Analytics. (2020). *Web of Science platform: Web of Science: Summary of Coverage*. <https://clarivate.libguides.com/webofscienceplatform/coverage>
- Clark, D. G., Ford, J. D., Berrang-Ford, L., Pearce, T., Kowal, S. et Gough, W. A. (2016). The role of environmental factors in search and rescue incidents in Nunavut, Canada. *Public Health*, 137, 44-49. 10.1016/j.puhe.2016.06.003
- Clark, D. G., Ford, J. D., Pearce, T. et Berrang-Ford, L. (2016). Vulnerability to unintentional injuries associated with land-use activities and search and rescue in Nunavut, Canada. *Social Science & Medicine*, 169, 18-26. 10.1016/j.socscimed.2016.09.026
- Clark, N. J. et Soares Magalhães, R. J. (2018). Airborne geographical dispersal of Q fever from livestock holdings to human communities: a systematic review and critical appraisal of evidence. *BMC Infectious Diseases*, 18(1), 218. 10.1186/s12879-018-3135-4
- Clark, R. P. et Hu, L. T. (2008). Prevention of Lyme Disease (and other tick borne infections). *Infectious Disease Clinics of North America*, 22(3), 381-vii. 10.1016/j.idc.2008.03.007

- Clarys, P., Deliens, T., Huybrechts, I., Deriemaeker, P., Vanaelst, B., De Keyzer, W., Hebbelinck, M. et Mullie, P. (2014). Comparison of nutritional quality of the vegan, vegetarian, semi-vegetarian, pesco-vegetarian and omnivorous diet. *Nutrients*, 6(3), 1318-1332. 10.3390/nu6031318
- Clayton, S., Manning, C. et Hodge, C. (2014). *Beyond storms & droughts: the psychological impacts of climate change*. American Psychological Association & ecoAmerica.
- Clement, M. T. (2011). The Jevons paradox and anthropogenic global warming: a panel analysis of state-level carbon emissions in the United States, 1963–1997. *Society & Natural Resources*, 24(9), 951-961. 10.1080/08941920903482937
- Clifford, A., Lang, L., Chen, R., Anstey, K. J. et Seaton, A. (2016). Exposure to air pollution and cognitive functioning across the life course - A systematic literature review. *Environmental Research*, 147, 383-398. 10.1016/j.envres.2016.01.018
- Climat-Québec. (2014). *Tornades*. http://www.climat-quebec.qc.ca/home.php?id=p23&mpn=ev_mto_sig&lg=fr
- Clow, K. M., Ogden, N. H., Lindsay, L. R., Michel, P., Pearl, D. L. et Jardine, C. M. (2017). The influence of abiotic and biotic factors on the invasion of *Ixodes scapularis* in Ontario, Canada. *Ticks and Tick-Borne Diseases*, 8(4), 554-563. 10.1016/j.ttbdis.2017.03.003
- Coban, H. et Aydemir, Y. (2014). The relationship between allergy and asthma control, quality of life, and emotional status in patients with asthma: a cross-sectional study. *Allergy, Asthma & Clinical Immunology*, 10(1), 67. 10.1186/s13223-014-0067-4
- Cobb, L. K., Appel, L. J., Franco, M., Jones-Smith, J. C., Nur, A. et Anderson, C. A. M. (2015). The relationship of the local food environment with obesity: a systematic review of methods, study quality, and results. *Obesity*, 23(7), 1331-1344. 10.1002/oby.21118
- Comtois, P. et Gagnon, L. (1988). Concentration pollinique et fréquence des symptômes de pollinose : une méthode pour déterminer les seuils cliniques. *Revue Française d'Allergologie et d'Immunologie Clinique*, 28(4), 279-286. 10.1016/S0335-7457(88)80046-7
- Cong, X., Xu, X., Zhang, Y., Wang, Q., Xu, L. et Huo, X. (2017). Temperature drop and the risk of asthma: a systematic review and meta-analysis. *Environmental Science and Pollution Research International*, 24(28), 22535-22546. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9914-4>
- Conlon, K. C., Rajkovich, N. B., White-Newsome, J. L., Larsen, L. et Neill, M. S. O. (2011). Preventing cold-related morbidity and mortality in a changing climate. *Maturitas*, 69(3), 197-202. 10.1016/j.maturitas.2011.04.004
- Conrad, C. C., Stanford, K., Narvaez-Bravo, C., Callaway, T. et McAllister, T. (2017). Farm fairs and petting zoos: a review of animal contact as a source of zoonotic enteric disease. *Foodborne Pathogens and Disease*, 14(2), 59-73.
- Conseil canadien des ministres de l'environnement. (2016). *Synthèse des approches de gestion intégrée par bassin versant au Canada*. https://www.ccme.ca/files/Resources/fr_water/fr_water_conservation/Synth%C3%A8se%20des%20approches%20de%20gestion%20int%C3%A9gr%C3%A9e%20par%20bassin%20versant%20au%20Canada%20PN%201560.pdf

- Conseil des académies canadiennes. (2019). *Les principaux risques des changements climatiques pour le Canada*. <https://www.rapports-cac.ca/reports/accorder-la-priorite-aux-plus-importants-risques-poses-par-les-changements-climatiques/#:~:text=Les%20principaux%20risques%20des%20changements%20climatiques%20pour%20le%20Canada%20d%C3%A9finir,mod%C3%A9s%20de%20vie%20autochtones%20de%20la%20communaut%C3%A9>
- Conservation Ontario. (2010). *Overview of Integrated Watershed Management in Ontario*.
- Cook, R. L., Xu, X., Yablonsky, E. J., Sakata, N., Tripp, J. H., Hess, R., Piazza, P. et Rinaldo, C. R. (2010). Demographic and clinical factors associated with persistent symptoms after West Nile virus infection. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 83(5), 1133-1136. 10.4269/ajtmh.2010.09-0717
- Copiello, S. et Bonifaci, P. (2015). Green housing: toward a new energy efficiency paradox? *Cities*, 49, 76-87. 10.1016/j.cities.2015.07.006
- Correia, A., Azevedo, M. do S., Gondim, F., Bandeira, F., Correia, A., Azevedo, M. do S., Gondim, F. et Bandeira, F. (2014). Ethnic aspects of vitamin D deficiency. *Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia*, 58(5), 540-544. 10.1590/0004-2730000003320
- Corsi, D. J., Boyle, M. H., Lear, S. A., Chow, C. K., Teo, K. K. et Subramanian, S. V. (2014). Trends in smoking in Canada from 1950 to 2011: progression of the tobacco epidemic according to socioeconomic status and geography. *Cancer Causes & Control*, 25(1), 45-57. 10.1007/s10552-013-0307-9
- Cotter, N., Monahan, E., McAvoy, H. et Goodman, P. (2012). Coping with the cold – exploring relationships between cold housing, health and social wellbeing in a sample of older people in Ireland. *Quality in Ageing and Older Adults*, 13(1), 38-47. 10.1108/14717791211213607
- Couture, A., Levesque, B., Dewailly, É., Muckle, G., Déry, S. et Proulx, J.-F. (2012). Lead exposure in Nunavik: from research to action. *International Journal of Circumpolar Health*, 71(1), 18591. 10.3402/ijch.v71i0.18591
- Couture, C., Fortin, M.-C., Carrier, G., Dumas, P., Tremblay, C. et Bouchard, M. (2009). Assessment of exposure to pyrethroids and pyrethrins in a rural population of the Montérégie area, Québec, Xanada. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 6(6), 341-352. 10.1080/15459620902850907
- Craig, G. M., Joly, L. M. et Zumla, A. (2014). 'Complex' but coping: experience of symptoms of tuberculosis and health care seeking behaviours - a qualitative interview study of urban risk groups, London, UK. *BMC Public Health*, 14, 618. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-14-618>
- Craig, T. J. (2010). Aeroallergen sensitization in asthma: prevalence and correlation with severity. *Allergy & Asthma Proceedings*, 31(2), 96-102.
- Crespo, S. (2018). *Un aperçu de la composition des dépenses des ménages* (n° 67) (p. 9). Institut de la statistique du Québec. <https://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/conditions-vie-societe/depenses-avoirs-dettes/depenses/index.html>
- Crnek-Georgeson, K. T., Wilson, L. A. et Page, A. (2017). Factors influencing suicide in older rural males: a review of Australian studies. *Rural & Remote Health*, 17(4), 1-11.

- Croft, D. P., Zhang, W., Lin, S., Thurston, S. W., Hopke, P. K., Masiol, M., Squizzato, S., van Wijngaarden, E., Utell, M. J. et Rich, D. Q. (2019). The association between respiratory infection and air pollution in the setting of air quality policy and economic change. *Annals of the American Thoracic Society*, 16(3), 321-330. 10.1513/AnnalsATS.201810-691OC
- Crouse, D. L., Erickson, A. C., Christidis, T., Pinault, L., van Donkelaar, A., Li, C., Meng, J., Martin, R. V., Tjepkema, M., Hystad, P., Burnett, R., Pappin, A., Brauer, M. et Weichenthal, S. (2020). Evaluating the sensitivity of PM_{2.5}-mortality associations to the spatial and temporal scale of exposure assessment. *Epidemiology*, 31(2), 168-176. 10.1097/EDE.0000000000001136
- Crouse, D. L., Peters, P. A., Hystad, P., Brook, J. R., van Donkelaar, A., Martin, R. V., Villeneuve, P. J., Jerrett, M., Goldberg, M. S. et Pope III, C. A. (2015). Ambient PM_{2.5}, O₃, and NO₂ exposures and associations with mortality over 16 years of follow-up in the Canadian Census Health and Environment Cohort (CanCHEC). *Environmental Health Perspectives*, 123(11), 1180-1186.
- Crouse, D. L., Peters, P. A., van Donkelaar, A., Goldberg, M. S., Villeneuve, P. J., Brion, O., Khan, S., Atari, D. O., Jerrett, M. et Pope III, C. A. (2012). Risk of nonaccidental and cardiovascular mortality in relation to long-term exposure to low concentrations of fine particulate matter: a Canadian national-level cohort study. *Environmental Health Perspectives*, 120(5), 708-714.
- Crouse, D. L., Pinault, L., Balram, A., Hystad, P., Peters, P. A., Chen, H., van Donkelaar, A., Martin, R. V., Ménard, R., Robichaud, A. et Villeneuve, P. J. (2017). Urban greenness and mortality in Canada's largest cities: a national cohort study. *The Lancet Planetary Health*, 1(7), e289-e297. 10.1016/S2542-5196(17)30118-3
- Crouzy, B., Stella, M., Konzelmann, T., Calpini, B. et Clot, B. (2016). All-optical automatic pollen identification: towards an operational system. *Atmospheric Environment*, 140, 202-212. 10.1016/j.atmosenv.2016.05.062
- Crowder, D. W. et Reganold, J. P. (2015). Financial competitiveness of organic agriculture on a global scale. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(24), 7611-7616. 10.1073/pnas.1423674112
- Culver, L. M., McKinney, B. L. et Paradise, L. V. (2011). Mental health professionals' experiences of vicarious traumatization in post-hurricane Katrina New Orleans. *Journal of Loss and Trauma*, 16(1), 33-42. 10.1080/15325024.2010.519279
- Currie, B. A. et Bass, B. (2008). Estimates of air pollution mitigation with green plants and green roofs using the UFORE model. *Urban Ecosystems*, 11(4), 409-422. 10.1007/s11252-008-0054-y
- Curtis, S., Fair, A., Wistow, J., Val, D. V. et Oven, K. (2017). Impact of extreme weather events and climate change for health and social care systems. *Environmental Health*, 16(1), 128.
- Cusack, L., van Loon, A., Kralik, D., Arbon, P. et Gilbert, S. (2013). Extreme weather-related health needs of people who are homeless. *Australian Journal of Primary Health*, 19(3), 250-255. 10.1071/PY12048
- D'Amato, G. (2002). Environmental urban factors (air pollution and allergens) and the rising trends in allergic respiratory diseases. *Allergy*, 57(s72), 30-33. 10.1034/j.1398-9995.57.s72.5.x
- D'Amato, G., Baena-Cagnani, C. E., Cecchi, L., Annesi-Maesano, I., Nunes, C., Ansotegui, I., D'Amato, M., Liccardi, G., Sofia, M. et Canonica, W. G. (2013). Climate change, air pollution and extreme events leading to increasing prevalence of allergic respiratory diseases. *Multidisciplinary Respiratory Medicine*, 8(1), 12. 10.1186/2049-6958-8-12

- D'Amato, G., Bergmann, K. C., Cecchi, L., Annesi-Maesano, I., Sanduzzi, A., Liccardi, G., Vitale, C., Stanziola, A. et D'Amato, M. (2014). Climate change and air pollution. *Allergo Journal International*, 23(1), 17-23. 10.1007/s40629-014-0003-7
- D'Amato, G., Cecchi, L. et Annesi-Maesano, I. (2012). A trans-disciplinary overview of case reports of thunderstorm-related asthma outbreaks and relapse. *European Respiratory Review*, 21(124), 82-87. 10.1183/09059180.00001712
- D'Amato, G., Vitale, C., D'Amato, M., Cecchi, L., Liccardi, G., Molino, A., Vatrella, A., Sanduzzi, A., Maesano, C. et Annesi-Maesano, I. (2016). Thunderstorm-related asthma: what happens and why. *Clinical & Experimental Allergy*, 46(3), 390-396.
- Da Silva, L., Pineault, K. et Rondeau-Genesse, G. (2020). *Vulnérabilité des sources d'approvisionnement en eau potable du territoire de la CMQ face aux changements climatiques*. Ouranos.
- Dadlani, C. et Orlow, S. J. (2008). Planning for a brighter future: A review of sun protection and barriers to behavioral change in children and adolescents. *Dermatology Online Journal*, 14(9). <https://escholarship.org/uc/item/6vs1r0r9>
- Dadvand, P. et Nieuwenhuijsen, M. (2019). Green space and health. Dans M. Nieuwenhuijsen et H. Khreis (dir.), *Integrating Human Health into Urban and Transport Planning: A Framework* (p. 409-423). Springer International Publishing. 10.1007/978-3-319-74983-9_20
- Dales, R. E., Cakmak, S., Judek, S. et Coates, F. (2008). Tree pollen and hospitalization for asthma in urban Canada. *International Archives of Allergy and Immunology*, 146(3), 241-247. 10.1159/000116360
- Dalziel, B. D., Kissler, S., Gog, J. R., Viboud, C., Bjørnstad, O. N., Metcalf, C. J. E. et Grenfell, B. T. (2018). Urbanization and humidity shape the intensity of influenza epidemics in U.S. cities. *Science*, 362(6410), 75-79. 10.1126/science.aat6030
- Dancause, K. N., Laplante, D. P., Hart, K. J., O'Hara, M. W., Elgbeili, G., Brunet, A. et King, S. (2015). Prenatal stress due to a natural disaster predicts adiposity in childhood: the Iowa Flood Study. *Journal Of Obesity*, 2015, 570541-570541. 10.1155/2015/570541
- Daniel, C. (2020). Is healthy eating too expensive?: How low-income parents evaluate the cost of food. *Social Science & Medicine*, 248, 112823. 10.1016/j.socscimed.2020.112823
- Darmon, N. et Drewnowski, A. (2015). Contribution of food prices and diet cost to socioeconomic disparities in diet quality and health: a systematic review and analysis. *Nutrition Reviews*, 73(10), 643-660. 10.1093/nutrit/nuv027
- Darques, R. (2015). Mediterranean cities under fire. A critical approach to the wildland–urban interface. *Applied Geography*, 59, 10-21.
- Darrow, L. A., Hess, J., Rogers, C. A., Tolbert, P. E., Klein, M. et Sarnat, S. E. (2012). Ambient pollen concentrations and emergency department visits for asthma and wheeze. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 130(3), 630-638.e4. 10.1016/j.jaci.2012.06.020
- Dass-Brailsford, P. et Thomley, R. (2012). An investigation of secondary trauma among mental health volunteers after Hurricane Katrina. *Journal of Systemic Therapies*, 31(3), 36-52. 10.1521/jsyt.2012.31.3.36

- Davis, L. W. et Gertler, P. J. (2015). Contribution of air conditioning adoption to future energy use under global warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(19), 5962-5967. 10.1073/pnas.1423558112
- Davis, R. E., McGregor, G. R. et Enfield, K. B. (2016). Humidity: a review and primer on atmospheric moisture and human health. *Environmental Research*, 144, 106-116. 10.1016/j.envres.2015.10.014
- Day, L. (2013). Proteins from land plants – Potential resources for human nutrition and food security. *Trends in Food Science & Technology*, 32(1), 25-42. 10.1016/j.tifs.2013.05.005
- de Boer, J. et Aiking, H. (2011). On the merits of plant-based proteins for global food security: Marrying macro and micro perspectives. *Ecological Economics*, 70(7), 1259-1265. 10.1016/j.ecolecon.2011.03.001
- De Hartog, J. J., Boogaard, H., Nijland, H. et Hoek, G. (2010). Do the health benefits of cycling outweigh the risks? *Environmental Health Perspectives*, 118(8), 1109-1116.
- de la Fuente, J., Contreras, M., Estrada-Peña, A. et Cabezas-Cruz, A. (2017). Targeting a global health problem: vaccine design and challenges for the control of tick-borne diseases. *Vaccine*, 35(38), 5089-5094. 10.1016/j.vaccine.2017.07.097
- de Moel, H, Asselman, N. et Aerts, J. (2012). Uncertainty and sensitivity analysis of coastal flood damage estimates in the west of the Netherlands. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12(4), 1045.
- de Moel, Hans, van Vliet, M. et Aerts, J. C. J. H. (2014). Evaluating the effect of flood damage-reducing measures: a case study of the unembanked area of Rotterdam, the Netherlands. *Regional Environmental Change*, 14(3), 895-908. 10.1007/s10113-013-0420-z
- de Munck, C., Pigeon, G., Masson, V., Meunier, F., Bousquet, P., Tréméac, B., Merchat, M., Poeuf, P. et Marchadier, C. (2013). How much can air conditioning increase air temperatures for a city like Paris, France? *International Journal of Climatology*, 33(1), 210-227. 10.1002/joc.3415
- de Wet, S., Rutz, H., Hinckley, A. F., Hook, S. A., Campbell, S. et Feldman, K. A. (2020). Love the ones you're with: characteristics and behaviour of Maryland pets and their owners in relation to tick encounters. *Zoonoses and Public Health*, 67(8), 876-881. 10.1111/zph.12768
- Dean, J. G. et Stain, H. J. (2010). Mental health impact for adolescents living with prolonged drought. *Australian Journal of Rural Health*, 18(1), 32-37.
- Debailleul, G., Dabio, L. et Doyon, M. A. (2014). *Analyse prospective de la position concurrentielle du Québec en matière de production agricole dans un contexte de changements climatiques*. Ouranos.
- Decent, D. (2018). The mental and physical human health impacts of residential basement Flooding and associated financial costs: interviews with households in Southern Ontario, Canada.
- DeGraff, J. V., Ochiai, H., DeGraff, J. V. et Ochiai, H. (2009). Rainfall, debris flows and wildfires. Dans K. Sassa et P. Canuti (dir.), *Landslides – Disaster Risk Reduction* (p. 451-471). Springer. 10.1007/978-3-540-69970-5_24
- Delage, G., Dubuc, S., Grégoire, Y., Lowe, A.-M., Bernier, F. et Germain, M. (2017). Determining the rate of underrecognition of West Nile virus neurologic disease in the province of Quebec in 2012. *Transfusion*, 57(5), 1294-1298. 10.1111/trf.14081

- Delamater, P. L., Finley, A. O. et Banerjee, S. (2012). An analysis of asthma hospitalizations, air pollution, and weather conditions in Los Angeles County, California. *Science of The Total Environment*, 425, 110-118. 10.1016/j.scitotenv.2012.02.015
- Delcour, I., Spanoghe, P. et Uyttendaele, M. (2015). Literature review: impact of climate change on pesticide use. *Food Research International*, 68, 7-15. 10.1016/j.foodres.2014.09.030
- Delic, N. C., Lyons, J. G., Di Girolamo, N. et Halliday, G. M. (2017). Damaging Effects of Ultraviolet Radiation on the Cornea. *Photochemistry and Photobiology*, 93(4), 920-929. 10.1111/php.12686
- DellaValle, C. T., Triche, E. W., Leaderer, B. P. et Bell, M. L. (2012). Effects of ambient pollen concentrations on frequency and severity of asthma symptoms among asthmatic children. *Epidemiology*, 23(1), 55-63. 10.1097/EDE.0b013e31823b66b8
- Demers, I. (2013). *État des connaissances sur le pollen et les allergies: les assises pour une gestion efficace*. Institut national de santé publique du Québec.
https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/1678_EtatConnPollenAllergies_AssisesGestionEfficace.pdf
- Demers, I. (2015). *Guide de gestion et de contrôle de l'herbe à poux et des autres pollens allergènes*. Ministère de la Santé et des Services sociaux.
- Demers, I. et Gosselin, P. (2019). Aperçu–Pollens, climat et allergies: initiatives menées au Québec. *Promotion de la santé et prévention des maladies chroniques au Canada*, 39(4), 149-154.
- Derksen, C., Burgess, D., Duguay, C., Howell, S., Mudryk, L., Smith, S., Thackeray, C. et Kirchmeier-Young, M. (2019). Chapitre 5 : Évolution de la neige, de la glace et du pergélisol à l'échelle du Canada. Dans E. Bush et D. S. Lemmen (dir.), *Rapport sur le climat changeant du Canada* (Gouvernement du Canada).
- DeYoung, S. E., Chase, J., Branco, M. P. et Park, B. (2018). The effect of mass evacuation on infant feeding: the case of the 2016 Fort McMurray wildfire. *Maternal and Child Health Journal*, 22(12), 1826-1833. 10.1007/s10995-018-2585-z
- Diaz, H., Hurlbert, M. et Warren, J. (2016). *Vulnerability and adaptation to drought: the Canadian Prairies and South America*. University of Calgary.
- Dinelli, G., Marotti, I., Catizone, P., Bosi, S., Tanveer, A., Abbas, R. et Pavlovic, D. (2013). Germination ecology of *Ambrosia artemisiifolia* L. and *Ambrosia trifida* L. biotypes suspected of glyphosate resistance. *Open Life Sciences*, 8(3), 286-296. 10.2478/s11535-013-0135-z
- Ding, N., Berry, H. L. et Bennett, C. M. (2016). The importance of humidity in the relationship between heat and population mental health: evidence from Australia. *PLOS ONE*, 11(10), e0164190. 10.1371/journal.pone.0164190
- Dinu, M., Abbate, R., Gensini, G. F., Casini, A. et Sofi, F. (2017). Vegetarian, vegan diets and multiple health outcomes: a systematic review with meta-analysis of observational studies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(17), 3640-3649. 10.1080/10408398.2016.1138447
- Direction de santé publique de la Montérégie. (2012). *Évaluation de l'efficacité du projet de mobilisation pour la lutte contre l'herbe à poux sur la qualité de vie des personnes allergiques (Projet Herbe à poux 2007-2010)*. Gouvernement du Québec.
<https://publications.msss.gouv.qc.ca/msss/fichiers/2011/11-244-03W.pdf>

- Dix-Cooper, L., Johnston, F., Hasselback, P. et Rideout, K. (2014). *Evidence review: Reducing time outdoors during wildfire smoke events: Advice to stay indoors, advice to reduce outdoor physical activity and cancelling*. British Columbia Centre for Disease Control.
- Dixon, S. J., Sear, D. A., Odoni, N. A., Sykes, T. et Lane, S. N. (2016). The effects of river restoration on catchment scale flood risk and flood hydrology. *Earth Surface Processes and Landforms*, 41(7), 997-1008. 10.1002/esp.3919
- Dodd, W., Howard, C., Rose, C., Scott, C., Scott, P., Cunsolo, A. et Orbinski, J. (2018). The summer of smoke: ecosocial and health impacts of a record wildfire season in the Northwest Territories, Canada. *The Lancet Global Health*, 6, S30. 10.1016/S2214-109X(18)30159-1
- Dodd, W., Scott, P., Howard, C., Scott, C., Rose, C., Cunsolo, A. et Orbinski, J. (2018). Lived experience of a record wildfire season in the Northwest Territories, Canada. *Canadian Journal of Public Health*, 109(3), 327-337. 10.17269/s41997-018-0070-5
- Doede, A. et Davis, R. (2018). Use of airborne PM10 concentrations at air quality monitoring sites in Imperial County, California, as an indication of geographical influences on lung health during drought periods: a time-series analysis. *The Lancet Planetary Health*, 2, S10.
- Dogaru, C. M., Nyffenegger, D., Pescatore, A. M., Spycher, B. D. et Kuehni, C. E. (2014). Breastfeeding and childhood asthma: systematic review and meta-analysis. *American Journal of Epidemiology*, 179(10), 1153-1167. 10.1093/aje/kwu072
- Dolan, M. C., Maupin, G. O., Schneider, B. S., Denatale, C., Hamon, N., Cole, C., Zeidner, N. S. et Stafford, K. C. (2004). Control of immature ixodes scapularis (acari: ixodidae) on rodent reservoirs of borrelia burgdorferi in a residential community of southeastern Connecticut. *Journal of Medical Entomology*, 41(6), 1043-1054. 10.1603/0022-2585-41.6.1043
- Doley, R. M., Bell, R. et Watt, B. D. (2016). An investigation into the relationship between long-term posttraumatic stress disorder symptoms and coping in Australian volunteer firefighters. *The Journal of Nervous and Mental Disease*, 204(7), 530-536. 10.1097/NMD.0000000000000525
- Dollinger, J. et Jose, S. (2018). Agroforestry for soil health. *Agroforestry Systems*, 92(2), 213-219. 10.1007/s10457-018-0223-9
- Domagala-Kulawik, J. (2008). Effects of cigarette smoke on the lung and systemic immunity. *Journal of Physiology and Pharmacology*, 59(Suppl 6), 19-34.
- Donzelli, G., Llopis-Gonzalez, A., Llopis-Morales, A., Cioni, L. et Morales-Suárez-Varela, M. (2020). Particulate matter exposure and attention-deficit/hyperactivity disorder in children: a systematic review of epidemiological studies. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(1), 67. 10.3390/ijerph17010067
- Doorduyn, Y., Brandhof, W. E. V. D., Duynhoven, Y. T. H. P. V., Breukink, B. J., Wagenaar, J. A. et Pelt, W. V. (2010). Risk factors for indigenous Campylobacter jejuni and Campylobacter coli infections in The Netherlands: a case-control study. *Epidemiology & Infection*, 138(10), 1391-1404. 10.1017/S095026881000052X
- Doré, G., Niu, F. et Brooks, H. (2016). Adaptation methods for transportation infrastructure built on degrading permafrost. *Permafrost and Periglacial Processes*, 27(4), 352-364. 10.1002/ppp.1919
- Doshi, S., Keilp, J. G., Strobino, B., McElhiney, M., Rabkin, J. et Fallon, B. A. (2018). Depressive symptoms and suicidal ideation among symptomatic patients with a history of Lyme disease versus two comparison groups. *Psychosomatics*, 59(5), 481-489. 10.1016/j.psych.2018.02.004

- Doucet, M., Beaudoin, C. et Sidi, E. A. L. (2020). *Portrait québécois de l'asthme : prévalence, incidence et mortalité de 2001 à 2016*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/publications/2671>
- Douglas, A. (2017). *Effects of climate change and cultural practices on the risk of human toxoplasmosis in Canada's North: recommendations for public health*. Simon Fraser University.
- Dowler, E. et Lambie-Mumford, H. (2015). How can households eat in austerity? Challenges for social policy in the UK. *Social Policy and Society*, 14(3), 417-428. 10.1017/S1474746415000032
- Doyon, B., Bélanger, D. et Gosselin, P. (2006). *Effets du climat sur la mortalité au Québec méridional de 1981 à 1999 et simulations pour des scénarios climatiques futures*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/publications/536>
- Doyon, B., Belanger, D. et 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*, 7, 23. 10.1186/1476-072X-7-23
- Drebot, M. (2015). Emerging mosquito-borne bunyaviruses in Canada. *Canada Communicable Disease Report*, 41(6), 117-123. 10.14745/ccdr.v41i06a01
- Drebot, M., Holloway, K., Zheng, H. et Ogden, N. (2015). Travel-related chikungunya cases in Canada, 2014. *Canada Communicable Disease Report*, 41(1), 2-5. 10.14745/ccdr.v41i01a01
- Drebot, M., Jones, S., Grolla, A., Safronetz, D., Strong, J., Kobinger, G. et Lindsay, R. (2015a). Hantavirus pulmonary syndrome in Canada: an overview of clinical features, diagnostics, epidemiology and prevention. *Canada Communicable Disease Report*, 41(6), 124-131. 10.14745/ccdr.v41i06a02
- Drebot, M., Jones, S., Grolla, A., Safronetz, D., Strong, J., Kobinger, G. et Lindsay, R. (2015b). Le syndrome pulmonaire à hantavirus au Canada. *Les maladies à transmission vectorielle au Canada*, 41(6).
- Drejza, S., Bernatchez, P. et Dugas, C. (2011). Effectiveness of land management measures to reduce coastal georisks, eastern Québec, Canada. *Ocean & Coastal Management*, 54(4), 290-301. 10.1016/j.ocecoaman.2011.01.001
- Drejza, S., Friesinger, S. et Bernatchez, P. (2015). *Développement d'une approche et d'un indice pour quantifier la vulnérabilité des infrastructures routières à l'érosion et à la submersion côtière dans un contexte de changements climatiques sur 9 sites témoins* (n° 3). *Projet* (p. 308). Université du Québec à Rimouski.
- Du, W., FitzGerald, G. J., Clark, M. et Hou, X.-Y. (2010). Health impacts of floods. *Prehospital and Disaster Medicine*, 25(3), 265-272. 10.1017/S1049023X00008141
- Duarte, I., Rotter, A., Malvestiti, A. et Silva, M. (2009). The role of glass as a barrier against the transmission of ultraviolet radiation: an experimental study. *Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine*, 25(4), 181-184. 10.1111/j.1600-0781.2009.00434.x
- Dubé, M., Lebel, G. et Huppé, V. (2018). Bilan des éclosions de maladies d'origine hydrique au Québec de 2015 à 2016. *Bulletin d'information en santé environnementale*. <https://www.inspq.qc.ca/bise/bilan-des-eclosions-de-maladies-d-origine-hydrique-au-quebec-de-2015-2016>

- Duchemin, E., Wegmuller, F. et Legault, A.-M. (2010). Agriculture urbaine : un outil multidimensionnel pour le développement des quartiers. *VertigO*, 10(2).
- Duchesne, A., Liu, A., Jones, S. L., Laplante, D. P. et King, S. (2017). Childhood body mass index at 5.5 years mediates the effect of prenatal maternal stress on daughters' age at menarche: Project Ice Storm. *Journal of Developmental Origins of Health and Disease*, 8(2), 168-177. 10.1017/S2040174416000726
- Dudley, J. P., Hoberg, E. P., Jenkins, E. J. et Parkinson, A. J. (2015). Climate change in the North American Arctic: a one health perspective. *EcoHealth*, 12(4), 713-725.
- Due, C., Fox, W., Medlock, J. M., Pietzsch, M. et Logan, J. G. (2013). Tick bite prevention and tick removal. *BMJ*, 347, f7123.
- Duprey, Z., Rivers, S., Lubber, G., Becker, A., Blackmore, C., Barr, D., Weerasekera, G., Kieszak, S., Flanders, W. D. et Rubin, C. (2008). Community aerial mosquito control and naled exposure. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 24(1), 42-46. 10.2987/5559.1
- Durkalec, A., Furgal, C., Skinner, M. W. et Sheldon, T. (2014). Investigating environmental determinants of injury and trauma in the Canadian north. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(2), 1536-1548. 10.3390/ijerph110201536
- Durkalec, A., Furgal, C., Skinner, M. W. et Sheldon, T. (2015). Climate change influences on environment as a determinant of Indigenous health: Relationships to place, sea ice, and health in an Inuit community. *Social Science & Medicine*, 136, 17-26. 10.1016/j.socscimed.2015.04.026
- Dykman, K. R. J. et Kate. (2013). *Integrated watershed management planning in Manitoba: a platform for social learning*. University of Manitoba.
- EBSCOHost. (s. d.). *Academic Search Complete - Magazines and Journals*.
<https://www.ebscohost.com/titleLists/a9h-journals.htm>
- Edithe Bezerra da Rocha, M., Freire, F. da C. O., Erlan Feitosa Maia, F., Izabel Florindo Guedes, M. et Rondina, D. (2014). Mycotoxins and their effects on human and animal health. *Food Control*, 36(1), 159-165. 10.1016/j.foodcont.2013.08.021
- Edwards, B., Gray, M. et Hunter, B. (2015). The impact of drought on mental health in rural and regional Australia. *Social Indicators Research*, 121(1), 177-194.
- Eisenman, D., McCaffrey, S., Donatello, I. et Marshal, G. (2015). An ecosystems and vulnerable populations perspective on solastalgia and psychological distress after a wildfire. *EcoHealth*, 12(4), 602-610.
- Eleftheratos, K., Kapsomenakis, J., Zerefos, C. S., Bais, A. F., Fountoulakis, I., Dameris, M., Jöckel, P., Haslerud, A. S., Godin-Beekmann, S., Steinbrecht, W., Petropavlovskikh, I., Brogniez, C., Leblanc, T., Liley, J. B., Querel, R. et Swart, D. P. J. (2020). Possible effects of greenhouse gases to ozone profiles and DNA active UV-B irradiance at ground level. *Atmosphere*, 11(3), 228. 10.3390/atmos11030228
- Elkhoraibi, C., Blatchford, R. A., Pitesky, M. E. et Mench, J. A. (2014). Backyard chickens in the United States: a survey of flock owners. *Poultry Science*, 93(11), 2920-2931. 10.3382/ps.2014-04154

- Elliott, C. T., Henderson, S. B. et Wan, V. (2013). Time series analysis of fine particulate matter and asthma reliever dispensations in populations affected by forest fires. *Environmental Health*, 12(1), 11.10.1186/1476-069X-12-11
- Elliott, J. R. (2015). Natural hazards and residential mobility: general patterns and racially unequal outcomes in the United States. *Social Forces*, 93(4), 1723-1747. 10.1093/sf/sou120
- Ellis, A. K., Ratz, J. D., Day, A. G. et Day, J. H. (2010). Factors that affect the allergic rhinitis response to ragweed allergen exposure. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, 104(4), 293-298. 10.1016/j.anai.2010.01.012
- Ellwanger, J. H. et Chies, J. A. B. (2018). Wind: a neglected factor in the spread of infectious diseases. *The Lancet Planetary Health*, 2(11), e475. 10.1016/S2542-5196(18)30238-9
- Elsom, D. M. et Webb, J. D. (2017). Lightning deaths in the UK: a 30-year analysis of the factors contributing to people being struck and killed. *International Journal of Meteorology*, 42(401), 8-26.
- Engelthaler, D. M., Mosley, D. G., Cheek, J. E., Levy, C. E., Komatsu, K. K., Ettestad, P., Davis, T., Tanda, D. T., Miller, L., Frampton, J. W., Porter, R. et Bryan, R. T. (1999). Climatic and environmental patterns associated with hantavirus pulmonary syndrome, four corners region, united states. *Emerging Infectious Diseases*, 5(1), 87-94. 10.3201/eid0501.990110
- Engler-Stringer, R. et Berenbaum, S. (2007). Exploring food security with collective kitchens participants in three Canadian cities. *Qualitative Health Research*, 17(1), 75-84. 10.1177/1049732306296451
- Enright, N. J. et Fontaine, J. B. (2014). Climate change and the management of fire-prone vegetation in southwest and southeast Australia. *Geographical Research*, 52(1), 34-44. 10.1111/1745-5871.12026
- Environnement et Changement climatique Canada. (2018). *Dangers de la foudre*. <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/foudre/mesure-securite/dangers.html>
- Environnement et Changement climatique Canada. (2019a). *Carte canadienne du risque de foudre - Canada*. https://meteo.gc.ca/lightning/index_f.html
- Environnement et Changement climatique Canada. (2019b). *Cote air santé*. aem. <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/cote-air-sante.html>
- Environnement et Changement climatique Canada. (2020). *Statistiques sur les décès et blessures causés par la foudre au Canada*. <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/foudre/mesure-securite/statistiques-deces-blessures.html>
- Environnement et Changement climatique Canada. (s. d.). *Données climatiques Canada*. <https://donneesclimatiques.ca/>
- Ercumen, A., Gruber, J. S. et Colford Jr, J. M. (2014). Water distribution system deficiencies and gastrointestinal illness: a systematic review and meta-analysis. *Environmental Health Perspectives*, 122(7), 651-660.
- Erell, E., Pearlmutter, D., Boneh, D. et Kutiel, P. B. (2014). Effect of high-albedo materials on pedestrian heat stress in urban street canyons. *Urban Climate*, 10, 367-386. 10.1016/j.uclim.2013.10.005

- Etkin, D. (2018). *Hail climatology for Canada: an update*. Institute for Catastrophic Loss Reduction. <https://www.iclr.org/wp-content/uploads/2018/03/hail-climatology-for-canada-an-update.pdf>
- Every, D., Pedler, A. et Collyer-Braham, S. (2020). Out of the storm: Extreme weather resilience for community homelessness. *Australian Journal of Emergency Management*, 35(1), 53.
- Ewing, D. A., Cobbold, C. A., Purse, B. V., Nunn, M. A. et White, S. M. (2016). Modelling the effect of temperature on the seasonal population dynamics of temperate mosquitoes. *Journal of Theoretical Biology*, 400, 65-79. 10.1016/j.jtbi.2016.04.008
- Fall, M. L., Van der Heyden, H., Beaulieu, C. et Carisse, O. (2015). *Bremia lactucae* infection efficiency in lettuce is modulated by temperature and leaf wetness duration under Quebec field conditions. *Plant Disease*, 99(7), 1010-1019. 10.1094/PDIS-05-14-0548-RE
- Fang, Y., Mauzerall, D. L., Liu, J., Fiore, A. M. et Horowitz, L. W. (2013). Impacts of 21st century climate change on global air pollution-related premature mortality. *Climatic Change*, 121(2), 239-253. 10.1007/s10584-013-0847-8
- Fann, N., Alman, B., Broome, R. A., Morgan, G. G., Johnston, F. H., Pouliot, G. et Rappold, A. G. (2018). The health impacts and economic value of wildland fire episodes in the U.S.: 2008–2012. *Science of The Total Environment*, 610-611, 802-809. 10.1016/j.scitotenv.2017.08.024
- Fann, N., Lamson, A. D., Anenberg, S. C., Wesson, K., Risley, D. et Hubbell, B. J. (2012). Estimating the national public health burden associated with exposure to ambient PM_{2.5} and ozone. *Risk Analysis*, 32(1), 81-95. 10.1111/j.1539-6924.2011.01630.x
- Fann, N., Nolte, C. G., Dolwick, P., Spero, T. L., Brown, A. C., Phillips, S. et Anenberg, S. (2015). The geographic distribution and economic value of climate change-related ozone health impacts in the United States in 2030. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 65(5), 570-580. 10.1080/10962247.2014.996270
- Fant, C., Boehlert, B., Strzepek, K., Larsen, P., White, A., Gulati, S., Li, Y. et Martinich, J. (2020). Climate change impacts and costs to U.S. electricity transmission and distribution infrastructure. *Energy*, 195, 116899. 10.1016/j.energy.2020.116899
- Farrugia, S., Hudson, M. D. et McCulloch, L. (2013). An evaluation of flood control and urban cooling ecosystem services delivered by urban green infrastructure. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 9(2), 136-145. 10.1080/21513732.2013.782342
- Fartasch, M., Diepgen, T. L., Schmitt, J. et Drexler, H. (2012). The relationship between occupational sun exposure and non-melanoma skin cancer: clinical basics, epidemiology, occupational disease evaluation, and prevention. *Deutsches Ärzteblatt International*, 109(43), 715.
- Faulkner, R., Latulippe, R., Paquette, È. et Paré, R. (2011). *Portrait de l'environnement au Québec en matière de consommation et d'abus d'alcool*. Centre québécois de lutte aux dépendances. <https://www.cqld.ca/publications/situation-quebecoise/portrait-de-lenvironnement-quebec-matiere-de-consommation-abus-dalcool-de-drogues/>
- Febriani, Y., Levallois, P., Gingras, S., Gosselin, P., Majowicz, S. E. et Fleury, M. D. (2010). The association between farming activities, precipitation, and the risk of acute gastrointestinal illness in rural municipalities of Quebec, Canada: a cross-sectional study. *BMC Public Health*, 10(1), 48. 10.1186/1471-2458-10-48

- Felix, E., Afifi, T., Kia-Keating, M., Brown, L., Afifi, W. et Reyes, G. (2015). Family functioning and posttraumatic growth among parents and youth following wildfire disasters. *American Journal of Orthopsychiatry*, 85(2), 191.
- Ferguson, L., Taylor, J., Davies, M., Shrubsole, C., Symonds, P. et Dimitroulopoulou, S. (2020). Exposure to indoor air pollution across socio-economic groups in high-income countries: a scoping review of the literature and a modelling methodology. *Environment International*, 143, 105748. 10.1016/j.envint.2020.105748
- Ferguson, M. D., Mueller, J. T., Graefe, A. R. et Mowen, A. J. (2018). Coping with climate change: a study of great lakes water-based recreationists. *Journal of Park and Recreation Administration*, 36(2), 52-74. 10.18666/JPRA-2018-V36-I2-8296
- Ferguson, R. S. et Lovell, S. T. (2014). Permaculture for agroecology: design, movement, practice, and worldview. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(2), 251-274. 10.1007/s13593-013-0181-6
- Fernandes, P. M. (2013). Fire-smart management of forest landscapes in the Mediterranean basin under global change. *Landscape and Urban Planning*, 110, 175-182.
- Fernandez, A., Black, J., Jones, M., Wilson, L., Salvador-Carulla, L., Astell-Burt, T. et Black, D. (2015). Flooding and mental health: a systematic mapping review. *PLOS ONE*, 10(4), e0119929. 10.1371/journal.pone.0119929
- Ferrouillet, Cécile, Lambert, L. et Milord, F. (2012). *Consultation sur l'état actuel de la surveillance des zoonoses au Québec et son adéquation avec les changements climatiques et écologiques*. Institut national de santé publique du Québec.
https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/1541_ConsulEtatActSurvZoonoQcAdeqChangClimEcolo.pdf
- Ferrouillet, Cecile, Milord, F., Lambert, L., Vibien, A. et Ravel, A. (2015). Lyme disease: knowledge and practices of family practitioners in southern Quebec. *Canadian Journal of Infectious Diseases & Medical Microbiology*, 26(3), 151-156. 10.1155/2015/846963
- Finch, C., Al-Damluji, M. S., Krause, P. J., Niccolai, L., Steeves, T., O'Keefe, C. F. et Diuk-Wasser, M. A. (2014). Integrated assessment of behavioral and environmental risk factors for lyme disease infection on Block Island, Rhode Island. *PLOS ONE*, 9(1). 10.1371/journal.pone.0084758
- Finlay, S. E., Moffat, A., Gazzard, R., Baker, D. et Murray, V. (2012). Health impacts of wildfires. *PLoS Currents*, 4. 10.1371/4f959951cce2c
- Fiolet, T., Srour, B., Sellem, L., Kesse-Guyot, E., Allès, B., Méjean, C., Deschasaux, M., Fassier, P., Latino-Martel, P., Beslay, M., Hercberg, S., Lavalette, C., Monteiro, C. A., Julia, C. et Touvier, M. (2018). Consumption of ultra-processed foods and cancer risk: results from NutriNet-Santé prospective cohort. *BMJ*, 360. 10.1136/bmj.k322
- Fioletov, V. E., McArthur, L. J. B., Mathews, T. W. et Marrett, L. (2010). Estimated ultraviolet exposure levels for a sufficient vitamin D status in North America. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 100(2), 57-66. 10.1016/j.jphotobiol.2010.05.002
- Fioletov, V., Kerr, J. B. et Fergusson, A. (2010). The UV Index: definition, distribution and factors affecting it. *Canadian Journal of Public Health*, 101(4), 15-19. 10.1007/BF03405303
- Fiore, A. M., Naik, V. et Leibensperger, E. M. (2015). Air quality and climate connections. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 65(6), 645-685. 10.1080/10962247.2015.1040526

- FireSmart Canada, Partners in Protection et The Co-operators. (2017). *FireSmart Home Development Guide*.
https://www.firesmartcanada.ca/images/uploads/resources/FSCanada_HomeDevBooklet_5.5x8.5-V6-Mar20.pdf
- FireSmart Canada. (2018). *FireSmart Neighbourhoods: Quebec*.
<https://firesmartcanada.ca/programs-and-education/neighbourhood-recognition-program/find-a-firesmart-community/quebec/>
- First, J. M., First, N. L. et Houston, J. B. (2017). Intimate partner violence and disasters: a framework for empowering women experiencing violence in disaster settings. *Affilia*, 32(3), 390-403.
- Fisk, W. J. (2015). Review of some effects of climate change on indoor environmental quality and health and associated no-regrets mitigation measures. *Building and Environment*, 86, 70-80. 10.1016/j.buildenv.2014.12.024
- Fitzgerald, E. F., Pantea, C. et Lin, S. (2014). Cold spells and the risk of hospitalization for asthma: New York, USA 1991-2006. *Lung*, 192(6), 947-954. <https://doi.org/10.1007/s00408-014-9645-y>
- Flannigan, M. D., Krawchuk, M. A., Groot, W. J. de, Wotton, B. M. et Gowman, L. M. (2009). Implications of changing climate for global wildland fire. *International Journal of Wildland Fire*, 18(5), 483-507. 10.1071/WF08187
- Flannigan, M. D., Logan, K. A., Amiro, B. D., Skinner, W. R. et Stocks, B. J. (2005). Future area burned in Canada. *Climatic Change*, 72(1), 1-16. 10.1007/s10584-005-5935-y
- Flannigan, M. D., Wotton, B. M., Marshall, G. A., de Groot, W. J., Johnston, J., Jurko, N. et Cantin, A. S. (2016). Fuel moisture sensitivity to temperature and precipitation: climate change implications. *Climatic Change*, 134(1), 59-71. 10.1007/s10584-015-1521-0
- Fleury, M., Charron, D. F., Holt, J. D., Allen, O. B. et Maarouf, A. R. (2006). A time series analysis of the relationship of ambient temperature and common bacterial enteric infections in two Canadian provinces. *International Journal of Biometeorology*, 50(6), 385-391. 10.1007/s00484-006-0028-9
- Flores-Pajot, M.-C., Ofner, M., Do, M. T., Lavigne, É. et Villeneuve, P. J. (2016). Childhood autism spectrum disorders and exposure to nitrogen dioxide, and particulate matter air pollution: a review and meta-analysis. *Environmental Research*, 151, 763-776. 10.1016/j.envres.2016.07.030
- Flouris, A. D., Dinas, P. C., Ioannou, L. G., Nybo, L., Havenith, G., Kenny, G. P. et Kjellstrom, T. (2018). Workers' health and productivity under occupational heat strain: a systematic review and meta-analysis. *The Lancet Planetary Health*, 2(12), e521-e531. 10.1016/S2542-5196(18)30237-7
- Flynn, M., Ford, J. D., Labbé, J., Schrott, L. et Tagalik, S. (2018). Evaluating the effectiveness of hazard mapping as climate change adaptation for community planning in degrading permafrost terrain. *Sustainability Science*, 1-16.
- Ford, B., Val Martin, M., Zelasky, S., Fischer, E., Anenberg, S., Heald, C. et Pierce, J. (2018). Future fire impacts on smoke concentrations, visibility, and health in the contiguous United States. *GeoHealth*, 2(8), 229-247.
- Ford, J. D. (2009). Vulnerability of Inuit food systems to food insecurity as a consequence of climate change: a case study from Igloolik, Nunavut. *Regional Environmental Change*, 9(2), 83-100. 10.1007/s10113-008-0060-x

- Ford, J. D. (2012). Indigenous health and climate change. *American Journal of Public Health, 102*(7), 1260-1266. 10.2105/AJPH.2012.300752
- Ford, J. D., Willox, A. C., Chatwood, S., Furgal, C., Harper, S., Mauro, I. et Pearce, T. (2014). Adapting to the effects of climate change on Inuit health. *American Journal of Public Health, 104*(3), E9-E17. 10.2105/AJPH.2013.301724
- Fordyce, T. A., Leonhard, M. J. et Chang, E. T. (2018). A critical review of developmental exposure to particulate matter, autism spectrum disorder, and attention deficit hyperactivity disorder. *Journal of Environmental Science and Health, Part A, 53*(2), 174-204. 10.1080/10934529.2017.1383121
- Forest, J.-F. (2016). *Évaluation des principaux risques climatiques actuels sur les cultures maraîchères afin d'identifier les besoins d'adaptation et les technologies potentielles*. Forest Lavoie Conseil.
- Forrester, J. D., Meiman, J., Mullins, J., Nelson, R., Ertel, S.-H., Cartter, M., Brown, C. M., Lijewski, V., Schiffman, E., Neitzel, D., Daly, E. R., Mathewson, A. A., Howe, W., Lowe, L. A., Kratz, N. R., Semple, S., Backenson, P. B., White, J. L., Kurpiel, P. M., ... Mead, P. (2014). Update on Lyme carditis, groups at high risk, and frequency of associated sudden cardiac death — United States. *Morbidity and Mortality Weekly Report, 63*(43), 982-983.
- Fortier, C. (2013). *Impact des changements climatiques sur les débordements des réseaux d'égouts unitaires*. Institut national de la recherche scientifique.
- Fortin, A., Vibien, A., Therrien, C., Bolduc, D., Milord, F., Lebel, G., Troesch, M. et Samuel, O. (2013). *Le risque relié au virus du Nil occidental au Québec et les interventions à privilégier en 2013*. Institut national de santé publique du Québec.
https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/1629_RisqueVNOQcIntervPrivil2013.pdf
- Fortune, M., Mustard, C. et Brown, P. (2014). The use of Bayesian inference to inform the surveillance of temperature-related occupational morbidity in Ontario, Canada, 2004-2010. *Environmental Research, 132*, 449-456. 10.1016/j.envres.2014.04.022
- Foucreault, M.-A. (2019). *Bilan de la qualité de l'air au Québec 2016*. Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques.
- Foudi, S., Osés-Eraso, N. et Galarraga, I. (2017). The effect of flooding on mental health: lessons learned for building resilience. *Water Resources Research, 53*(7), 5831-5844. 10.1002/2017WR020435
- Fox-Penner, P. (2014). *Smart power anniversary edition: Climate change, the smart grid, and the future of electric utilities*. Island Press.
- Franklin, B., Jones, A., Love, D., Puckett, S., Macklin, J. et White-Means, S. (2012). Exploring mediators of food insecurity and obesity: a review of recent literature. *Journal of Community Health, 37*(1), 253-264. 10.1007/s10900-011-9420-4
- Fraser, C., Bernatchez, P. et Dugas, S. (2017). Development of a GIS coastal land-use planning tool for coastal erosion adaptation based on the exposure of buildings and infrastructure to coastal erosion, Québec, Canada. *Geomatics, Natural Hazards and Risk, 8*(2), 1103-1125. 10.1080/19475705.2017.1294114
- Freedman, D. M., Kitahara, C. M., Linet, M. S., Alexander, B. H., Neta, G., Little, M. P. et Cahoon, E. K. (2015). Ambient temperature and risk of first primary basal cell carcinoma: A nationwide United States cohort study. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 148*, 284-289. 10.1016/j.jphotobiol.2015.04.025

- French, C. E., Waite, T. D., Armstrong, B., Rubin, G. J., Group, E. N. S. of F. and H. S., Beck, C. R. et Oliver, I. (2019). Impact of repeat flooding on mental health and health-related quality of life: a cross-sectional analysis of the English National Study of Flooding and Health. *BMJ Open*, 9(11). 10.1136/bmjopen-2019-031562
- Friel, S., Berry, H., Dinh, H., O'Brien, L. et Walls, H. L. (2014). The impact of drought on the association between food security and mental health in a nationally representative Australian sample. *BMC Public Health*, 14(1), 1102.
- Fröhlich, M., Pinart, M., Keller, T., Reich, A., Cabieses, B., Hohmann, C., Postma, D. S., Bousquet, J., Antó, J. M., Keil, T. et Roll, S. (2017). Is there a sex-shift in prevalence of allergic rhinitis and comorbid asthma from childhood to adulthood? A meta-analysis. *Clinical and Translational Allergy*, 7. 10.1186/s13601-017-0176-5
- Fuglei, E. et Ims, R. A. (2008). Global warming and effects on the arctic fox. *Science Progress*, 91(2), 175-191. 10.3184/003685008X327468
- Fugler, D. (2008). *Usage of ventilation systems in Canadian houses* (p. 87-91). Proceedings of the First Canadian Building and Health Sciences Workshop.
- Fuller, D., Engler-Stringer, R. et Muhajarine, N. (2015). Examining food purchasing patterns from sales data at a full-service grocery store intervention in a former food desert. *Preventive Medicine Reports*, 2, 164-169. 10.1016/j.pmedr.2015.02.012
- Fullerton, C. S., McKibben, J. B. A., Reissman, D. B., Scharf, T., Kowalski-Trakofler, K. M., Shultz, J. M. et Ursano, R. J. (2013). Posttraumatic stress disorder, depression, and alcohol and tobacco use in public health workers after the 2004 Florida hurricanes. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 7(1), 89-95. 10.1017/dmp.2013.6
- Fullerton, C. S., Ursano, R. J., Liu, X., McKibben, J. B. A., Wang, L. et Reissman, D. B. (2015). Depressive symptom severity and community collective efficacy following the 2004 Florida hurricanes. *PLOS ONE*, 10(6). 10.1371/journal.pone.0130863
- Fulton, A. E. et Drolet, J. (2018). Responding to disaster-related loss and grief: recovering from the 2013 flood in Southern Alberta, Canada. *Journal of Loss & Trauma*, 23(2), 140-158. 10.1080/15325024.2018.1423873
- Funari, E., Manganelli, M. et Sinisi, L. (2012). Impact of climate change on waterborne diseases. *Annali dell'Istituto superiore di sanita*, 48, 473-487.
- Furr, J. M., Corner, J. S., Edmunds, J. M. et Kendall, P. C. (2010). Disasters and youth: a meta-analytic examination of posttraumatic stress. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 78(6), 765-780. 10.1037/a0021482
- Gabriel, K. M. et Endlicher, W. R. (2011). Urban and rural mortality rates during heat waves in Berlin and Brandenburg, Germany. *Environmental Pollution*, 159(8-9), 2044-2050.
- Gabriele-Rivet, V., Arsenault, J., Badcock, J., Cheng, A., Edsall, J., Goltz, J., Kennedy, J., Lindsay, L. R., Pelcat, Y. et Ogden, N. H. (2015). Different ecological niches for ticks of public health significance in Canada. *PLOS ONE*, 10(7), e0131282. 10.1371/journal.pone.0131282
- Gachon, P., Raphoz, M., Dueymes, G., Jeffers, S., Bussièrès, L., Bustinza, R., Gosselin, D., Yagouti, A., Gosselin, P., Martin, P. et Labrecque, S. (2016). *Guide to identifying alert thresholds for heat waves in Canada based on evidence*. Université du Québec à Montréal.

- Gagnon, A.-È., Arsenault-Labrecque, Geneviève, Bourgeois, G., Bourdages, L., Grenier, P. et Roy, M. (2013). *Études de cas pour faciliter une gestion efficace des ennemis des cultures dans le contexte de l'augmentation des risques phytosanitaires liés aux changements climatiques*. Ouranos.
- Gagnon, D., Romero, S. A., Cramer, M. N., Jay, O. et Crandall, C. G. (2016). Cardiac and thermal strain of elderly adults exposed to extreme heat and humidity with and without electric fan use. *JAMA*, 316(9), 989-991. 10.1001/jama.2016.10550
- Gagnon, P., Sheedy, C., Rousseau, A. N., Bourgeois, G. et Chouinard, G. (2016). Integrated assessment of climate change impact on surface runoff contamination by pesticides. *Integrated Environmental Assessment & Management*, 12(3), 559-571.
- Gaither, C. J., Poudyal, N. C., Goodrick, S., Bowker, J. M., Malone, S. et Gan, J. (2011). Wildland fire risk and social vulnerability in the Southeastern United States: An exploratory spatial data analysis approach. *Forest Policy and Economics*, 13(1), 24-36. 10.1016/j.forpol.2010.07.009
- Gamble, J. L., Hurley, B. J., Schultz, P. A., Jaglom, W. S., Krishnan, N. et Harris, M. (2013). Climate change and older Americans: state of the science. *Environmental Health Perspectives*, 121(1), 15.
- Garcia, C. A., Yap, P.-S., Park, H.-Y. et Weller, B. L. (2016). Association of long-term PM2.5 exposure with mortality using different air pollution exposure models: impacts in rural and urban California. *International Journal of Environmental Health Research*, 26(2), 145-157. 10.1080/09603123.2015.1061113
- Garcia-Elfring, A., Barrett, R. D. H., Combs, M., Davies, T. J., Munshi-South, J. et Millien, V. (2017). Admixture on the northern front: population genomics of range expansion in the white-footed mouse (*Peromyscus leucopus*) and secondary contact with the deer mouse (*Peromyscus maniculatus*). *Heredity*, 119(6), 447-458. 10.1038/hdy.2017.57
- Garcia-Menendez, F., Saari, R. K., Monier, E. et Selin, N. E. (2015). U.S. air quality and health benefits from avoided climate change under greenhouse gas mitigation. *Environmental Science & Technology*, 49(13), 7580-7588. 10.1021/acs.est.5b01324
- Gardner, A. M., Allan, B. F., Frisbie, L. A. et Muturi, E. J. (2015). Asymmetric effects of native and exotic invasive shrubs on ecology of the West Nile virus vector *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae). *Parasites & Vectors*, 8(1), 329. 10.1186/s13071-015-0941-z
- Gardner, A. M., Muturi, E. J., Overmier, L. D. et Allan, B. F. (2017). Large-scale removal of invasive honeysuckle decreases mosquito and avian host abundance. *EcoHealth*, 14(4), 750-761. 10.1007/s10393-017-1265-6
- Gargiulo, C., Battarra, R. et Tremitterra, M. R. (2020). Coastal areas and climate change: a decision support tool for implementing adaptation measures. *Land Use Policy*, 91, 104413. 10.1016/j.landusepol.2019.104413
- Gariano, S. L. et Guzzetti, F. (2016). Landslides in a changing climate. *Earth-Science Reviews*, 162, 227-252. 10.1016/j.earscirev.2016.08.011
- Garrigou, A., Laurent, C., Berthet, A., Colosio, C., Jas, N., Daubas-Letourneux, V., Jackson Filho, J.-M., Jouzel, J.-N., Samuel, O., Baldi, I., Lebailly, P., Gale, L., Goutille, F. et Judon, N. (2020). Critical review of the role of PPE in the prevention of risks related to agricultural pesticide use. *Safety Science*, 123, 104527. 10.1016/j.ssci.2019.104527

- Gaskin, C. J., Taylor, D., Kinnear, S., Mann, J., Hillman, W. et Moran, M. (2017). Factors associated with the climate change vulnerability and the adaptive capacity of people with disability: a systematic review. *Weather, Climate, and Society*, 9(4), 801-814.
- Gasmi, S., Bouchard, C., Ogden, N. H., Adam-Poupart, A., Pelcat, Y., Rees, E. E., Milord, F., Leighton, P. A., Lindsay, R. L. et Koffi, J. K. (2018). Evidence for increasing densities and geographic ranges of tick species of public health significance other than *Ixodes scapularis* in Québec, Canada. *PLOS ONE*, 13(8).
- Gasmi, S., Ogden, N. H., Leighton, P. A., Adam-Poupart, A., Milord, F., Lindsay, L. R., Barkati, S. et Thivierge, K. (2017). Practices of Lyme disease diagnosis and treatment by general practitioners in Quebec, 2008-2015. *Bmc Family Practice*, 18, 65. 10.1186/s12875-017-0636-y
- Gasmi, S., Ogden, N. H., Leighton, P. A., Lindsay, L. R. et Thivierge, K. (2016). Analysis of the human population bitten by *Ixodes scapularis* ticks in Quebec, Canada: Increasing risk of Lyme disease. *Ticks and Tick-Borne Diseases*, 7(6), 1075-1081. 10.1016/j.ttbdis.2016.09.006
- Gasmi, S., Ogden, N., Lindsay, L., Burns, S., Fleming, S., Badcock, J., Hanan, S., Gaulin, C., Leblanc, M., Russell, C., Nelder, M., Hobbs, L., Graham-Derham, S., Lachance, L., Scott, A., Galanis, E. et Koffi, J. (2017). Surveillance for Lyme disease in Canada: 2009–2015. *Canada Communicable Disease Report*, 43(10), 194-199. 10.14745/ccdr.v43i10a01
- Gasparri, A., Guo, Y., Hashizume, M., Kinney, P. L., Petkova, E. P., Lavigne, É., Zanobetti, A., Schwartz, J. D., Tobias, A., Leone, M., Tong, S., Honda, Y., Kim, H. et Armstrong, B. G. (2015). Temporal variation in heat-mortality associations: a multicountry study. *Environmental Health Perspectives*, 123(11), 1200-1207. 10.1289/ehp.1409070
- Gasparri, A., Guo, Y., Hashizume, M., Lavigne, É., Tobias, A., Zanobetti, A., Schwartz, J. D., Leone, M., Michelozzi, P., Kan, H., Tong, S., Honda, Y., Kim, H. et Armstrong, B. G. (2016). Changes in susceptibility to heat during the summer: a multicountry analysis. *American Journal of Epidemiology*, 183(11), 1027-1036. 10.1093/aje/kwv260
- Gasparri, A., Guo, Y., Hashizume, M., Lavigne, E., Zanobetti, A., Schwartz, J., Tobias, A., Tong, S., Rocklöv, J., Forsberg, B., Leone, M., De Sario, M., Bell, M. L., Guo, Y.-L. L., Wu, C., Kan, H., Yi, S.-M., de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, M., Saldiva, P. H. N., ... Armstrong, B. (2015). Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *The Lancet*, 386(9991), 369-375. 10.1016/S0140-6736(14)62114-0
- Gasparri, A., Guo, Y., Sera, F., Vicedo-Cabrera, A. M., Huber, V., Tong, S., de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, M., Nascimento Saldiva, P. H., Lavigne, E., Matus Correa, P., Valdes Ortega, N., Kan, H., Osorio, S., Kyselý, J., Urban, A., Jaakkola, J. J. K., Rytty, N. R. I., Pascal, M., Goodman, P. G., ... Armstrong, B. (2017). Projections of temperature-related excess mortality under climate change scenarios. *The Lancet Planetary Health*, 1(9), e360-e367. 10.1016/S2542-5196(17)30156-0
- Gatto, M. P., Cabella, R. et Gherardi, M. (2016). Climate change: the potential impact on occupational exposure to pesticides. *Annali Dell'Istituto Superiore Di Sanità*, 52(3), 374-385.
- Geertsema, M. (2013). Quick clay landslides, landscape evolution, and climate change: a perspective from British Columbia. Dans C. Margottini, P. Canuti et K. Sassa (dir.), *Landslide Science and Practice: Volume 4: Global Environmental Change* (p. 115-120). Springer Berlin Heidelberg. 10.1007/978-3-642-31337-0_15

- Généreux, M., Lansard, A.-L., Maltais, D. et Gachon, P. (2020). *Impacts des inondations sur la santé mentale des Québécois : pourquoi certains citoyens sont-ils plus affectés que d'autres? Mon climat, ma santé*. <http://www.monclimatmasante.qc.ca/impacts-des-inondations-sur-la-sante-mentale-des-quebecois>
- Georgakakos, A., Yao, H., Kistenmacher, M., Georgakakos, K., Graham, N., Cheng, F.-Y., Spencer, C. et Shamir, E. (2012). Value of adaptive water resources management in Northern California under climatic variability and change: Reservoir management. *Journal of Hydrology*, 412, 34-46.
- Germain, D. (2016). Snow avalanche hazard assessment and risk management in northern Quebec, eastern Canada. *Natural Hazards*, 80(2), 1303-1321. 10.1007/s11069-015-2024-z
- Germain, D., Filion, L. et Héту, B. (2009). Snow avalanche regime and climatic conditions in the Chic-Choc Range, eastern Canada. *Climatic Change*, 92(1), 141-167. 10.1007/s10584-008-9439-4
- Germain, G., Soto, J., Simon, A., Arsenault, J., Baron, G., Bouchard, C., Chaumont, D. et Turgeon, P. (2019). *Bulletin de l'Observatoire multipartite québécois sur les zoonoses et l'adaptation aux changements climatiques: Volume 2 - Numéro 1*. Observatoire multipartite québécois sur les zoonoses et l'adaptation aux changements climatiques. <https://inspq.qc.ca/bulletin-de-l-observatoire-multipartite-quebecois-sur-les-zoonoses-et-l-adaptation-aux-changements-climatiques/juin-2019>
- Gervais, M.-C. et Laliberté, C. (2016). *Mesures d'adaptation à la chaleur, confort thermique et qualité de l'air intérieur dans l'habitation*. Institut national de santé publique du Québec. https://www.inspq.qc.ca/sites/default/files/publications/2194_adaptation_emission_contaminants_interieur.pdf
- Ghazani, M., FitzGerald, G., Hu, W. et Xu, Z. (2018). Temperature variability and gastrointestinal infections: a review of impacts and future perspectives. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(4), 766. 10.3390/ijerph15040766
- Gibson, A., Walsh, J. et Brown, L. M. (2017). Disaster mental health services review of care for older persons after disasters. *Disaster medicine and public health preparedness*, 1-7.
- Gilbert, M., Slingenbergh, J. et Xiao, X. (2008). Climate change and avian influenza. *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)*, 27(2), 459-466.
- Giles, L. V. et Koehle, M. S. (2014). The health effects of exercising in air pollution. *Sports Medicine*, 44(2), 223-249. 10.1007/s40279-013-0108-z
- Gill, R. S., Hambridge, H. L., Schneider, E. B., Hanff, T., Tamargo, R. J. et Nyquist, P. (2013). Falling temperature and colder weather are associated with an increased risk of aneurysmal subarachnoid hemorrhage. *World Neurosurgery*, 79(1), 136-142.
- Gillett, N. P., Weaver, A. J., Zwiers, F. W. et Flannigan, M. D. (2004). Detecting the effect of climate change on Canadian forest fires. *Geophysical Research Letters*, 31(18). 10.1029/2004GL020876
- Giordano, B. V., Kaur, S. et Hunter, F. F. (2017). West Nile virus in Ontario, Canada: a twelve-year analysis of human case prevalence, mosquito surveillance, and climate data. *PLOS ONE*, 12(8), e0183568. 10.1371/journal.pone.0183568
- Giordano, B. V., Turner, K. W. et Hunter, F. F. (2018). Geospatial analysis and seasonal distribution of West Nile virus vectors (diptera: Culicidae) in southern Ontario, Canada. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(4). 10.3390/ijerph15040614

- Girard, A. et Sercia, P. (2013). Immigration and food insecurity: social and nutritional issues for recent immigrants in Montreal, Canada. *International Journal of Migration, Health and Social Care*, 9(1), 32-45. 10.1108/17479891311318566
- Girardin, M. P., Ali, A. A., Carcaillet, C., Gauthier, S., Hély, C., Le Goff, H., Terrier, A. et Bergeron, Y. (2013). Fire in managed forests of eastern Canada: risks and options. *Forest Ecology and Management*, 294, 238-249. 10.1016/j.foreco.2012.07.005
- Girardin, M.-P., Tardif, J., Flannigan, M. D., Wotton, B. M. et Bergeron, Y. (2004). Trends and periodicities in the Canadian Drought Code and their relationships with atmospheric circulation for the southern Canadian boreal forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 34(1), 103-119. 10.1139/x03-195
- Giroto, F. et Cossu, R. (2017). Animal waste: opportunities and challenges. Dans E. Lichtfouse (dir.), *Sustainable Agriculture Reviews* (vol. 22, p. 1-13). Springer International Publishing. 10.1007/978-3-319-48006-0_1
- Giroux-Works, N. (2017). *Expériences d'un climat en changement: conditions socio-économiques et défis environnementaux chez les pêcheurs et agriculteurs madelinots*. Université Laval.
- Gładka, A., Rymaszewska, J. et Zatoński, T. (2018). Impact of air pollution on depression and suicide. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 31(6), 711-721. 10.13075/ijom.1896.01277
- Gleason, J. A., Bielory, L. et Fagliano, J. A. (2014). Associations between ozone, PM_{2.5}, and four pollen types on emergency department pediatric asthma events during the warm season in New Jersey: A case-crossover study. *Environmental Research*, 132, 421-429. 10.1016/j.envres.2014.03.035
- Gleim, E. R., Zemtsova, G. E., Berghaus, R. D., Levin, M. L., Conner, M. et Yabsley, M. J. (2019). Frequent prescribed fires can reduce risk of tick-borne diseases. *Scientific Reports*, 9(1), 9974. 10.1038/s41598-019-46377-4
- Gober, P., Brazel, A., Quay, R., Myint, S., Grossman-Clarke, S., Miller, A. et Rossi, S. (2009). Using watered landscapes to manipulate urban heat island effects: how much water will it take to cool Phoenix? *Journal of the American Planning Association*, 76(1), 109-121. 10.1080/01944360903433113
- Godbout, S., Brassard, P., Pelletier, F., Grenier, M., Grenier, P., Belzile, L., Landry, C., Bolduc, F., Benslimane, O. et Bilodeau, D. (2013). *Étude des volumes de précipitation et d'évaporation pour le calcul des structures d'entreposage de fumier dans un contexte de changements climatiques*. Ouranos. <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportGodbout2013.pdf>
- Gogna, P., Narain, T. A., O'Sullivan, D. E., Villeneuve, P. J., Demers, P. A., Hystad, P., Brenner, D. R., Friedenreich, C. M. et King, W. D. (2019). Estimates of the current and future burden of lung cancer attributable to PM_{2.5} in Canada. *Preventive Medicine*, 122, 91-99. 10.1016/j.ypmed.2019.03.010
- Goldberg, M. S., Burnett, R. T., Stieb, D. M., Brophy, J. M., Daskalopoulou, S. S., Valois, M.-F. et Brook, J. R. (2013). Associations between ambient air pollution and daily mortality among elderly persons in Montreal, Quebec. *Science of The Total Environment*, 463-464, 931-942. 10.1016/j.scitotenv.2013.06.095

- Goldberg, M. S., Gasparrini, A., Armstrong, B. et Valois, M.-F. (2011). The short-term influence of temperature on daily mortality in the temperate climate of Montreal, Canada. *Environmental research*, 111(6), 853-860.
- Goldman, A., Eggen, B., Golding, B. et Murray, V. (2014). The health impacts of windstorms: a systematic literature review. *Public health*, 128(1), 3-28.
- Gomes-Solecki, M. (2014). Blocking pathogen transmission at the source: reservoir targeted OspA-based vaccines against *Borrelia burgdorferi*. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 4, 10.3389/fcimb.2014.00136
- Gomez-Lopez, N., StLouis, D., Lehr, M. A., Sanchez-Rodriguez, E. N. et Arenas-Hernandez, M. (2014). Immune cells in term and preterm labor. *Cellular & Molecular Immunology*, 11(6), 571-581. 10.1038/cmi.2014.46
- Gomiero, T., Pimentel, D. et Paoletti, M. G. (2011). Environmental impact of different agricultural management practices: conventional vs. organic agriculture. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 30(1-2), 95-124. 10.1080/07352689.2011.554355
- González, A. D., Frostell, B. et Carlsson-Kanyama, A. (2011). Protein efficiency per unit energy and per unit greenhouse gas emissions: potential contribution of diet choices to climate change mitigation. *Food Policy*, 36(5), 562-570. 10.1016/j.foodpol.2011.07.003
- Gonzalez-Rivas, P. A., Chauhan, S. S., Ha, M., Fegan, N., Dunshea, F. R. et Warner, R. D. (2020). Effects of heat stress on animal physiology, metabolism, and meat quality: a review. *Meat Science*, 162, 108025. 10.1016/j.meatsci.2019.108025
- Gooch, M., Bucknell, D., LaPlain, D., Dent, B., Whitehead, P., Felfel, A., Nikkel, L. et Maguire, M. (2019). *The avoidable crisis of food waste: technical report*. Second Harvest & Value Chain Management International Inc. <https://secondharvest.ca/wp-content/uploads/2019/01/Avoidable-Crisis-of-Food-Waste-Technical-Report-January-17-2019.pdf>
- Gooch, M., Felfel, A. et Marenick, N. (2010). *Food waste in Canada*. Value Chain Management Centre & George Morris Centre. <https://vcm-international.com/wp-content/uploads/2013/04/Food-Waste-in-Canada-112410.pdf>
- Goodwin, R. D., Pagura, J., Cox, B. et Sareen, J. (2010). Asthma and mental disorders in Canada: impact on functional impairment and mental health service use. *Journal of Psychosomatic Research*, 68(2), 165-173. 10.1016/j.jpsychores.2009.06.005
- Goodwin, R. D., Robinson, M., Sly, P. D., McKeague, I. W., Susser, E. S., Zubrick, S. R., Stanley, F. J. et Mattes, E. (2013). Severity and persistence of asthma and mental health: a birth cohort study. *Psychological Medicine*, 43(6), 1313-1322. 10.1017/S0033291712001754
- Gorman, S., Lucas, R. M., Allen-Hall, A., Fleury, N. et Feelisch, M. (2017). Ultraviolet radiation, vitamin D and the development of obesity, metabolic syndrome and type-2 diabetes. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 16(3), 362-373. 10.1039/c6pp00274a
- Gorman, S., McGlade, J. P., Lambert, M. J., Strickland, D. H., Thomas, J. A. et Hart, P. H. (2010). UV exposure and protection against allergic airways disease. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 9(4), 571-577.

- Gossen, B. D., Cranmer, T. J., Gludovacz, T. V. et McDonald, M. R. (2017). Weather thresholds for clubroot development on canola and brassica vegetables. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 39(4), 475-485. 10.1080/07060661.2017.1369459
- Gossen, B. D., Strelkov, S. E., Manolii, V. P., Rennie, D. C., Cao, T., Hwang, S. F., Peng, G. et McDonald, M. R. (2015). Spread of *Plasmodiophora brassicae* on canola in Canada, 2003-2014: Old pathogen, new home. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 37(4), 403-413. 10.1080/07060661.2015.1105871
- Gough, W. A., Tam, B. Y., Mohsin, T. et Allen, S. M. (2014). Extreme cold weather alerts in Toronto, Ontario, Canada and the impact of a changing climate. *Urban Climate*, 8, 21-29.
- Goulet, M. et Lecours, M. (2011). *Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère - Pour une meilleure protection de la qualité de l'air*. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/air/atmosphere/articleRAA-201109pdf.pdf>
- Gouvernement du Canada. (2018). *Votre guide de préparation aux urgences*. <https://www.preparez-vous.gc.ca/cnt/rsrscs/pblctns/yprprdnssgd/index-fr.aspx>
- Gouvernement du Canada. (2019). *Prévention Inondation*. <https://www.canada.ca/fr/campagne/prevention-inondation.html>
- Gouvernement du Québec. (2019). *Problèmes de santé causés par les moisissures*. <https://www.quebec.ca/sante/problemes-de-sante/a-z/problemes-de-sante-causes-par-les-moisissures/>
- Gouvernement du Québec. (2020a). *Comment se préparer à la maison*. <https://www.quebec.ca/securite-situations-urgence/se-preparer/maison/>
- Gouvernement du Québec. (2020b). *Maladie de Lyme*. <https://www.quebec.ca/sante/problemes-de-sante/a-z/maladie-de-lyme/>
- Grabow, M. L., Spak, S. N., Holloway, T., Stone Jr, B., Mednick, A. C. et Patz, J. A. (2012). Air quality and exercise-related health benefits from reduced car travel in the midwestern United States. *Environmental Health Perspectives*, 120(1), 68-76.
- Grafton, R. Q. (2010). Adaptation to climate change in marine capture fisheries. *Marine Policy*, 34(3), 606-615.
- Graham, D. A., Vanos, J. K., Kenny, N. A. et Brown, R. D. (2016). The relationship between neighbourhood tree canopy cover and heat-related ambulance calls during extreme heat events in Toronto, Canada. *Urban Forestry & Urban Greening*, 20, 180-186. 10.1016/j.ufug.2016.08.005
- Graham, H., White, P., Cotton, J. et McManus, S. (2019). Flood- and weather-damaged homes and mental health: an analysis using England's mental health survey. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(18), 3256. 10.3390/ijerph16183256
- Grant, W. B., Schwalfenberg, G. K., Genuis, S. J. et Whiting, S. J. (2010). An estimate of the economic burden and premature deaths due to vitamin D deficiency in Canada. *Molecular Nutrition & Food Research*, 54(8), 1172-1181. 10.1002/mnfr.200900420

- Grear, J. S., Koethe, R., Hoskins, B., Hillger, R., Dapsis, L. et Pongsiri, M. (2014). The effectiveness of permethrin-treated deer stations for control of the Lyme disease vector *Ixodes scapularis* on Cape Cod and the islands: a five-year experiment. *Parasites & Vectors*, 7(1), 292. 10.1186/1756-3305-7-292
- Green, A. C., Wallingford, S. C. et McBride, P. (2011). Childhood exposure to ultraviolet radiation and harmful skin effects: Epidemiological evidence. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 107(3), 349-355. 10.1016/j.pbiomolbio.2011.08.010
- Greenan, B. J. W., James, T. S., Loder, J. W., Pepin, P., Azetsu-Scott, K., Ianson, D., Hamme, R. C., Gilbert, D., Tremblay, J.-É., Wang, X. L. et Perrie, W. (2019). Chapitre 7 : Changements touchant les océans qui bordent le Canada. Dans E. Bush et D. S. Lemmen (dir.), *Rapport sur le climat changeant du Canada* (Gouvernement du Canada).
- Greene, G., Paranjothy, S. et Palmer, S. R. (2015). Resilience and vulnerability to the psychological harm from flooding: the role of social cohesion. *American Journal of Public Health*, 105(9), 1792-1795. 10.2105/AJPH.2015.302709
- Gregory, C. A. et Coleman-Jensen, A. (2017). *Food insecurity, chronic disease, and health among working-age adults* (n° 25). United States Department of Agriculture.
- Gronlund, C. J. (2014). Racial and socioeconomic disparities in heat-related health effects and their mechanisms: a review. *Current Epidemiology Reports*, 1(3), 165-173. 10.1007/s40471-014-0014-4
- Gronlund, C. J., Sullivan, K. P., Kefelegn, Y., Cameron, L. et O'Neill, M. S. (2018). Climate change and temperature extremes: a review of heat-and cold-related morbidity and mortality concerns of municipalities. *Maturitas*.
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. (2014). *Changements climatiques 2014: incidences, adaptation et vulnérabilité*. Organisation météorologique mondiale.
- Gruber-Dorninger, C., Jenkins, T. et Schatzmayr, G. (2019). Global mycotoxin occurrence in feed: a ten-year survey. *Toxins*, 11(7), 375. 10.3390/toxins11070375
- Gucciardi, E., Vahabi, M., Norris, N., Del Monte, J. P. et Farnum, C. (2014). The intersection between food insecurity and diabetes: a review. *Current Nutrition Reports*, 3(4), 324-332. 10.1007/s13668-014-0104-4
- Guinard, K., Mailhot, A. et Caya, D. (2015). Projected changes in characteristics of precipitation spatial structures over North America. *International Journal of Climatology*, 35(4), 596-612. 10.1002/joc.4006
- Guiney, R. (2012). Farming suicides during the Victorian drought: 2001–2007. *Australian journal of rural health*, 20(1), 11-15.
- Gundersen, C. et Ziliak, J. P. (2015). Food insecurity and health outcomes. *Health Affairs*, 34(11), 1830-1839. 10.1377/hlthaff.2015.0645
- Gunn, K. M., Kettler, L. J., Skaczkowski, G. L. et Turnbull, D. A. (2012). Farmers' stress and coping in a time of drought. *Rural & Remote Health*, 12(4).

- Guo, Y., Gasparrini, A., Li, S., Sera, F., Vicedo-Cabrera, A. M., Coelho, M. de S. Z. S., Saldiva, P. H. N., Lavigne, E., Tawatsupa, B. et Punnasiri, K. (2018). Quantifying excess deaths related to heatwaves under climate change scenarios: a multicountry time series modelling study. *PLoS medicine*, 15(7), e1002629.
- Gupta, Saurabh, Carmichael, C., Simpson, C., Clarke, M. J., Allen, C., Gao, Y., Chan, E. Y. Y. et Murray, V. (2012). Electric fans for reducing adverse health impacts in heatwaves. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2012(7). 10.1002/14651858.CD009888.pub2
- Gupta, Shilpi, Hawk, T., Aggarwal, A. et Drewnowski, A. (2019). Characterizing ultra-processed foods by energy density, nutrient density, and cost. *Frontiers in Nutrition*, 6. 10.3389/fnut.2019.00070
- Haegeli, P., Falk, M., Brugger, H. et Etter, H.-J. (2011). Comparison of avalanche survival patterns in Canada and Switzerland. *Canadian Medical Association Journal*, 183(7), 789-795.
- Haider, A., Mamdani, M. et Shear, N. H. (2007). Socioeconomic status and the prevalence of melanoma in Ontario, Canada. *Journal of Cutaneous Medicine and Surgery*, 11(1), 1-3. 10.2310/7750.2007.00001
- Hajat, A., Hsia, C. et O'Neill, M. S. (2015). Socioeconomic disparities and air pollution exposure: a global review. *Current Environmental Health Reports*, 2(4), 440-450. 10.1007/s40572-015-0069-5
- Hajat, S. (2017). Health effects of milder winters: a review of evidence from the United Kingdom. *Environmental Health*, 16(1), 109.
- Hajat, S., Haines, A., Sarran, C., Sharma, A., Bates, C. et Fleming, L. (2017). The effect of ambient temperature on type-2-diabetes: case-crossover analysis of 4+ million GP consultations across England. *Environmental Health*, 16. 10.1186/s12940-017-0284-7
- Hakizimana, G., Gagné, C. et Courchesne-O'Neil, S. (2012). *Les déterminants de l'intention des propriétaires résidentiels de la région de Lanaudière à éliminer l'herbe à poux sur leurs terrains*. Agence de la santé et des services sociaux de Lanaudière. http://www.cisss-lanaudiere.gouv.qc.ca/fileadmin/internet/cisss_lanaudiere/Documentation/Sante_publique/Themes/Sante_environnementale/H_poux-Intentions-VF.pdf
- Hale, C. R., Scallan, E., Cronquist, A. B., Dunn, J., Smith, K., Robinson, T., Lathrop, S., Tobin-D'Angelo, M. et Clogher, P. (2012). Estimates of enteric illness attributable to contact with animals and their environments in the United States. *Clinical Infectious Diseases*, 54(suppl_5), S472-S479. 10.1093/cid/cis051
- Halliday, G. M. et Byrne, S. N. (2014). An unexpected role: UVA-induced release of nitric oxide from skin may have unexpected health benefits. *Journal of Investigative Dermatology*, 134(7), 1791-1794. 10.1038/jid.2014.33
- Halperin, J. J. (2016). Nervous system Lyme disease, chronic Lyme disease, and none of the above. *Acta Neurologica Belgica*, 116(1), 1-6. 10.1007/s13760-015-0541-x
- Hambly, D., Andrey, J., Mills, B. et Fletcher, C. (2013). Projected implications of climate change for road safety in Greater Vancouver, Canada. *Climatic Change*, 116(3-4), 613-629. 10.1007/s10584-012-0499-0
- Hammer-Helmich, L., Linneberg, A., Thomsen, S. F. et Glümer, C. (2014). Association between parental socioeconomic position and prevalence of asthma, atopic eczema and hay fever in children. *Scandinavian Journal of Public Health*, 42(2), 120-127. 10.1177/1403494813505727

- Hanes, C. C., Wang, X., Jain, P., Parisien, M.-A., Little, J. M. et Flannigan, M. D. (2019). Fire-regime changes in Canada over the last half century. *Canadian Journal of Forest Research*, 49(3), 256-269. 10.1139/cjfr-2018-0293
- Hanford, J. K., Webb, C. E. et Hochuli, D. F. (2019). Habitat traits associated with mosquito risk and aquatic diversity in urban wetlands. *Wetlands*, 39(4), 743-758. 10.1007/s13157-019-01133-2
- Hanigan, I. C., Butler, C. D., Kokic, P. N. et Hutchinson, M. F. (2012). Suicide and drought in New South Wales, Australia, 1970–2007. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(35), 13950-13955. 10.1073/pnas.1112965109
- Hanning, I., O'Bryan, C., Crandall, P. et Ricke, S. (2012). Food safety and food security. *Nature Education Knowledge*, 3(10), 9.
- Hanson, K. L. et Connor, L. M. (2014). Food insecurity and dietary quality in US adults and children: a systematic review. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 100(2), 684-692. 10.3945/ajcn.114.084525
- Harley, K. G., Macher, J. M., Lipsett, M., Duramad, P., Holland, N. T., Prager, S. S., Ferber, J., Bradman, A., Eskenazi, B. et Tager, I. B. (2009). Fungi and pollen exposure in the first months of life and risk of early childhood wheezing. *Thorax*, 64(4), 353-358. 10.1136/thx.2007.090241
- Harrigan, R. J., Thomassen, H. A., Buermann, W. et Smith, T. B. (2014). A continental risk assessment of West Nile virus under climate change. *Global Change Biology*, 20(8), 2417-2425. 10.1111/gcb.12534
- Harrison, F., van Sluijs, E. M., Corder, K., Ekelund, U. et Jones, A. (2015). The changing relationship between rainfall and children's physical activity in spring and summer: a longitudinal study. *The International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 12. 10.1186/s12966-015-0202-8
- Hart, C. R., Berry, H. L. et Tonna, A. M. (2011). Improving the mental health of rural New South Wales communities facing drought and other adversities. *Australian Journal of Rural Health*, 19(5), 231-238. 10.1111/j.1440-1584.2011.01225.x
- Hassan, A. M., Mokadem, A. A., Megahed, N. A. et Abo Eleinen, O. M. (2020). Urban morphology as a passive strategy in promoting outdoor air quality. *Journal of Building Engineering*, 29, 101204. 10.1016/j.jobbe.2020.101204
- Hatchette, T. F., Johnston, B. L., Schleihauf, E., Mask, A., Haldane, D., Drebot, M., Baikie, M., Cole, T. J., Fleming, S., Gould, R. et Lindsay, R. (2015). Epidemiology of Lyme Disease, Nova Scotia, Canada, 2002–2013. *Emerging Infectious Diseases*, 21(10), 1751-1758. 10.3201/eid2110.141640
- Hathaway, M. D. (2016). Agroecology and permaculture: addressing key ecological problems by rethinking and redesigning agricultural systems. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 6(2), 239-250. 10.1007/s13412-015-0254-8
- Hattis, D., Ogneva-Himmelberger, Y. et Ratick, S. (2012). The spatial variability of heat-related mortality in Massachusetts. *Applied Geography*, 33, 45-52. 10.1016/j.apgeog.2011.07.008
- Hatzopoulou, M., Weichenthal, S., Dugum, H., Pickett, G., Miranda-Moreno, L., Kulka, R., Andersen, R. et Goldberg, M. (2013). The impact of traffic volume, composition, and road geometry on personal air pollution exposures among cyclists in Montreal, Canada. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 23(1), 46-51. 10.1038/jes.2012.85

- He, S., Kosatsky, T., Smargiassi, A., Bilodeau-Bertrand, M. et Auger, N. (2018). Heat and pregnancy-related emergencies: risk of placental abruption during hot weather. *Environment International*, 111, 295-300. 10.1016/j.envint.2017.11.004
- Health Canada. (2011). *Extreme heat events guidelines: technical guide for health care workers*. Gouvernement du Canada. <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/environmental-workplace-health/reports-publications/climate-change-health/extreme-heat-events-guidelines-technical-guide-health-care-workers.html>
- Health Canada. (2012). *Heat alert and response systems to protect health: best practices guidebook*. <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/environmental-workplace-health/reports-publications/climate-change-health/heat-alert-response-systems-protect-health-best-practices-guidebook.html>
- Healy, J. M., Reisen, W. K., Kramer, V. L., Fischer, M., Lindsey, N. P., Nasci, R. S., Macedo, P. A., White, G., Takahashi, R., Khang, L. et Barker, C. M. (2015). Comparison of the efficiency and cost of West Nile virus surveillance methods in California. *Vector Borne and Zoonotic Diseases*, 15(2), 147-155. 10.1089/vbz.2014.1689
- Hedlund, C., Blomstedt, Y. et Schumann, B. (2014). Association of climatic factors with infectious diseases in the Arctic and subarctic region - a systematic review. *Global Health Action*, 7, 1-16. 10.3402/gha.v7.24161
- Héguy, L., Garneau, M., Goldberg, M. S., Raphoz, M., Guay, F. et Valois, M.-F. (2008). Associations between grass and weed pollen and emergency department visits for asthma among children in Montreal. *Environmental Research*, 106(2), 203-211. 10.1016/j.envres.2007.10.005
- Heilmann, K. et Kahn, M. E. (2019). *The urban crime and heat gradient in high and low poverty areas* ([Working Paper] n° 25961). National Bureau of Economic Research. 10.3386/w25961
- Hellberg, R. S. et Chu, E. (2016). Effects of climate change on the persistence and dispersal of foodborne bacterial pathogens in the outdoor environment: A review. *Critical Reviews in Microbiology*, 42(4), 548-572. 10.3109/1040841X.2014.972335
- Henderson, S. B. et Johnston, F. H. (2012). Measures of forest fire smoke exposure and their associations with respiratory health outcomes. *Current Opinion in Allergy and Clinical Immunology*, 12(3), 221-227.
- Henderson, S. B., Brauer, M., MacNab, Y. C. et Kennedy, S. M. (2011). Three measures of forest fire smoke exposure and their associations with respiratory and cardiovascular health outcomes in a population-based cohort. *Environmental Health Perspectives*, 119(9), 1266-1271.
- Henderson, S. B., Wan, V. et Kosatsky, T. (2013). Differences in heat-related mortality across four ecological regions with diverse urban, rural, and remote populations in British Columbia, Canada. *Health & Place*, 23, 48-53.
- Henstra, D. et Thistlethwaite, J. (2018). *Flood risk mapping in Canada: moving forward on a national priority*. Centre for International Governance Innovation.
- Herrador, B. R. G., De Blasio, B. F., MacDonald, E., Nichols, G., Sudre, B., Vold, L., Semenza, J. C. et Nygård, K. (2015). Analytical studies assessing the association between extreme precipitation or temperature and drinking water-related waterborne infections: a review. *Environmental Health*, 14(1), 29.

- Hess, J. J. et Ebi, K. L. (2016). Iterative management of heat early warning systems in a changing climate. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1382(1), 21-30.
- Hetherington, E., McDonald, S., Wu, M. et Tough, S. (2018). Risk and protective factors for mental health and community cohesion after the 2013 Calgary flood. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 12(4), 470-477. 10.1017/dmp.2017.91
- Hetu, B., Fortin, G. et Brown, K. (2015). Winter climate, land settlement and avalanche dynamics in southern Quebec : an analysis from the known accidents since 1825. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 52(5), 307-321. 10.1139/cjes-2014-0205
- Hexemer, A. M., Pintar, K., Bird, T. M., Zentner, S. E., Garcia, H. P. et Pollari, F. (2008). An investigation of bacteriological and chemical water quality and the barriers to private well water sampling in a Southwestern Ontario Community. *Journal of Water and Health*, 6(4), 521-525. 10.2166/wh.2008.070
- Hicks, L. A., Rose, C. E., Fields, B. S., Drees, M. L., Engel, J. P., Jenkins, P. R., Rouse, B. S., Blythe, D., Khalifah, A. P., Feikin, D. R. et Whitney, C. G. (2007). Increased rainfall is associated with increased risk for legionellosis. *Epidemiology & Infection*, 135(5), 811-817. 10.1017/S0950268806007552
- Hirschfeld, S. et Acker, R. V. (2020). Permaculture farmers consistently cultivate perennials, crop diversity, landscape heterogeneity and nature conservation. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 35(3), 342-351. 10.1017/S1742170519000012
- Hixson, M., Mahmud, A., Hu, J. et Kleeman, M. J. (2012). Resolving the interactions between population density and air pollution emissions controls in the San Joaquin Valley, USA. *Journal of the Air & Waste Management Association (1995)*, 62(5), 566-575.
- Hjort, J., Hugg, T. T., Antikainen, H., Rusanen, J., Sofiev, M., Kukkonen, J., Jaakkola, M. S. et Jaakkola, J. J. (2016). Fine-scale exposure to allergenic pollen in the urban environment: evaluation of land use regression approach. *Environmental Health Perspectives*, 124(5), 619-626.
- Ho, H. C., Knudby, A., Xu, Y., Hodul, M. et Aminipouri, M. (2016). A comparison of urban heat islands mapped using skin temperature, air temperature, and apparent temperature (Humidex), for the greater Vancouver area. *Science of the Total Environment*, 544, 929-938.
- Holguin, F., Bleeker, E. R., Busse, W. W., Calhoun, W. J., Castro, M., Erzurum, S. C., Fitzpatrick, A. M., Gaston, B., Israel, E., Jarjour, N. N., Moore, W. C., Peters, S. P., Yonas, M., Teague, W. G. et Wenzel, S. E. (2011). Obesity and asthma: an association modified by age of asthma onset. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 127(6), 1486-1493.e2. 10.1016/j.jaci.2011.03.036
- Holle, R. L. (2016). A summary of recent national-scale lightning fatality studies. *Weather, Climate, and Society*, 8(1), 35-42.
- Holman, D. M., Kapelos, G. T., Shoemaker, M. et Watson, M. (2018). Shade as an Environmental Design Tool for Skin Cancer Prevention. *American Journal of Public Health*, 108(12), 1607-1612. 10.2105/AJPH.2018.304700
- Holmer, I. (2009). Evaluation of cold workplaces: an overview of standards for assessment of cold stress. *Industrial Health*, 47(3), 228-234.
- Holmes, E. A., Xiang, F. et Lucas, R. M. (2015). Variation in incidence of pediatric Crohn's disease in relation to latitude and ambient ultraviolet radiation: a systematic review and analysis. *Inflammatory Bowel Diseases*, 21(4), 809-817. 10.1097/MIB.0000000000000320

- Hongoh, V., Berrang-Ford, L., Scott, M. E. et Lindsay, L. R. (2012). Expanding geographical distribution of the mosquito, *Culex pipiens*, in Canada under climate change. *Applied Geography*, 33, 53-62. 10.1016/j.apgeog.2011.05.015
- Hongoh, V., Campagna, C., Panic, M., Samuel, O., Gosselin, P., Waaub, J.-P., Ravel, A., Samoura, K. et Michel, P. (2016). Assessing interventions to manage West Nile virus using multi-criteria decision analysis with risk scenarios. *PLOS ONE*, 11(8), e0160651. 10.1371/journal.pone.0160651
- Hongoh, V., Gosselin, P., Michel, P., Ravel, A., Waaub, J.-P., Campagna, C. et Samoura, K. (2017). Criteria for the prioritization of public health interventions for climate-sensitive vector-borne diseases in Quebec. *PLOS ONE*, 12(12), e0190049. 10.1371/journal.pone.0190049
- Hope, E. S., McKenney, D. W., Pedlar, J. H., Stocks, B. J. et Gauthier, S. (2016). Wildfire suppression costs for Canada under a changing climate. *PLOS ONE*, 11(8), e0157425.
- Horton, G., Hanna, L. et Kelly, B. (2010). Drought, drying and climate change: emerging health issues for ageing Australians in rural areas. *Australasian Journal on Ageing*, 29(1), 2-7.
- Hoseinzadeh, E., Taha, P., Wei, C., Godini, H., Ashraf, G. M., Taghavi, M. et Miri, M. (2018). The impact of air pollutants, UV exposure and geographic location on vitamin D deficiency. *Food and Chemical Toxicology*, 113, 241-254. 10.1016/j.fct.2018.01.052
- Houghton, A. et Castillo-Salgado, C. (2017). Health co-benefits of green building design strategies and community resilience to urban flooding: a systematic review of the evidence. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(12). 10.3390/ijerph14121519
- Howden-Chapman, P., Viggers, H., Chapman, R., O'Sullivan, K., Telfar Barnard, L. et Lloyd, B. (2012). Tackling cold housing and fuel poverty in New Zealand: A review of policies, research, and health impacts. *Energy Policy*, 49, 134-142. 10.1016/j.enpol.2011.09.044
- Hu, C.-Y., Fang, Y., Li, F.-L., Dong, B., Hua, X.-G., Jiang, W., Zhang, H., Lyu, Y. et Zhang, X.-J. (2019). Association between ambient air pollution and Parkinson's disease: systematic review and meta-analysis. *Environmental Research*, 168, 448-459. 10.1016/j.envres.2018.10.008
- Hu, X.-M. (2015). Boundary layer (atmospheric) and air pollution. Dans G. R. North, J. Pyle et F. Zhang (dir.), *Encyclopedia of Atmospheric Sciences* (p. 227-236). Academic Press. 10.1016/B978-0-12-382225-3.00499-0
- Huang, C., Barnett, A. G., Wang, X., Vaneckova, P., FitzGerald, G. et Tong, S. (2011). Projecting future heat-related mortality under climate change scenarios: a systematic review. *Environmental Health Perspectives*, 119(12), 1681-1690. 10.1289/ehp.1103456
- Hughes, J. E. et Kaffine, D. (2019). When should drivers be encouraged to carpool in HOV lanes? *Economic Inquiry*, 57(1), 667-684. 10.1111/ecin.12728
- Hung, L.-S., Wang, C. et Yarnal, B. (2016). Vulnerability of families and households to natural hazards: a case study of storm surge flooding in Sarasota County, Florida. *Applied Geography*, 76, 184-197. 10.1016/j.apgeog.2016.09.021

- Huppé, V., Nguon, S., Courteau, M., Sanfaçon, G., Levaque, R., Auger, P., Sebez, S. et Lefebvre, R. (2013). Service automatisé d'alertes téléphoniques de la Cote air santé : étude de l'observance des recommandations de santé transmises chez un groupe de patients vulnérables à la qualité de l'air. *Bulletin d'information en santé environnementale*. <https://www.inspq.qc.ca/bise/article-principal-service-automatise-d-alertes-telephoniques-de-la-cote-air-sante-etude-de-l-observance-des-recommandations-de-sante-transmises-chez-un-groupe-de-patients-vulnerables-la-qualite-de-l-air>
- Hurlbert, M. et Gupta, J. (2016). Adaptive governance, uncertainty, and risk: policy framing and responses to climate change, drought, and flood. *Risk Analysis*, 36(2), 339-356.
- Hutchinson, J. A., Vargo, J., Milet, M., French, N. H. F., Billmire, M., Johnson, J. et Hoshiko, S. (2018). The San Diego 2007 wildfires and Medi-Cal emergency department presentations, inpatient hospitalizations, and outpatient visits: an observational study of smoke exposure periods and a bidirectional case-crossover analysis. *PLOS Medicine*, 15(7), e1002601. 10.1371/journal.pmed.1002601
- Hutter, J. A., Arsenault, J., Bekal, S., Brassard, J., Gariépy, C., Gaulin, C., Huot, C., Irace-Cima, A., Lowe, A.-M., Ramsay, D., Thivierge, K. et Turgeon, P. (2020). *Portrait des zoonoses entériques au Québec, 2000-2017*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/publications/2649>
- Huynen, M. M. et Martens, P. (2015). Climate change effects on heat-and cold-related mortality in the Netherlands: a scenario-based integrated environmental health impact assessment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(10), 13295-13320.
- Hwang, S. W., Lebow, J. M., Bierer, M. F., O'Connell, J. J., Orav, E. J. et Brennan, T. A. (1998). Risk factors for death in homeless adults in Boston. *Archives of Internal Medicine*, 158(13), 1454-1460. <https://doi.org/10.1001/archinte.158.13.1454>
- Hydro-Québec. (s. d.). *L'après 1998 : un réseau plus robuste*. <http://www.hydroquebec.com/verglas-1998/apres-la-tempete.html>
- Iacovou, M., Pattieson, D. C., Truby, H. et Palermo, C. (2013). Social health and nutrition impacts of community kitchens: a systematic review. *Public Health Nutrition*, 16(3), 535-543. 10.1017/S1368980012002753
- Ibrahim, E. M. E., El-Liethy, M. A., Abia, A. L. K., Hemdan, B. A. et Shaheen, M. N. (2019). Survival of *E. coli* O157:H7, *Salmonella* Typhimurium, HAdV2 and MNV-1 in river water under dark conditions and varying storage temperatures. *Science of The Total Environment*, 648, 1297-1304. 10.1016/j.scitotenv.2018.08.275
- Ihler, F. et Canis, M. (2015). Ragweed-induced allergic rhinoconjunctivitis: current and emerging treatment options. *Journal of Asthma and Allergy*, 8, 15-24. 10.2147/JAA.S47789
- Ijaz, M. K., Zargar, B., Wright, K. E., Rubino, J. R. et Sattar, S. A. (2016). Generic aspects of the airborne spread of human pathogens indoors and emerging air decontamination technologies. *American Journal of Infection Control*, 44(9, Supplement), S109-S120. 10.1016/j.ajic.2016.06.008
- Ilacqua, V., Dawson, J., Breen, M., Singer, S. et Berg, A. (2017). Effects of climate change on residential infiltration and air pollution exposure. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 27(1), 16-23. 10.1038/jes.2015.38

- Imanishi, M., Routh, J. A., Klaber, M., Gu, W., Vanselow, M. S., Jackson, K. A., Sullivan-Chang, L., Heinrichs, G., Jain, N. et Albanese, B. (2015). Estimating the attack rate of pregnancy-associated listeriosis during a large outbreak. *Infectious Diseases in Obstetrics and Gynecology*, 2015.
- Institut national de santé publique du Québec. (2018a). *La qualité de l'eau*.
<https://www.inspq.qc.ca/programmation/la-qualite-de-l-eau>
- Institut national de santé publique du Québec. (2018b). *Système SUPREME*.
<https://www.inspq.rtss.qc.ca/geo/supreme/index.php>
- Institut national de santé publique du Québec. (2019). *L'insécurité alimentaire*.
<https://www.inspq.qc.ca/santescope/suivre-les-inegalites-sociales-de-sante-au-quebec/insecurite-alimentaire>
- Institut national de santé publique du Québec. (s. d.-a). *La maladie de Lyme et les maladies transmises par les tiques*. <https://www.inspq.qc.ca/zoonoses/maladie-de-lyme>
- Institut national de santé publique du Québec. (s. d.-b). *La rage*.
<https://www.inspq.qc.ca/zoonoses/rage>
- Institut national de santé publique du Québec. (s. d.-c). *Zoonoses*.
<https://mobile.inspq.qc.ca/zoonoses>
- Institute for Catastrophic Loss Reduction. (2012a). *Protect your home from severe wind*.
https://www.iclr.org/wp-content/uploads/PDFS/ICLR_Severe-wind_2018.pdf
- Institute for Catastrophic Loss Reduction. (2012b). *Your insurance broker's guide to snow & ice storms*. https://www.ibans.com/Library/Home_Owner_Safety_Brochures/IBAC_ICLR_Snow-Ice_Book-E_Spreads.pdf
- International Agency for Research on Cancer. (1992). *Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Solar and ultraviolet radiation* (n° 55).
- Iribarren, C., Tolstykh, I. V., Miller, M. K., Sobel, E. et Eisner, M. D. (2012). Adult asthma and risk of coronary heart disease, cerebrovascular disease, and heart failure: a prospective study of 2 matched cohorts. *American Journal of Epidemiology*, 176(11), 1014-1024. 10.1093/aje/kws181
- Ito, K., Weinberger, K. R., Robinson, G. S., Sheffield, P. E., Lall, R., Mathes, R., Ross, Z., Kinney, P. L. et Matte, T. D. (2015). The associations between daily spring pollen counts, over-the-counter allergy medication sales, and asthma syndrome emergency department visits in New York City, 2002-2012. *Environmental Health*, 14(1), 71. 10.1186/s12940-015-0057-0
- Ivanov, I. V., Mappes, T., Schaupp, P., Lappe, C. et Wahl, S. (2018). Ultraviolet radiation oxidative stress affects eye health. *Journal of Biophotonics*, 11(7), UNSP e201700377. 10.1002/jbio.201700377
- Ivers, L. C. et Cullen, K. A. (2011). Food insecurity: special considerations for women. *American Journal of Clinical Nutrition*, 94(6), 1740S-1744S.
- Jablonski, N. G. et Chaplin, G. (2012). Human skin pigmentation, migration and disease susceptibility. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 367(1590), 785-792.

- Jacob, J., Valois, P., Aenishaenslin, C., Bouchard, C., Briand, S., Talbot, D. et Tessier, M. (2019). Factors leading municipal authorities to implement preventive interventions for Lyme disease. *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, 16(9). 10.3390/ijerph16091547
- Jakob, M. et Lambert, S. (2009). Climate change effects on landslides along the southwest coast of British Columbia. *Geomorphology*, 107(3), 275-284. 10.1016/j.geomorph.2008.12.009
- Jalliffier-Verne, I., Leconte, R., Huaranga-Alvarez, U., Heniche, M., Madoux-Humery, A.-S., Autixier, L., Galarnéau, M., Servais, P., Prevost, M. et Dorner, S. (2017). Modelling the impacts of global change on concentrations of *Escherichia coli* in an urban river. *Advances in Water Resources*, 108, 450-460. 10.1016/j.advwatres.2016.10.001
- James, C. et Bernstein, D. I. (2017). Allergen immunotherapy: an updated review of safety. *Current Opinion in Allergy and Clinical Immunology*, 17(1), 55-59. 10.1097/ACI.0000000000000335
- Janhäll, S. (2015). Review on urban vegetation and particle air pollution – Deposition and dispersion. *Atmospheric Environment*, 105, 130-137. 10.1016/j.atmosenv.2015.01.052
- Janik, G. (2020). *Assessing the potential of permaculture as an adaptation strategy towards climate change in central Ontario*. Trent University.
- Janz, T. et Pearson, C. (2013). Vitamin D blood levels of Canadians. Statistics Canada. <http://www.statcan.gc.ca/pub/82-624-x/2013001/article/11727-eng.pdf>
- Javid, R. J., Nejat, A. et Hayhoe, K. (2017). Quantifying the environmental impacts of increasing high occupancy vehicle lanes in the United States. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 56, 155-174. 10.1016/j.trd.2017.07.031
- Jay, O., Cramer, M. N., Ravanelli, N. M. et Hodder, S. G. (2015). Should electric fans be used during a heat wave? *Applied ergonomics*, 46, 137-143.
- Jayarajah, U. et Seneviratne, S. L. (2019). Environmental Aspects of Hypertension. *Frontiers in Hypertension*, 1, 1-56.
- Jayasooriya, V. M., Ng, A. W. M., Muthukumar, S. et Perera, B. J. C. (2017). Green infrastructure practices for improvement of urban air quality. *Urban Forestry & Urban Greening*, 21, 34-47. 10.1016/j.ufug.2016.11.007
- Jenkins, E. J., Castrodale, L. J., de Rosemond, S. J. C., Dixon, B. R., Elmore, S. A., Gesy, K. M., Hoberg, E. P., Polley, L., Schurer, J. M., Simard, M. et Thompson, R. C. A. (2013). Chapter two - tradition and transition: parasitic zoonoses of people and animals in Alaska, northern Canada, and Greenland. *Advances in Parasitology*, 82, 33-204. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407706-5.00002-2>
- Jeong, D. I., Sushama, L., Diro, G. T., Khaliq, M. N., Beltrami, H. et Caya, D. (2016). Projected changes to high temperature events for Canada based on a regional climate model ensemble. *Climate Dynamics*, 46(9-10), 3163-3180.
- Jermacane, D., Waite, T. D., Beck, C. R., Bone, A., Amlôt, R., Reacher, M., Kovats, S., Armstrong, B., Leonardi, G., James Rubin, G. et Oliver, I. (2018). The English National Cohort Study of Flooding and Health: the change in the prevalence of psychological morbidity at year two. *BMC Public Health*, 18(1), 330. 10.1186/s12889-018-5236-9

- Jessiman-Perreault, G. et McIntyre, L. (2017). The household food insecurity gradient and potential reductions in adverse population mental health outcomes in Canadian adults. *SSM - Population Health*, 3, 464-472. 10.1016/j.ssmph.2017.05.013
- Jhun, I., Coull, B. A., Zanobetti, A. et Koutrakis, P. (2015). The impact of nitrogen oxides concentration decreases on ozone trends in the USA. *Air quality, atmosphere, & health*, 8(3), 283-292. 10.1007/s11869-014-0279-2
- Johal, S. et Mounsey, Z. (2016). A research-based primer on the potential psychosocial impacts of flooding. *Disaster Prevention and Management*, 25(1), 104-110. 10.1108/DPM-09-2015-0206
- Johanning, E., Auger, P., Morey, P. R., Yang, C. S. et Olmsted, E. (2014). Review of health hazards and prevention measures for response and recovery workers and volunteers after natural disasters, flooding, and water damage: mold and dampness. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 19(2), 93-99. 10.1007/s12199-013-0368-0
- Johnson, B. B. (2012). Experience with urban air pollution in Paterson, New Jersey and implications for air pollution communication. *Risk Analysis*, 32(1), 39-53. 10.1111/j.1539-6924.2011.01669.x
- Johnson, K. O., Nelder, M. P., Russell, C., Li, Y., Badiani, T., Sander, B., Sider, D. et Patel, S. N. (2018). Clinical manifestations of reported Lyme disease cases in Ontario, Canada: 2005–2014. *PLOS ONE*, 13(6). 10.1371/journal.pone.0198509
- Johnson-Arbor, K. K., Quental, A. S. et Li, D. (2014). A comparison of carbon monoxide exposures after snowstorms and power outages. *American Journal of Preventive Medicine*, 46(5), 481-486. 10.1016/j.amepre.2014.01.006
- Joksimović-Todorović, M., Davidović, V., Hristov, S. et Stanković, B. (2011). Effect of heat stress on milk production in dairy cows. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 27(3), 1017-1023.
- Joly, M., Bertrand, P., Gbangou, R. Y., White, M.-C., Dubé, J. et Lavoie, C. (2011). Paving the way for invasive species: road type and the spread of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*). *Environmental Management*, 48(3), 514-522. 10.1007/s00267-011-9711-7
- Jones, A. D. (2017). Food insecurity and mental health status: a global analysis of 149 countries. *American Journal of Preventive Medicine*, 53(2), 264-273. 10.1016/j.amepre.2017.04.008
- Jones, A. Q., Dewey, C. E., Doré, K., Majowicz, S. E., McEwen, S. A., Waltner-Toews, D., Henson, S. J. et Mathews, E. (2005). Public perception of drinking water from private water supplies: focus group analyses. *BMC Public Health*, 5(1), 129. 10.1186/1471-2458-5-129
- Jones, B., Gundlapalli, A. V., Jones, J. P., Brown, S. M. et Dean, N. C. (2013). Admission decisions and outcomes of community-acquired pneumonia in the homeless population: a review of 172 patients in an urban setting. *American Journal of Public Health*, 103(Suppl 2), S289-S293. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2013.301342>
- Jones, M. K. et Oliver, J. D. (2009). *Vibrio vulnificus*: disease and pathogenesis. *Infection and Immunity*, 77(5), 1723-1733. 10.1128/IAI.01046-08
- Jonkman, S. N. et Kelman, I. (2005). An analysis of the causes and circumstances of flood disaster deaths. *Disasters*, 29(1), 75-97. 10.1111/j.0361-3666.2005.00275.x
- Jordan, P. (2016). Post-wildfire debris flows in southern British Columbia, Canada. *International Journal of Wildland Fire*, 25(3), 322-336. 10.1071/WF14070

- Jordan, P. et Covert, S. A. (2009). Debris flows and floods following the 2003 wildfires in southern british columbia. *Environmental and Engineering Geoscience*, 15(4), 217-234. 10.2113/gsegeosci.15.4.217
- Joshua, A. M. (2012). Melanoma prevention: are we doing enough? A Canadian perspective. *Current Oncology*, 19(6), e462-e467. 10.3747/co.19.1222
- Jung, J. W., Choi, J. C., Shin, J. W., Kim, J. Y., Park, I. W. et Choi, B. W. (2010). Clinical characteristics according to sensitized allergens in adult Korean patients with bronchial asthma. *Allergy, Asthma & Immunology Research*, 2(2), 102-107. 10.4168/aair.2010.2.2.102
- Juzeniene, A. et Moan, J. (2012). Beneficial effects of UV radiation other than via vitamin D production. *Dermato-Endocrinology*, 4(2), 109-117. 10.4161/derm.20013
- Kaaijk, P. et Luytjes, W. (2016). Vaccination against Lyme disease: are we ready for it? *Human Vaccines & Immunotherapeutics*, 12(3), 757-762. 10.1080/21645515.2015.1087628
- Kabisch, N., van den Bosch, M. et Laforteza, R. (2017). The health benefits of nature-based solutions to urbanization challenges for children and the elderly – A systematic review. *Environmental Research*, 159, 362-373. 10.1016/j.envres.2017.08.004
- Kaffenberger, B. H., Shetlar, D., Norton, S. A. et Rosenbach, M. (2017). The effect of climate change on skin disease in North America. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 76(1), 140-147. 10.1016/j.jaad.2016.08.014
- Kampe, E. O. I., Kovats, S. et Hajat, S. (2016). Impact of high ambient temperature on unintentional injuries in high-income countries: a narrative systematic literature review. *Bmj Open*, 6(2), e010399. 10.1136/bmjopen-2015-010399
- Kan, H.-D., Chen, B.-H., Fu, C.-W., Yu, S.-Z. et Mu, L.-N. (2005). Relationship between ambient air pollution and daily mortality of SARS in Beijing. *Biomedical and Environmental Sciences*, 18(1), 1-4.
- Kang, C.-M., Gold, D. et Koutrakis, P. (2014). Downwind O-3 and PM2.5 speciation during the wildfires in 2002 and 2010. *Atmospheric Environment*, 95, 511-519. 10.1016/j.atmosenv.2014.07.008
- Kapelos, G. T. et Patterson, M. R. S. (2014). Health, planning, design, and shade: a critical review. *Journal of Architectural and Planning Research*, 31(2), 91-111.
- Katellaris, C. H. et Beggs, P. J. (2018). Climate change: allergens and allergic diseases. *Internal Medicine Journal*, 48(2), 129-134.
- Kats, G. et Glassbrook, K. (2018). *Delivering urban resilience*. Capital - E.
- Katz, D. S. W., Dzul, A., Kendel, A. et Batterman, S. A. (2019). Effect of intra-urban temperature variation on tree flowering phenology, airborne pollen, and measurement error in epidemiological studies of allergenic pollen. *Science of The Total Environment*, 653, 1213-1222. 10.1016/j.scitotenv.2018.11.020

- Kay, S., Graves, A., Palma, J. H. N., Moreno, G., Roces-Díaz, J. V., Aviron, S., Chouvardas, D., Crous-Duran, J., Ferreiro-Domínguez, N., García de Jalón, S., Măcicășan, V., Mosquera-Losada, M. R., Pantera, A., Santiago-Freijanes, J. J., Szerencsits, E., Torralba, M., Burgess, P. J. et Herzog, F. (2019). Agroforestry is paying off – Economic evaluation of ecosystem services in European landscapes with and without agroforestry systems. *Ecosystem Services*, 36, 100896. 10.1016/j.ecoser.2019.100896
- Ke, J. et Ford-Jones, E. L. (2015). Food insecurity and hunger: a review of the effects on children's health and behaviour. *Paediatrics & Child Health*, 20(2), 89-91. 10.1093/pch/20.2.89
- Ke, W., Zhang, S., Wu, Y., Zhao, B., Wang, S. et Hao, J. (2017). Assessing the future vehicle fleet electrification: the impacts on regional and urban air quality. *Environmental Science & Technology*, 51(2), 1007-1016. 10.1021/acs.est.6b04253
- Keith, P. K., Desrosiers, M., Laister, T., Schellenberg, R. R. et Wasserman, S. (2012). The burden of allergic rhinitis (AR) in Canada: perspectives of physicians and patients. *Allergy, Asthma & Clinical Immunology*, 8(1), 7. 10.1186/1710-1492-8-7
- Kellar, D. M. M. et Schmidlin, T. W. (2012). Vehicle-related flood deaths in the United States, 1995–2005. *Journal of Flood Risk Management*, 5(2), 153-163. 10.1111/j.1753-318X.2012.01136.x
- Kellens, W., Terpstra, T. et Maeyer, P. D. (2013). Perception and communication of flood risks: a systematic review of empirical research. *Risk Analysis*, 33(1), 24-49. 10.1111/j.1539-6924.2012.01844.x
- Kelly, F. J. et Fussell, J. C. (2015). Air pollution and public health: emerging hazards and improved understanding of risk. *Environmental Geochemistry and Health*, 37(4), 631-649. 10.1007/s10653-015-9720-1
- Kelly, F. J., Fuller, G. W., Walton, H. A. et Fussell, J. C. (2012). Monitoring air pollution: use of early warning systems for public health. *Respirology*, 17(1), 7-19. 10.1111/j.1440-1843.2011.02065.x
- Kelly, J., Makar, P. A. et Plummer, D. A. (2012). Projections of mid-century summer air-quality for North America: effects of changes in climate and precursor emissions. *Atmos. Chem. Phys.*, 12(12), 5367-5390. 10.5194/acp-12-5367-2012
- Kennedy, I. T. R., Petley, D. N., Williams, R. et Murray, V. (2015). A systematic review of the health impacts of mass earth movements (landslides). *PLOS Currents Disasters*. 10.1371/currents.dis.1d49e84c8bbe678b0e70cf7fc35d0b77
- Kenny, G. P., Flouris, A. D., Yagouti, A. et Notley, S. R. (2019). Towards establishing evidence-based guidelines on maximum indoor temperatures during hot weather in temperate continental climates. *Temperature*, 6(1), 11-36. 10.1080/23328940.2018.1456257
- Kervran, G., Riffon, J., Masson, É., Drapeau, J.-B., Tremblay, M., Plante, C., Hubert, F. et Goudreau, S. (2015). *Herbe à poux - Exploration d'une méthodologie d'identification de terrains avec un potentiel de colonisation par l'herbe à poux: une approche cartographique d'utilisation du sol*. Ministère de la Santé et des Services sociaux. <http://publications.msss.gouv.qc.ca/msss/fichiers/2014/14-244-03W.pdf>
- Kesik, T. J. (2015). *Best practices guide: Management of inflow and infiltration in new urban developments*. Institute for Catastrophic Loss Reduction.
- Kessler, R. (2011). Stormwater strategies: cities prepare aging infrastructure for climate change. *Environmental Health Perspectives*, 119(12).

- Kessler, R. (2013). Green walls could cut street-canyon air pollution. *Environmental Health Perspectives*, 121(1), a14-a14. 10.1289/ehp.121-a14
- Khabarov, N., Krasovskii, A., Obersteiner, M., Swart, R., Dosio, A., San-Miguel-Ayanz, J., Durrant, T., Camia, A. et Migliavacca, M. (2016). Forest fires and adaptation options in Europe. *Regional Environmental Change*, 16(1), 21-30. 10.1007/s10113-014-0621-0
- Khan, M. N., Khan, M. A., Khan, S. et Khan, M. M. (2018). Effect of air conditioning on global warming and human health. Dans M. Oves, M. Zain Khan et I. M. I. Ismail (dir.), *Modern Age Environmental Problems and their Remediation* (p. 83-94). Springer. 10.1007/978-3-319-64501-8_5
- Khan, S. J., Deere, D., Leusch, F. D. L., Humpage, A., Jenkins, M. et Cunliffe, D. (2015). Extreme weather events: should drinking water quality management systems adapt to changing risk profiles? *Water Research*, 85, 124-136. 10.1016/j.watres.2015.08.018
- Khan, S. U., Ogden, N. H., Fazil, A. A., Gachon, P. H., Dueymes, G. U., Greer, A. L. et Ng, V. (2020). Current and projected distributions of *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus* in Canada and the U.S. *Environmental Health Perspectives*, 128(5). 10.1289/EHP5899
- Kilian, J. et Kitazawa, M. (2018). The emerging risk of exposure to air pollution on cognitive decline and Alzheimer's disease – Evidence from epidemiological and animal studies. *Biomedical Journal*, 41(3), 141-162. 10.1016/j.bj.2018.06.001
- Kilpatrick, A. M., Fonseca, D. M., Ebel, G. D., Reddy, M. R. et Kramer, L. D. (2010). Spatial and temporal variation in vector competence of *Culex pipiens* and *Cx. restuans* mosquitoes for West Nile virus. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 83(3), 607-613. 10.4269/ajtmh.2010.10-0005
- Kilpatrick, H. J., Labonte, A. M. et Stafford, K. C. (2014). The relationship between deer density, tick abundance, and human cases of Lyme disease in a residential community. *Journal of Medical Entomology*, 51(4), 777-784. 10.1603/ME13232
- Kim, E.-A. (2017). Particulate matter (fine particle) and urologic diseases. *International Neurourology Journal*, 21(3), 155-162. 10.5213/inj.1734954.477
- Kim, H., Caulfield, L. E. et Rebholz, C. M. (2018). Healthy plant-based diets are associated with lower risk of all-cause mortality in US adults. *The Journal of Nutrition*, 148(4), 624-631. 10.1093/jn/nxy019
- Kim, H., Caulfield, L. E., Garcia-Larsen, V., Steffen, L. M., Coresh, J. et Rebholz, C. M. (2019). Plant-based diets are associated with a lower risk of incident cardiovascular disease, cardiovascular disease mortality, and all-cause mortality in a general population of middle-aged adults. *Journal of the American Heart Association*, 8(16), e012865.
- Kim, H., Hu, E. A. et Rebholz, C. M. (2019). Ultra-processed food intake and mortality in the United States: Results from the Third National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES III 1988-1994). *Public health nutrition*, 22(10), 1777-1785. 10.1017/S1368980018003890
- Kim, J.-H., Oh, J.-W., Lee, H.-B., Kim, S.-W., Kang, I.-J., Kook, M.-H., Kim, B.-S., Park, K.-S., Baek, H.-S., Kim, K.-R. et Choi, Y.-J. (2012). Changes in sensitization rate to weed allergens in children with increased weeds pollen counts in Seoul metropolitan area. *Journal of Korean Medical Science*, 27(4), 350-355. 10.3346/jkms.2012.27.4.350

- Kim, K. et Frongillo, E. A. (2007). Participation in food assistance programs modifies the relation of food insecurity with weight and depression in elders. *The Journal of Nutrition*, 137(4), 1005-1010. 10.1093/jn/137.4.1005
- Kim, K.-H., Kabir, E. et Kabir, S. (2015). A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environment International*, 74, 136-143. 10.1016/j.envint.2014.10.005
- Kim, Y., Kim, H., Gasparri, A., Armstrong, B., Honda, Y., Chung, Y., Ng, C. F. S., Tobias, A., Iñiguez, C. et Lavigne, E. (2019). Suicide and ambient temperature: a multi-country multi-city study. *Environmental Health Perspectives*, 127(11), 117007.
- Kimeswenger, S., Schwarz, A., Födinger, D., Müller, S., Pehamberger, H., Schwarz, T. et Jantschitsch, C. (2016). Infrared A radiation promotes survival of human melanocytes carrying ultraviolet radiation-induced DNA damage. *Experimental Dermatology*, 25(6), 447-452. 10.1111/exd.12968
- King, T., Cole, M., Farber, J. M., Eisenbrand, G., Zabar, D., Fox, E. M. et Hill, J. P. (2017). Food safety for food security: relationship between global megatrends and developments in food safety. *Trends in Food Science & Technology*, 68, 160-175. 10.1016/j.tifs.2017.08.014
- Kinney, P. L. (2018). Interactions of climate change, air pollution, and human health. *Current Environmental Health Reports*, 5(1), 179-186. 10.1007/s40572-018-0188-x
- Kinney, P. L., Schwartz, J., Pascal, M., Petkova, E., Le Tertre, A., Medina, S. et Vautard, R. (2015). Winter season mortality: will climate warming bring benefits? *Environmental Research Letters*, 10(6), 064016.
- Kipp, A., Cunsolo, A., Vodden, K., King, N., Manners, S. et Harper, S. L. (2019). Climate change impacts on health and wellbeing in rural and remote regions across Canada: a synthesis of the literature. *Health Promotion and Chronic Disease Prevention in Canada : Research, Policy and Practice*, 39(4), 122-126.
- Kirchmeier-Young, M. C., Gillett, N. P., Zwiers, F. W., Cannon, A. J. et Anslow, F. S. (2019). Attribution of the influence of human-induced climate change on an extreme fire season. *Earth's Future*, 7(1), 2-10. 10.1029/2018EF001050
- Kirchmeier-Young, M. C., Zwiers, F. W., Gillett, N. P. et Cannon, A. J. (2017). Attributing extreme fire risk in Western Canada to human emissions. *Climatic Change*, 144(2), 365-379. 10.1007/s10584-017-2030-0
- Kireziova, K., Jacxsens, L., van Boekel, M. A. J. S. et Luning, P. A. (2015). Towards strategies to adapt to pressures on safety of fresh produce due to climate change. *Food Research International*, 68, 94-107. 10.1016/j.foodres.2014.05.077
- Klemm, W., Heusinkveld, B. G., Lenzholzer, S., Jacobs, M. H. et Van Hove, B. (2015). Psychological and physical impact of urban green spaces on outdoor thermal comfort during summertime in The Netherlands. *Building and Environment*, 83, 120-128. 10.1016/j.buildenv.2014.05.013
- Klempa, B. (2009). Hantaviruses and climate change. *Clinical Microbiology and Infection*, 15(6), 518-523. 10.1111/j.1469-0691.2009.02848.x
- Klinger, C. et Owen Landeg, V. M. (2014). Power outages, extreme events and health: a systematic review of the literature from 2011-2012. *PLoS currents*, 6.

- Klopp, A., Vehling, L., Becker, A. B., Subbarao, P., Mandhane, P. J., Turvey, S. E., Lefebvre, D. L., Sears, M. R., Daley, D., Silverman, F., Hayglass, K., Kobor, M., Turvey, S., Kollmann, T., Brook, J., Ramsey, C., Macri, J., Sandford, A., Pare, P., ... Azad, M. B. (2017). Modes of infant feeding and the risk of childhood asthma: a prospective birth cohort study. *The Journal of Pediatrics*, 190, 192-199.e2. 10.1016/j.jpeds.2017.07.012
- Knibbs, L. D., Cole-Hunter, T. et Morawska, L. (2011). A review of commuter exposure to ultrafine particles and its health effects. *Atmospheric Environment*, 45(16), 2611-2622. 10.1016/j.atmosenv.2011.02.065
- Koerth, J., Vafeidis, A. T. et Hinkel, J. (2017). Household-level coastal adaptation and its drivers: a systematic case study review. *Risk Analysis*, 37(4), 629-646. 10.1111/risa.12663
- Koetse, M. J. et Rietveld, P. (2009). The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 14(3), 205-221. 10.1016/j.trd.2008.12.004
- Koffi, J. et Gasmi, S. (2019). Surveillance for Lyme disease in Canada: 2009-2015. *Online Journal of Public Health Informatics*, 11(1). 10.5210/ojphi.v11i1.9892
- Koks, E. E., de Moel, H., Aerts, J. C. et Bouwer, L. M. (2014). Effect of spatial adaptation measures on flood risk: study of coastal floods in Belgium. *Regional environmental change*, 14(1), 413-425.
- Koné, P., Lambert, L. et Milord, F. (2006). *Épidémiologie du Virus du Nil Occidental en zone rurale au Québec*. Institut national de santé publique du Québec.
<https://www.inspq.qc.ca/publications/549>
- Konecka-Matyjek, E., Jarosz, M. et Kołomyjski, K. (2012). Undernutrition, malnutrition and wastage of food. *Postępy Nauk Medycznych*, 25(12), 958-964.
- Kornhall, D. K. et Martens-Nielsen, J. (2016). The prehospital management of avalanche victims. *Journal of the Royal Army Medical Corps*, 162(6), 406-412. 10.1136/jramc-2015-000441
- Kort, J., Richardson, J., Soolanayakanahally, R. et Schroeder, W. (2014). Innovations in temperate agroforestry: the 13th north American agroforestry conference. *Agroforestry Systems*, 88(4), 563-567.
- Kosatsky, T., Dufresne, J., Richard, L., Renouf, A., Giannetti, N., Bourbeau, J., Julien, M., Braid, J. et Sauvé, C. (2009). Heat awareness and response among Montreal residents with chronic cardiac and pulmonary disease. *Canadian Journal of Public Health/Revue Canadienne de Santé Publique*, 237-240.
- Kosatsky, T., Henderson, S. B. et Pollock, S. L. (2012). Shifts in mortality during a hot weather event in Vancouver, British Columbia: rapid assessment with case-only analysis. *American journal of public health*, 102(12), 2367-2371.
- Kramer, D. M., Tenkate, T., Strahlendorf, P., Kushner, R., Gardner, A. et Holness, D. L. (2015). Sun Safety at Work Canada: a multiple case-study protocol to develop sun safety and heat protection programs and policies for outdoor workers. *Implementation Science*, 10(1), 97. 10.1186/s13012-015-0277-2
- Krawchenko, T., Keefe, J., Manuel, P. et Rapaport, E. (2016). Coastal climate change, vulnerability and age friendly communities: linking planning for climate change to the age friendly communities agenda. *Journal of Rural Studies*, 44, 55-62.

- Krebs, J. et Bach, S. (2018). Permaculture—scientific evidence of principles for the agroecological design of farming systems. *Sustainability*, 10(9), 3218. 10.3390/su10093218
- Kreibich, H., Bubeck, P., Van Vliet, M. et De Moel, H. (2015). A review of damage-reducing measures to manage fluvial flood risks in a changing climate. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 20(6), 967-989. 10.1007/s11027-014-9629-5
- Krstić, G. (2011). Apparent temperature and air pollution vs. elderly population mortality in Metro Vancouver. *PLoS One*, 6(9), e25101.
- Kuehne, G. (2014). How do farmers' climate change beliefs affect adaptation to climate change? *Society & Natural Resources*, 27(5), 492-506. 10.1080/08941920.2013.861565
- Kulkarni, M. A., Berrang-Ford, L., Buck, P. A., Drebot, M. A., Lindsay, L. R. et Ogden, N. H. (2015). Major emerging vector-borne zoonotic diseases of public health importance in Canada. *Emerging Microbes & Infections*, 4(1), 1-7. 10.1038/emi.2015.33
- Kumar, P., Abhijith, K. V. et Barwise, Y. (2019). *Implementing green infrastructure for air pollution abatement: general recommendations for management and plant species selection*. Global Centre for Clean Air Research.
- Kummu, M., de Moel, H., Porkka, M., Siebert, S., Varis, O. et Ward, P. J. (2012). Lost food, wasted resources: global food supply chain losses and their impacts on freshwater, cropland, and fertiliser use. *Science of The Total Environment*, 438, 477-489. 10.1016/j.scitotenv.2012.08.092
- Künzli, N., Perez, L. et Rapp, R. (2010). *Air quality and health*. European Respiratory Society.
- Kyriazis, J., Zizzo, L. et Sandink, D. (2017). *Assessing local mandatory measures to reduce flood risk and inflow & infiltration in existing homes*. Institute for Catastrophic Loss Reduction.
- L'Hérault, E., Allard, M., Fortier, D., Carbonneau, A.-S., Doyon-Robitaille, J., Lachance, M.-P., Ducharme, M.-A., Larrivée, K., Grandmont, K. et Lemieux, C. (2013). *Production de cartes des caractéristiques du pergélisol afin de guider le développement de l'environnement bâti pour quatre communautés du Nunavik*. Ouranos.
- La Financière agricole du Québec. (2019). *Bilans de l'assurance récolte pour l'année 2018*. <https://www.fadq.qc.ca/salle-de-presse/actualites/details/bilans-de-lassurance-recolte-pour-lannee-2018/>
- La Financière agricole du Québec. (s. d.). *Assurance récolte*. <https://www.fadq.qc.ca/fr/assurance-recolte/description/>
- Laaidi, K., Economopoulou, A., Wagner, V., Pascal, M., Empereur-Bissonnet, P., Verrier, A. et Beaudeau, P. (2013). Cold spells and health: prevention and warning. *Public Health*, 127(5), 492-499. 10.1016/j.puhe.2013.02.011
- Labbé, J., Ford, J. D., Araos, M. et Flynn, M. (2017). The government-led climate change adaptation landscape in Nunavut, Canada. *Environmental Reviews*, 25(1), 12-25.
- Lafeuille, M.-H., Gravel, J., Figliomeni, M., Zhang, J. et Lefebvre, P. (2013). Burden of illness of patients with allergic asthma versus non-allergic asthma. *Journal of Asthma*, 50(8), 900-907. 10.3109/02770903.2013.810244

- Lafleur, G. et Allard, M.-A. (2006). *Enquête sur la santé psychologique des producteurs agricoles du Québec*.
- Lai, B. S., Lewis, R., Livings, M. S., La Greca, A. M. et Esnard, A. (2017). Posttraumatic stress symptom trajectories among children after disaster exposure: a review. *Journal of Traumatic Stress, 30*(6), 571-582.
- Lajoie, P., Aubin, D., Gingras, V., Daigneault, P., Ducharme, F., Gauvin, D., Fugler, D., Leclerc, J.-M., Won, D., Courteau, M., Gingras, S., Héroux, M.-É., Yang, W. et Schleibinger, H. (2015). The IVAIRE project – a randomized controlled study of the impact of ventilation on indoor air quality and the respiratory symptoms of asthmatic children in single family homes. *Indoor Air, 25*(6), 582-597. 10.1111/ina.12181
- Lake, I. R. et Barker, G. C. (2018). Climate change, foodborne pathogens and illness in higher-income countries. *Current Environmental Health Reports, 5*(1), 187-196. 10.1007/s40572-018-0189-9
- Lake, I. R., Jones, N. R., Agnew, M., Goodess, C. M., Giorgi, F., Hamaoui-Laguel, L., Semenov, M. A., Solomon, F., Storkey, J. et Vautard, R. (2017). Climate change and future pollen allergy in Europe. *Environmental Health Perspectives, 125*(3), 385-391.
- Lamalice, A., Avard, E., Coxam, V., Herrmann, T. A., Desbiens, C., Wittrant, Y. et Blangy, S. (2016). Soutenir la sécurité alimentaire dans le Grand Nord: projets communautaires d'agriculture sous serre au Nunavik et au Nunavut. *Études/Inuit/Studies, 40*(1), 147-169.
- Lambert, S. F. et Lawson, G. (2013). Resilience of professional counselors following hurricanes Katrina and Rita. *Journal of Counseling & Development, 91*(3), 261-268. 10.1002/j.1556-6676.2013.00094.x
- Lamond, J. E., Joseph, R. D. et Proverbs, D. G. (2015). An exploration of factors affecting the long term psychological impact and deterioration of mental health in flooded households. *Environmental Research, 140*, 325-334. 10.1016/j.envres.2015.04.008
- Lamont, R. F., Sobel, J., Mazaki-Tovi, S., Kusanovic, J. P., Vaisbuch, E., Kim, S. K., Uldbjerg, N. et Romero, R. (2011). Listeriosis in human pregnancy: a systematic review. *Journal of perinatal medicine, 39*(3), 227-236. 10.1515/JPM.2011.035
- Lane, K., Charles-Guzman, K., Wheeler, K., Abid, Z., Graber, N. et Matte, T. (2013). Health effects of coastal storms and flooding in urban areas: a review and vulnerability assessment. *Journal of Environmental and Public Health, 2013*.
- Lane, K., Ito, K., Johnson, S., Gibson, E. A., Tang, A. et Matte, T. (2018). Burden and risk factors for cold-related illness and death in New York City. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 15*(4). <https://doi.org/10.3390/ijerph15040632>
- Lantuit, H., Overduin, P. P. et Wetterich, S. (2013). Recent progress regarding permafrost coasts. *Permafrost and Periglacial Processes, 24*(2), 120-130. 10.1002/ppp.1777
- Laraia, B. A. (2013). Food insecurity and chronic disease. *Advances in Nutrition, 4*(2), 203-212. 10.3945/an.112.003277
- Laraia, B. A., Siega-Riz, A. M. et Gundersen, C. (2010). Household food insecurity is associated with self-reported pregravid weight status, gestational weight gain and pregnancy complications. *Journal of the American Dietetic Association, 110*(5), 692-701. 10.1016/j.jada.2010.02.014

- Larrivée, C., Sinclair-Désigné, N., Da Silva, L., Revéret, J. et Desjarlais, C. (2015). *Évaluation des impacts des changements climatiques et de leurs coûts pour le Québec et l'État québécois*. Ouranos. <https://www.regions4.org/resources/evaluation-des-impacts-des-changements-climatiques-et-de-leurs-couts-pour-le-quebec-et-letat-quebécois/>
- Latimer, É. et Bordeleau, F. (2019). *Dénombrement des personnes en situation d'itinérance au Québec le 24 avril 2018*. Ministère de la Santé et des Services sociaux. <https://publications.msss.gouv.qc.ca/msss/document-002292/>
- Lau, C. L., Smythe, L. D., Craig, S. B. et Weinstein, P. (2010). Climate change, flooding, urbanisation and leptospirosis: fuelling the fire? *Transactions of The Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 104(10), 631-638. 10.1016/j.trstmh.2010.07.002
- Laumbach, R., Meng, Q. et Kipen, H. (2015). What can individuals do to reduce personal health risks from air pollution? *Journal of Thoracic Disease*, 7(1), 96-107. 10.3978/j.issn.2072-1439.2014.12.21
- Laverdière, É., Généreux, M., Gaudreau, P., Morais, J. A., Shatenstein, B. et Payette, H. (2015). Prevalence of risk and protective factors associated with heat-related outcomes in Southern Quebec: A secondary analysis of the NuAge study. *Canadian Journal of Public Health*, 106(5), e315-e321. 10.17269/cjph.106.5029
- Laverdière, É., Payette, H., Gaudreau, P., Morais, J. A., Shatenstein, B. et Généreux, M. (2016). Risk and protective factors for heat-related events among older adults of Southern Quebec (Canada): The NuAge study. *Canadian Journal of Public Health*, 107(3), E258-E265. 10.17269/CJPH.107.5599
- Laverge, J., Van Den Bossche, N., Heijmans, N. et Janssens, A. (2011). Energy saving potential and repercussions on indoor air quality of demand controlled residential ventilation strategies. *Building and Environment*, 46(7), 1497-1503. 10.1016/j.buildenv.2011.01.023
- Lavigne, É., Bélair, M.-A., Do, M. T., Stieb, D. M., Hystad, P., van Donkelaar, A., Martin, R. V., Crouse, D. L., Crighton, E., Chen, H., Brook, J. R., Burnett, R. T., Weichenthal, S., Villeneuve, P. J., To, T., Cakmak, S., Johnson, M., IllYasseen, A. S., Johnson, K. C. et Ofner, M. (2017). Maternal exposure to ambient air pollution and risk of early childhood cancers: a population-based study in Ontario, Canada. *Environment International*, 100, 139-147.
- Lavigne, É., Burnett, R. T., Stieb, D. M., Evans, G. J., Godri Pollitt, K. J., Chen, H., van Rijswijk, D. et Weichenthal, S. (2018). Fine particulate air pollution and adverse birth outcomes: effect modification by regional nonvolatile oxidative potential. *Environmental Health Perspectives*, 126(07), 077012.
- Lavigne, É., Gasparrini, A., Stieb, D. M., Chen, H., Yasseen III, A. S., Crighton, E., To, T., Weichenthal, S., Villeneuve, P. J. et Cakmak, S. (2017). Maternal exposure to aeroallergens and the risk of early delivery. *Epidemiology*, 28(1), 107.
- Lavigne, E., Gasparrini, A., Wang, X., Chen, H., Yagouti, A., Fleury, M. D. et Cakmak, S. (2014). Extreme ambient temperatures and cardiorespiratory emergency room visits: assessing risk by comorbid health conditions in a time series study. *Environmental Health*, 13(1), 5. 10.1186/1476-069X-13-5
- Lavigne, É., Yasseen, A. S., Stieb, D. M., Hystad, P., van Donkelaar, A., Martin, R. V., Brook, J. R., Crouse, D. L., Burnett, R. T., Chen, H., Weichenthal, S., Johnson, M., Villeneuve, P. J. et Walker, M. (2016). Ambient air pollution and adverse birth outcomes: differences by maternal comorbidities. *Environmental Research*, 148, 457-466. 10.1016/j.envres.2016.04.026

- Lavoie, C., Jodoin, Y. et Merlis, A. G. D. (2007). How did common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) spread in Québec? A historical analysis using herbarium records. *Journal of Biogeography*, 34(10), 1751-1761. 10.1111/j.1365-2699.2007.01730.x
- Lawson, C. C. (2019). *Campylobactériose humaine et variations climatiques au Québec: analyse de séries temporelles selon les modèles SARIMA et SARIMAX*. Université de Montréal.
- Le Brocq, R., De Young, A., Montague, G., Pocock, S., March, S., Triggell, N., Rabaa, C. et Kenardy, J. (2017). Schools and natural disaster recovery: the unique and vital role that teachers and education professionals play in ensuring the mental health of students following natural disasters. *Journal of Psychologists and Counsellors in Schools*, 27(1), 1-23.
- Le, G., Breysse, P., McDermott, A., Eftim, S., Geyh, A., Berman, J. et Curriero, F. (2014). Canadian forest fires and the effects of long-range transboundary air pollution on hospitalizations among the elderly. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 3(2), 713-731.
- Lebel, G., Busque, D., Therrien, M., Walsh, P., Paradis, J., Brault, M.-P. et Canuel, M. (2012). *Bilan de la qualité de l'air au Québec en lien avec la santé, 1975-2009*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/publications/1432>
- Lebel, G., Dubé, M. et Bustinza, R. (2015). *Évaluation du Fichier hebdomadaire des décès pour l'estimation des impacts des vagues de chaleur: rapport*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/publications/1962>
- Lebel, G., Dubé, M. et Bustinza, R. (2017). *Analyse des impacts des vagues régionales de chaleur extrême sur la santé au Québec de 2010 à 2015*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/publications/2221>
- Lebel, G., Dubé, M. et Bustinza, R. (2019). *Surveillance des impacts des vagues de chaleur extrême sur la santé au Québec à l'été 2018*. Bulletin d'information en santé environnementale. <https://www.inspq.qc.ca/bise/surveillance-des-impacts-des-vagues-de-chaleur-extreme-sur-la-sante-au-quebec-l-ete-2018>
- Lebel, G., Lévesque, B. et Canuel, M. (2020). Symptômes et crises d'asthme de 2010-2011 à 2016-2017. *Bulletin d'information en santé environnementale*. <https://www.inspq.qc.ca/bise/symptomes-et-crisis-asthme-2010-2011-2016-2017-quebec>
- Leighton, P. A., Koffi, J. K., Pelcat, Y., Lindsay, L. R. et Ogden, N. H. (2012). Predicting the speed of tick invasion: an empirical model of range expansion for the Lyme disease vector *Ixodes scapularis* in Canada. *Journal of Applied Ecology*, 49(2), 457-464. 10.1111/j.1365-2664.2012.02112.x
- LeJeune, J. et Kersting, A. (2010). Zoonoses: an occupational hazard for livestock workers and a public health concern for rural communities. *Journal of Agricultural Safety and Health*, 16(3), 161-179.
- Lelieveld, J., Evans, J. S., Fnais, M., Giannadaki, D. et Pozzer, A. (2015). The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature*, 525(7569), 367-371. 10.1038/nature15371
- Lemire, M., Kwan, M., Laouan-Sidi, A. E., Muckle, G., Pirkle, C., Ayotte, P. et Dewailly, E. (2015). Local country food sources of methylmercury, selenium and omega-3 fatty acids in Nunavik, Northern Quebec. *Science of The Total Environment*, 509-510, 248-259. 10.1016/j.scitotenv.2014.07.102

- Lennon, M., Scott, M. et O'Neill, E. (2014). Urban design and adapting to flood risk: the role of green infrastructure. *Journal of Urban Design*, 19(5), 745-758. 10.1080/13574809.2014.944113
- Lepeule, J., Litonjua, A. A., Gasparrini, A., Koutrakis, P., Sparrow, D., Vokonas, P. S. et Schwartz, J. (2018). Lung function association with outdoor temperature and relative humidity and its interaction with air pollution in the elderly. *Environmental Research*, 165, 110-117. 10.1016/j.envres.2018.03.039
- Leppma, M., Mnatsakanova, A., Sarkisian, K., Scott, O., Adjeroh, L., Andrew, M. E., Violanti, J. M. et McCanlies, E. C. (2018). Stressful life events and posttraumatic growth among police officers: a cross-sectional study. *Stress and Health*, 34(1), 175-186. 10.1002/smi.2772
- Levac, D., Colquhoun, H. et O'Brien, K. K. (2010). Scoping studies: advancing the methodology. *Implementation Science: IS*, 5, 69. 10.1186/1748-5908-5-69
- Levasseur, M.-È., Beaudoin, M., Gauthier, M., Poulin, P., Samba, C. P. et Robitaille, É. (2020). *Logement de qualité* (n° 3). Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/publications/2655>
- Levasseur, M.-È., Gagnon, F., Samuel, O. et Valcke, M. (2017). Utilisation des jardins communautaires et alimentation bio - Étude exploratoire. *Bulletin d'information en santé environnementale*. <https://inspq.qc.ca/bise/utilisation-des-jardins-communautaires-et-alimentation-bio-etude-exploratoire>
- Levasseur, M.-È., Poulin, P., Campagna, C. et Leclerc, J.-M. (2017). Integrated management of residential indoor air quality: a call for stakeholders in a changing climate. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(12), 1455.
- Lévesque, B., Gervais, M.-C., Chevalier, P., Gauvin, D., Anassour-Laouan-Sidi, E., Gingras, S., Fortin, N., Brisson, G., Greer, C. et Bird, D. (2014). Prospective study of acute health effects in relation to exposure to cyanobacteria. *Science of The Total Environment*, 466-467, 397-403. 10.1016/j.scitotenv.2013.07.045
- Levi, M., Kjellstrom, T. et Baldasseroni, A. (2018). Impact of climate change on occupational health and productivity: a systematic literature review focusing on workplace heat. *Medicina Del Lavoro*, 109(3), 163-179. 10.23749/mdl.v109i3.6851
- Levy, K., Woster, A. P., Goldstein, R. S. et Carlton, E. J. (2016). Untangling the impacts of climate change on waterborne diseases: a systematic review of relationships between diarrheal diseases and temperature, rainfall, flooding, and drought. *Environmental Science & Technology*, 50(10), 4905-4922.
- Leyk, D., Hoitz, J., Becker, C., Glitz, K. J., Nestler, K. et Piekarski, C. (2019). Health risks and interventions in exertional heat stress. *Deutsches Ärzteblatt International*, 116(31-32), 537.
- Leynaert, B., Sunyer, J., Garcia-Esteban, R., Svanes, C., Jarvis, D., Cerveri, I., Dratva, J., Gislason, T., Heinrich, J., Janson, C., Kuenzli, N., Marco, R. de, Omenaas, E., Raheison, C., Real, F. G., Wjst, M., Zemp, E., Zureik, M., Burney, P. G. J., ... Neukirch, F. (2012). Gender differences in prevalence, diagnosis and incidence of allergic and non-allergic asthma: a population-based cohort. *Thorax*, 67(7), 625-631. 10.1136/thoraxjnl-2011-201249
- Leyva, E. W. A., Beaman, A. et Davidson, P. M. (2017). Health impact of climate change in older people: an integrative review and implications for nursing. *Journal of Nursing Scholarship*, 49(6), 670-678. 10.1111/jnu.12346

- Li, N., Dachner, N. et Tarasuk, V. (2016). The impact of changes in social policies on household food insecurity in British Columbia, 2005–2012. *Preventive Medicine*, 93, 151-158. 10.1016/j.ypmed.2016.10.002
- Liddell, C. et Morris, C. (2010). Fuel poverty and human health: A review of recent evidence. *Energy Policy*, 38(6), 2987-2997. 10.1016/j.enpol.2010.01.037
- Liddell, C., Morris, C., Thomson, H. et Guiney, C. (2016). Excess winter deaths in 30 European countries 1980-2013: a critical review of methods. *Journal of Public Health*, 38(4), 806-814. 10.1093/pubmed/fdv184
- Lim, Y.-H., Hong, Y.-C. et Kim, H. (2012). Effects of diurnal temperature range on cardiovascular and respiratory hospital admissions in Korea. *Science of The Total Environment*, 417-418, 55-60. 10.1016/j.scitotenv.2011.12.048
- Lim, Y.-H., So, R., Lee, C., Hong, Y.-C., Park, M., Kim, L. et Yoon, H.-J. (2018). Ambient temperature and hospital admissions for acute kidney injury: A time-series analysis. *Science of The Total Environment*, 616, 1134-1138.
- Lin, L.-Y., Chuang, H.-C., Liu, I.-J., Chen, H.-W. et Chuang, K.-J. (2013). Reducing indoor air pollution by air conditioning is associated with improvements in cardiovascular health among the general population. *Science of The Total Environment*, 463-464, 176-181. 10.1016/j.scitotenv.2013.05.093
- Lin, S., Lawrence, W. R., Lin, Z., DiRienzo, S., Lipton, K., Dong, G.-H., Leung, R., Lauper, U., Nasca, P. et Stuart, N. (2018). Are the current thresholds, indicators, and time window for cold warning effective enough to protect cardiovascular health? *Science of The Total Environment*, 639, 860-867.
- Lin, S., Soim, A., Gleason, K. A. et Hwang, S.-A. (2016). Association between low temperature during winter season and hospitalizations for ischemic heart diseases in New York State. *Journal of Environmental Health*, 78(6), 66-74.
- Lin, T. K., Teymourian, Y. et Tursini, M. S. (2018). The effect of sugar and processed food imports on the prevalence of overweight and obesity in 172 countries. *Globalization and Health*, 14(1), 35. 10.1186/s12992-018-0344-y
- Lindahl, J. F. et Grace, D. (2015). The consequences of human actions on risks for infectious diseases: a review. *Infection Ecology & Epidemiology*, 5(1), 30048. 10.3402/iee.v5.30048
- Lindberg, R., Whelan, J., Lawrence, M., Gold, L. et Friel, S. (2015). Still serving hot soup? Two hundred years of a charitable food sector in Australia: a narrative review. *Australian and New Zealand Journal of Public Health*, 39(4), 358-365. 10.1111/1753-6405.12311
- Lindqvist, P. G. et Landin-Olsson, M. (2017). The relationship between sun exposure and all-cause mortality. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 16(3), 354-361. 10.1039/c6pp00316h
- Lindsey, N. P., Staples, J. E., Lehman, J. A. et Fischer, M. (2010). Surveillance for human west nile virus disease—United States, 1999–2008. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 59(2), 1-17.
- Linos, E., Keiser, E., Kanzler, M., Sainani, K. L., Lee, W., Vittinghoff, E., Chren, M.-M. et Tang, J. Y. (2012). Sun protective behaviors and vitamin D levels in the US population: NHANES 2003–2006. *Cancer Causes & Control*, 23(1), 133-140. 10.1007/s10552-011-9862-0

- Liotta, G., Inzerilli, M. C., Palombi, L., Madaro, O., Orlando, S., Scarcella, P., Betti, D. et Marazzi, M. C. (2018). Social interventions to prevent heat-related mortality in the older adult in Rome, Italy: a quasi-experimental study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(4), 715. 10.3390/ijerph15040715
- Litman, T. (2017). *Evaluating public transit as an energy conservation and emission reduction strategy*. Victoria Transport Policy Institute.
- Liu, C., Yavar, Z. et Sun, Q. (2015). Cardiovascular response to thermoregulatory challenges. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 309(11), H1793-H1812. 10.1152/ajpheart.00199.2015
- Liu, D., Fernandez, B. O., Hamilton, A., Lang, N. N., Gallagher, J. M. C., Newby, D. E., Feelisch, M. et Weller, R. B. (2014). UVA irradiation of human skin vasodilates arterial vasculature and lowers blood pressure independently of nitric oxide synthase. *Journal of Investigative Dermatology*, 134(7), 1839-1846. 10.1038/jid.2014.27
- Liu, G. T., Dancause, K. N., Elgbeili, G., Laplante, D. P. et King, S. (2016). Disaster-related prenatal maternal stress explains increasing amounts of variance in body composition through childhood and adolescence: Project Ice Storm. *Environmental Research*, 150, 1-7. 10.1016/j.envres.2016.04.039
- Liu, Haibin, Davidson, R. A. et Apanasovich, T. V. (2008). Spatial generalized linear mixed models of electric power outages due to hurricanes and ice storms. *Reliability Engineering & System Safety*, 93(6), 897-912. 10.1016/j.ress.2007.03.038
- Liu, Hongbin, Lee, S., Kim, M., Shi, H., Kim, J. T. et Yoo, C. (2014). Finding the optimal set points of a thermal and ventilation control system under changing outdoor weather conditions. *Indoor and Built Environment*, 23(1), 118-132. 10.1177/1420326X14522669
- Liu, J. C., Mickley, L. J., Sulprizio, M. P., Yue, X., Peng, R. D., Dominici, F. et Bell, M. L. (2016). Future respiratory hospital admissions from wildfire smoke under climate change in the Western US. *Environmental Research Letters*, 11(12), 124018.
- Liu, J. C., Wilson, A., Mickley, L. J., Ebisu, K., Sulprizio, M. P., Wang, Y., Peng, R. D., Yue, X., Dominici, F. et Bell, M. L. (2017). Who among the elderly is most vulnerable to exposure to and health risks of fine particulate matter from wildfire smoke? *American Journal of Epidemiology*, 186(6), 730-735. 10.1093/aje/kwx141
- Liu, K. et Bass, B. (2005). *Performance of green roof systems* (n° NRCC-47705). National Research Council Canada.
- Liu, Yan et Wu, F. (2010). Global burden of aflatoxin-induced hepatocellular carcinoma: a risk assessment. *Environmental Health Perspectives*, 118(6), 818-824.
- Liu, Yongqiang, Goodrick, S. et Heilman, W. (2014). Wildland fire emissions, carbon, and climate: Wildfire-climate interactions. *Forest Ecology and Management*, 317, 80-96. 10.1016/j.foreco.2013.02.020
- Loladze, I. (2014). Hidden shift of the ionome of plants exposed to elevated CO₂ depletes minerals at the base of human nutrition. *eLife*, 3. 10.7554/eLife.02245
- Loopstra, R. (2018). Interventions to address household food insecurity in high-income countries. *Proceedings of the Nutrition Society*, 77(3), 270-281. 10.1017/S002966511800006X

- Loopstra, R. et Tarasuk, V. (2013). The relationship between food banks and household food insecurity among low-income Toronto families. *Canadian Public Policy*. 10.3138/CP.38.4.497
- Loopstra, R. et Tarasuk, V. (2015). Food bank usage is a poor indicator of food insecurity: insights from Canada. *Social Policy and Society*, 14(3), 443-455. 10.1017/S1474746415000184
- Loopstra, R., Reeves, A., McKee, M. et Stuckler, D. (2016). Food insecurity and social protection in Europe: quasi-natural experiment of Europe's great recessions 2004–2012. *Preventive Medicine*, 89, 44-50. 10.1016/j.ypmed.2016.05.010
- Lothrop, H. D., Lothrop, B. B., Goms, D. E. et Reisen, W. K. (2008). Intensive early season adulticide applications decrease arbovirus transmission throughout the Coachella Valley, Riverside county, California. *Vector Borne and Zoonotic Diseases*, 8(4), 475-489. 10.1089/vbz.2007.0238
- Low, R. B., Bielory, L., Qureshi, A. I., Dunn, V., Stuhlmiller, D. F. et Dickey, D. A. (2006). The relation of stroke admissions to recent weather, airborne allergens, air pollution, seasons, upper respiratory infections, and asthma incidence, September 11, 2001, and day of the week. *Stroke*, 37(4), 951-957.
- Lowe, A. J., Olsson, D., Bråbäck, L. et Forsberg, B. (2012). Pollen exposure in pregnancy and infancy and risk of asthma hospitalisation - a register based cohort study. *Allergy, Asthma & Clinical Immunology*, 8(1), 17. 10.1186/1710-1492-8-17
- Lowe, A.-M. (2016). Public health intervention strategies to tackle vector-borne diseases in Quebec. *Canada Communicable Disease Report*, 42(10), 213-214. 10.14745/ccdr.v42i10a10
- Lowe, D., Ebi, K. L. et Forsberg, B. (2013). Factors increasing vulnerability to health effects before, during and after floods. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10(12), 7015-7067. 10.3390/ijerph10127015
- Lu, C., Yang, J., Yu, W., Li, D., Xiang, Z., Lin, Y. et Yu, C. (2015). Association between 25(OH)D level, ultraviolet exposure, geographical location, and inflammatory bowel disease activity: a systematic review and meta-analysis. *Plos One*, 10(7), e0132036. 10.1371/journal.pone.0132036
- Lu, J. G. (2020). Air pollution: a systematic review of its psychological, economic, and social effects. *Current Opinion in Psychology*, 32, 52-65. 10.1016/j.copsy.2019.06.024
- Lu, J. G., Lee, J. J., Gino, F. et Galinsky, A. D. (2018). Polluted morality: air pollution predicts criminal activity and unethical behavior. *Psychological Science*, 29(3), 340-355. 10.1177/0956797617735807
- Lucas, R. (2010). *Solar ultraviolet radiation: assessing the environmental burden of disease at national and local levels*. World Health Organization.
- Lucas, R. M., Byrne, S. N., Correale, J., Ilshner, S. et Hart, P. H. (2015). Ultraviolet radiation, vitamin D and multiple sclerosis. *Neurodegenerative Disease Management*, 5(5), 413-424. 10.2217/nmt.15.33
- Ludwig, A., Zheng, H., Vrbova, L., Drebot, M., Iranpour, M. et Lindsay, L. (2019). Increased risk of endemic mosquito-borne diseases in Canada due to climate change. *Canada Communicable Disease Report*, 45(4), 91-97. 10.14745/ccdr.v45i04a03
- Lund, B. M. et O'Brien, S. J. (2011). The occurrence and prevention of foodborne disease in vulnerable people. *Foodborne Pathogens and Disease*, 8(9), 961-973. 10.1089/fpd.2011.0860

- Lundgren Kownacki, K., Gao, C., Kuklane, K. et Wierzbicka, A. (2019). Heat stress in indoor environments of Scandinavian urban areas: a literature review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(4). 10.3390/ijerph16040560
- Lundgren, K. et Kjellstrom, T. (2013). Sustainability challenges from climate change and air conditioning use in urban areas. *Sustainability*, 5(7), 3116-3128. 10.3390/su5073116
- Lundgren, K., Kuklane, K., Gao, C. et Holmer, I. (2013). Effects of heat stress on working populations when facing climate change. *Industrial Health*, 51(1), 3-15. 10.2486/indhealth.2012-0089
- Lusk, J. L. et Norwood, F. B. (2009). Some economic benefits and costs of vegetarianism. *Agricultural and Resource Economics Review*, 38(1203-2016-95232), 109-124.
- Lutsch, E., Dammers, E., Conway, S. et Strong, K. (2016). Long-range transport of NH₃, CO, HCN, and C₂H₆ from the 2014 Canadian wildfires. *Geophysical Research Letters*, 43(15), 8286-8297. 10.1002/2016GL070114
- Lynch, D. H., Halberg, N. et Bhatta, G. D. (2012). Environmental impact of organic agriculture in temperate regions. *CAB Review*, 7(10).
- Lynch, H., Johnston, C. et Wharton, C. (2018). Plant-based diets: considerations for environmental impact, protein quality, and exercise performance. *Nutrients*, 10(12), 1841. 10.3390/nu10121841
- Lynch, K. M., Lyles, R. H., Waller, L. A., Abadi, A. M., Bell, J. E. et Gribble, M. O. (2020). Drought severity and all-cause mortality rates among adults in the United States: 1968–2014. *Environmental Health*, 19(52), 1-14.
- Lynn, B. H., Carlson, T. N., Rosenzweig, C., Goldberg, R., Druyan, L., Cox, J., Gaffin, S., Parshall, L. et Civerolo, K. (2009). A modification to the NOAA LSM to simulate heat mitigation strategies in the New York City Metropolitan Area. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 48(2), 199-216. 10.1175/2008JAMC1774.1
- Macartney, M. J., Meade, R. D., Notley, S. R., Herry, C. L., Seely, A. J. E. et Kenny, G. P. (2020). Fluid loss during exercise-heat stress reduces cardiac vagal autonomic modulation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 52(2), 362-369. 10.1249/MSS.0000000000002136
- Macciotta, R. et Lefsrud, L. (2018). Framework for developing risk to life evaluation criteria associated with landslides in Canada. *Geoenvironmental Disasters*, 5(1), 10.
- Macdiarmid, J. I., Loe, J., Kyle, J. et McNeill, G. (2013). "It was an education in portion size". Experience of eating a healthy diet and barriers to long term dietary change. *Appetite*, 71, 411-419. 10.1016/j.appet.2013.09.012
- MacDonald, E., White, R., Mexia, R., Bruun, T., Kapperud, G., Lange, H., Nygård, K. et Vold, L. (2015). Risk factors for sporadic domestically acquired campylobacter infections in Norway 2010–2011: a national prospective case-control study. *PLOS ONE*, 10(10), e0139636. 10.1371/journal.pone.0139636
- Macedo, P. A., Schleier, J. J., Reed, M., Kelley, K., Goodman, G. W., Brown, D. A. et Peterson, R. K. D. (2010). Evaluation of efficacy and human health risk of aerial ultra-low volume applications of pyrethrins and piperonyl butoxide for adult mosquito management in response to West Nile virus activity in Sacramento county, California. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 26(1), 57-66. 10.2987/09-5961.1

- Mackay, A. J., Muturi, E. J., Ward, M. P. et Allan, B. F. (2016). Cascade of ecological consequences for West Nile virus transmission when aquatic macrophytes invade stormwater habitats. *Ecological Applications*, 26(1), 219-232. 10.1890/15-0050
- Mackenbach, J. D., Rutter, H., Compernelle, S., Glonti, K., Oppert, J.-M., Charreire, H., De Bourdeaudhuij, I., Brug, J., Nijpels, G. et Lakerveld, J. (2014). Obesogenic environments: a systematic review of the association between the physical environment and adult weight status, the SPOTLIGHT project. *BMC Public Health*, 14(1), 233. 10.1186/1471-2458-14-233
- MacRae, R., Siu, A., Kohn, M., Matsubuchi-Shaw, M., McCallum, D., Cervantes, T. H. et Perreault, D. (2016). Making better use of what we have: strategies to minimize food waste and resource inefficiency in Canada. *Canadian Food Studies*, 3(2), 145-215. 10.15353/cfs-rcea.v3i2.143
- Madrigano, J., Jack, D., Anderson, G. B., Bell, M. L. et Kinney, P. L. (2015). Temperature, ozone, and mortality in urban and non-urban counties in the northeastern United States. *Environmental Health*, 14(1), 3. 10.1186/1476-069X-14-3
- Madsen, J. M., Zimmermann, N. G., Timmons, J. et Tablante, N. L. (2013). Avian influenza seroprevalence and biosecurity risk factors in Maryland backyard poultry: a cross-sectional study. *PLOS ONE*, 8(2), e56851. 10.1371/journal.pone.0056851
- Maguet, S. (2018). *Interventions liées à la santé publique en présence de fumée de feux de forêt*. British Columbia Centre for Disease Control & Centre de collaboration nationale en santé environnementale.
- Mahdavinia, M., Bishehsari, F., Hayat, W., Elhassan, A., Tobin, M. C. et Ditto, A. M. (2017). Association of eosinophilic esophagitis and food pollen allergy syndrome. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, 118(1), 116-117. 10.1016/j.anai.2016.10.012
- Maheswaran, R., Pearson, T., Beevers, S. D., Campbell, M. J. et Wolfe, C. D. (2016). Air pollution and subtypes, severity and vulnerability to ischemic stroke—a population based case-crossover study. *PLOS ONE*, 11(6). 10.1371/journal.pone.0158556
- Mahtlouthi, F. (2013). *Estimation des décès attribuables aux PM2.5 issues des feux de la forêt boréale du Nord du Québec*. Université de Montréal.
- Mainwaring, L. et Friccka, G. (2016). *Lightning safety efforts in Canada 2009 to 2015*. Preprints of the 6th international lightning meteorology conference.
- Maisonneuve, C., Blanchet, C. et Hamel, D. (2014). *L'insécurité alimentaire dans les ménages québécois : mise à jour et évolution de 2005 à 2012*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/publications/1858>
- Maisonneuve, C., Lamontagne, P., Blanchet, C. et Hamel, D. (2015). *Poids corporel et insécurité alimentaire chez les adultes québécois en 2011-2012*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/publications/2047>
- Maizlish, N., Woodcock, J., Co, S., Ostro, B., Fanai, A. et Fairley, D. (2013). Health cobenefits and transportation-related reductions in greenhouse gas emissions in the San Francisco Bay Area. *American Journal of Public Health*, 103(4), 703-709. 10.2105/AJPH.2012.300939
- Mak, P. W. et Singleton, J. (2017). Burning questions: exploring the impact of natural disasters on community pharmacies. *Research in Social and Administrative Pharmacy*, 13(1), 162-171.

- Mäkinen, T. M., Juvonen, R., Jokelainen, J., Harju, T. H., Peitso, A., Bloigu, A., Silvennoinen-Kassinen, S., Leinonen, M. et Hassi, J. (2009). Cold temperature and low humidity are associated with increased occurrence of respiratory tract infections. *Respiratory Medicine*, 103(3), 456-462. 10.1016/j.rmed.2008.09.011
- Makra, L., Matyasovszky, I. et Bálint, B. (2012). Association of allergic asthma emergency room visits with the main biological and chemical air pollutants. *Science of The Total Environment*, 432, 288-296. 10.1016/j.scitotenv.2012.05.088
- Mallya, S., Sander, B., Roy-Gagnon, M.-H., Taljaard, M., Jolly, A. et Kulkarni, M. A. (2018). Factors associated with human West Nile virus infection in Ontario: a generalized linear mixed modelling approach. *BMC Infectious Diseases*, 18. 10.1186/s12879-018-3052-6
- Maloney, E. L. (2016). Controversies in persistent (chronic) Lyme disease. *Journal of Infusion Nursing*, 39(6), 369-375. 10.1097/NAN.0000000000000195
- Maltais, D. (2006). *Impact of the July 1996 floods on older persons in Quebec's Saguenay region*. Université du Québec à Chicoutimi.
- Maltais, D. et Robichaud, S. (2009). Tempête de verglas au Québec: conséquences sur la santé psychosociale et la performance au travail des intervenants. *Revue francophone du stress et du trauma*, 9(3), 167-175.
- Manalai, P., Hamilton, R. G., Langenberg, P., Kosisky, S. E., Lapidus, M., Sleemi, A., Scrandis, D., Cabassa, J. A., Rogers, C. A., Regenold, W. T., Dickerson, F., Vittone, B. J., Guzman, A., Balis, T., Tonelli, L. H. et Postolache, T. T. (2012). Pollen-specific immunoglobulin E positivity is associated with worsening of depression scores in bipolar disorder patients during high pollen season. *Bipolar Disorders*, 14(1), 90-98. 10.1111/j.1399-5618.2012.00983.x
- Manuel, P., Rapaport, E., Keefe, J. et Krawchenko, T. (2015). Coastal climate change and aging communities in Atlantic Canada: a methodological overview of community asset and social vulnerability mapping. *The Canadian Geographer*, 59(4), 433-446. 10.1111/cag.12203
- Mares, D. (2013). Climate change and levels of violence in socially disadvantaged neighborhood groups. *Journal of Urban Health*, 90(4), 768-783.
- Marian, L., Chrysochou, P., Krystallis, A. et Thøgersen, J. (2014). The role of price as a product attribute in the organic food context: an exploration based on actual purchase data. *Food Quality and Preference*, 37, 52-60. 10.1016/j.foodqual.2014.05.001
- Markandya, A., Sampredo, J., Smith, S. J., Van Dingenen, R., Pizarro-Irizar, C., Arto, I. et González-Eguino, M. (2018). Health co-benefits from air pollution and mitigation costs of the Paris Agreement: a modelling study. *The Lancet Planetary Health*, 2(3), e126-e133. 10.1016/S2542-5196(18)30029-9
- Marmot Review Team. (2011). *The health impacts of cold homes and fuel poverty*. Friends of the Earth & Marmot Review Team.
- Marshall, B. M. et Levy, S. B. (2011). Food animals and antimicrobials: impacts on human health. *Clinical Microbiology Reviews*, 24(4), 718-733. 10.1128/CMR.00002-11
- Marshall, E. G., Lu, S.-E., Williams, A. O., Lefkowitz, D. et Borjan, M. (2018). Tree-related injuries associated with response and recovery from Hurricane Sandy, New Jersey, 2011-2014. *Public Health Reports*, 133(3), 266-273.

- Martel, B., Ouarda, T. B., Vanasse, A., Chebana, F., Orzanco, M. G., Charron, C., Courteau, J., Asghari, S. et Gosselin, P. (2010). *Modélisation des fractures de la hanche en fonction de variables météorologiques à l'aide du modèle GAM dans deux régions métropolitaines du Québec, Canada*. Institut national de la recherche scientifique.
- Martin, D., Bélanger, D., Gosselin, P., Brazeau, J., Furgal, C. et Déry, S. (2007). Drinking water and potential threats to human health in Nunavik: adaptation strategies under climate change conditions. *Arctic*, 60(2), 195-202.
- Martin, K. S., Wu, R., Wolff, M., Colantonio, A. G. et Grady, J. (2013). A novel food pantry program: food security, self-sufficiency, and diet-quality outcomes. *American Journal of Preventive Medicine*, 45(5), 569-575. 10.1016/j.amepre.2013.06.012
- Martin, S. L., Cakmak, S., Hebborn, C. A., Avramescu, M.-L. et Tremblay, N. (2012). Climate change and future temperature-related mortality in 15 Canadian cities. *International Journal of Biometeorology*, 56(4), 605-619. 10.1007/s00484-011-0449-y
- Martinez Garcia, D. et Sheehan, M. C. (2016). Extreme weather-driven disasters and children's health. *International Journal of Health Services*, 46(1), 79-105. 10.1177/0020731415625254
- Mateus, T., Silva, J., Maia, R. L. et Teixeira, P. (2013). Listeriosis during pregnancy: a public health concern. *International Scholarly Research Notices*, 2013.
- Mavrogianni, A., Wilkinson, P., Davies, M., Biddulph, P. et Oikonomou, E. (2012). Building characteristics as determinants of propensity to high indoor summer temperatures in London dwellings. *Building and Environment*, 55, 117-130.
- McClelland, E., Amlôt, R., Rogers, M. B., Rubin, G. J., Tesh, J. et Pearce, J. M. (2017). Psychological and physical impacts of extreme events on older adults: implications for communications. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 11(1), 127-134.
- McEvoy, C. T., Temple, N. et Woodside, J. V. (2012). Vegetarian diets, low-meat diets and health: a review. *Public Health Nutrition*, 15(12), 2287-2294. 10.1017/S1368980012000936
- McFarlane, B., McGee, T. et Faulkner, H. (2012). Complexity of homeowner wildfire risk mitigation: an integration of hazard theories. *International Journal of Wildland Fire*, 20, 921-931. 10.1071/WF10096
- McGee, T. K. (2007). Urban residents' approval of management measures to mitigate wildland-urban interface fire risks in Edmonton, Canada. *Landscape and Urban Planning*, 82(4), 247-256. 10.1016/j.landurbplan.2007.03.001
- McIntyre, K. M., Setzkorn, C., Hepworth, P. J., Morand, S., Morse, A. P. et Baylis, M. (2017). Systematic assessment of the climate sensitivity of important human and domestic animals pathogens in Europe. *Scientific reports*, 7(1), 7134.
- McIntyre, L., Dutton, D. J., Kwok, C. et Emery, J. C. H. (2016). Reduction of food insecurity among low-income Canadian seniors as a likely impact of a guaranteed annual income. *Canadian Public Policy*. 10.3138/cpp.2015-069
- McIntyre, L., Williams, J. V. A., Lavorato, D. H. et Patten, S. (2013). Depression and suicide ideation in late adolescence and early adulthood are an outcome of child hunger. *Journal of Affective Disorders*, 150(1), 123-129. 10.1016/j.jad.2012.11.029

- McKibben, J. B. A., Fullerton, C. S., Ursano, R. J., Reissman, D. B., Kowalski-Trakofler, K., Shultz, J. M. et Wang, L. (2010). Sleep and arousal as risk factors for adverse health and work performance in public health workers involved in the 2004 Florida hurricane season. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 4(S1), S55-S62. 10.1001/dmp.2010.9
- McKinley, A., Janda, M., Auster, J. et Kimlin, M. (2011). In vitro model of vitamin D synthesis by UV radiation in an Australian urban environment. *Photochemistry and Photobiology*, 87(2), 447-451. 10.1111/j.1751-1097.2010.00865.x
- McLean, K. E., Stranberg, R., MacDonald, M., Richardson, G. R. A., Kosatsky, T. et Henderson, S. B. (2018). Establishing heat alert thresholds for the varied climatic regions of British Columbia, Canada. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(9). 10.3390/ijerph15092048
- McLean, K., Yao, J. et Henderson, S. (2015). An evaluation of the British Columbia Asthma Monitoring System (BCAMS) and PM2.5 exposure metrics during the 2014 forest fire season. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(6), 6710-6724.
- McLeish, A. C. et Zvolensky, M. J. (2010). Asthma and cigarette smoking: a review of the empirical literature. *Journal of Asthma*, 47(4), 345-361. 10.3109/02770900903556413
- McLennan, J., Elliott, G., Omodei, M. et Whittaker, J. (2013). Household safety-related decisions, plans, actions and outcomes during the 7 February 2009 Victorian (Australia) wildfires. *Fire Safety Journal*, 61, 175-184. 10.1016/j.firesaf.2013.09.003
- McMartin, D. W., Merino, B. H. H., Bonsal, B., Hurlbert, M., Villalba, R., Ocampo, O. L., Upegui, J. J. V., Poveda, G. et Sauchyn, D. J. (2018). Limitations of water resources infrastructure for reducing community vulnerabilities to extremes and uncertainty of flood and drought. *Environmental Management*, 1-10.
- McMichael, A. J. (2015). Extreme weather events and infectious disease outbreaks. *Virulence*, 6(6), 543-547. 10.4161/21505594.2014.975022
- McMorrow, L., Ludbrook, A., Macdiarmid, J. I. et Olajide, D. (2017). Perceived barriers towards healthy eating and their association with fruit and vegetable consumption. *Journal of Public Health*, 39(2), 330-338. 10.1093/pubmed/fdw038
- McPherson, M., García-García, A., Cuesta-Valero, F. J., Beltrami, H., Hansen-Ketchum, P., MacDougall, D. et Ogden, N. H. (2017). Expansion of the Lyme disease vector *Ixodes scapularis* in Canada inferred from CMIP5 climate projections. *Environmental Health Perspectives*, 125(5), 057008.
- McTavish, R. K., Richard, L., McArthur, E., Shariff, S. Z., Acedillo, R., Parikh, C. R., Wald, R., Wilk, P. et Garg, A. X. (2018). Association between high environmental heat and risk of acute kidney injury among older adults in a northern climate: a matched case-control study. *American Journal of Kidney Diseases*, 71(2), 200-208. 10.1053/j.ajkd.2017.07.011
- Medek, D. E., Schwartz, J. et Myers, S. S. (2017). Estimated effects of future atmospheric CO2 concentrations on protein intake and the risk of protein deficiency by country and region. *Environmental Health Perspectives*, 125(8), 087002-087002. 10.1289/EHP41
- Medina, A., Akbar, A., Baazeem, A., Rodriguez, A. et Magan, N. (2017). Climate change, food security and mycotoxins: do we know enough? *Fungal Biology Reviews*, 31(3), 143-154. 10.1016/j.fbr.2017.04.002

- Megaw, L., Clemens, T., Dibben, C., Weller, R. et Stock, S. (2017). Pregnancy outcome and ultraviolet radiation: a systematic review. *Environmental Research*, 155, 335-343. 10.1016/j.envres.2017.02.026
- Mehiriz, K. et Gosselin, P. (2016). Municipalities' Preparedness for Weather Hazards and Response to Weather Warnings. *PLOS ONE*, 11(9), e0163390. 10.1371/journal.pone.0163390
- Mehiriz, K. et Gosselin, P. (2017). *Évaluation du projet pilote d'alertes téléphoniques automatisées pour les personnes vulnérables à la chaleur et au smog*. Institut national de la recherche scientifique. <http://espace.inrs.ca/6285/>
- Mehiriz, K., Gosselin, P., Tardif, I., Lemieux, M.-A., Mehiriz, K., Gosselin, P., Tardif, I. et Lemieux, M.-A. (2018). The effect of an automated phone warning and health advisory system on adaptation to high heat episodes and health services use in vulnerable groups— evidence from a randomized controlled study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(8), 1581. 10.3390/ijerph15081581
- Melchior, M., Chastang, J.-F., Falissard, B., Galéra, C., Tremblay, R. E., Côté, S. M. et Boivin, M. (2012). Food insecurity and children's mental health: a prospective birth cohort study. *PLOS ONE*, 7(12). 10.1371/journal.pone.0052615
- Melkonyan, A. et Kuttler, W. (2012). Long-term analysis of NO, NO₂ and O₃ concentrations in North Rhine-Westphalia, Germany. *Atmospheric Environment*, 60, 316-326. 10.1016/j.atmosenv.2012.06.048
- Mendy, V. L., Vargas, R., Cannon-Smith, G., Payton, M., Enkhmaa, B. et Zhang, L. (2018). Food insecurity and cardiovascular disease risk factors among Mississippi adults. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(9), 2016. 10.3390/ijerph15092016
- Messier, V., Lévesque, B., Proulx, J.-F., Rochette, L., Serhir, B., Couillard, M., Ward, B. J., Libman, M. D., Dewailly, É. et Déry, S. (2012). Seroprevalence of seven zoonotic infections in Nunavik, Quebec (Canada). *Zoonoses and Public Health*, 59(2), 107-117. 10.1111/j.1863-2378.2011.01424.x
- MétéoMédia. (s. d.). *Prévisions pollen: index des villes*. <http://www.meteomedia.com/plein-air/pollen/list/caqc/all>
- Mie, A., Andersen, H. R., Gunnarsson, S., Kahl, J., Kesse-Guyot, E., Rembiałkowska, E., Quaglio, G. et Grandjean, P. (2017). Human health implications of organic food and organic agriculture: a comprehensive review. *Environmental Health*, 16(1), 111. 10.1186/s12940-017-0315-4
- Miller, D. D., Ota, Y., Sumaila, U. R., Cisneros-Montemayor, A. M. et Cheung, W. W. L. (2018). Adaptation strategies to climate change in marine systems. *Global Change Biology*, 24(1), e1-e14. 10.1111/gcb.13829
- Mills, B., Unrau, D., Parkinson, C., Jones, B., Yessis, J., Spring, K. et Pentelow, L. (2008). Assessment of lightning-related fatality and injury risk in Canada. *Natural Hazards*, 47(2), 157-183. 10.1007/s11069-007-9204-4
- Mills, B., Unrau, D., Pentelow, L. et Spring, K. (2009). *A review of lightning-related damage and disruption in Canada*. Environnement Canada.
- Mills, B., Unrau, D., Pentelow, L. et Spring, K. (2010). Assessment of lightning-related damage and disruption in Canada. *Natural Hazards*, 52(2), 481-499.

- Mimee, B., Brodeur, J., Bourgeois, G., Moiroux, J., Gendron-St-Marseille, A. et Gagnon, A.-È. (2014). *Quels enjeux représentent les changements climatiques en lien avec les espèces exotiques envahissantes pour la culture du soya au Québec?* Ouranos.
- Mimee, B., Dauphinais, N. et Belair, G. (2015). Life cycle of the golden cyst nematode, *Globodera rostochiensis*, in Quebec, Canada. *Journal of Nematology*, 47(4), 290-295.
- Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. (2015). *Leptospirose*. <https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Productions/santeanimale/maladies/transmissibleshumain/Pages/Leptospirose.aspx>
- Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. (2019). *Réseau aviaire*. <https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Productions/santeanimale/maladies/RAIZO/reseauaviaire/Pages/reseauaviaire.aspx>
- Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. (2020). *Gaspillage alimentaire*. <https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Restauration/Qualitedesaliments/Pages/Gaspillage-alimentaire.aspx>
- Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. (s. d.). *Toxi-infections alimentaires*. <https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Consommation/toxiinfections/Pages/Toxiinfections.aspx>
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. (2019). *Règlement sur les appareils de chauffage au bois*. <http://www.environnement.gouv.qc.ca/air/chauf-bois/reglement.htm>
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. (s. d.-a). *Eaux souterraines*. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/souterraines/index.htm>
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. (s. d.-b). *Indice de la qualité de l'air (IQA)*. <http://www.iqa.mddep.gouv.qc.ca/contenu/calcul.htm>
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. (s. d.-c). *Le chauffage au bois*. <http://www.environnement.gouv.qc.ca/air/chauf-bois/>
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. (s. d.-d). *Projets d'acquisition de connaissance des eaux souterraines*. <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/souterraines/programmes/acquisition-connaissance.htm>
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. (s. d.-e). *Statistiques annuelles des jours de mauvaise qualité de l'air*. <http://www.environnement.gouv.qc.ca/air/info-smog/portrait/stats-jours-mauvaise-qualite-air.htm>
- Ministère de la Santé et des Services sociaux. (2008). *L'itinérance au Québec: cadre de référence*. <https://publications.msss.gouv.qc.ca/msss/document-000813/>
- Ministère de la Santé et des Services sociaux. (2013). *Plan d'intervention gouvernemental 2013-2015 pour la protection de la population contre le virus du Nil occidental*. Gouvernement du Québec. <http://publications.msss.gouv.qc.ca/msss/fichiers/2013/13-211-01W.pdf>

Les aléas affectés par les changements climatiques :
effets sur la santé, vulnérabilités et mesures d'adaptation

Ministère de la Santé et des Services sociaux. (2016). *Contrôle des pollens allergènes dans 3 municipalités québécoises à l'été 2016: des résultats convaincants*. Gouvernement du Québec.
<http://publications.msss.gouv.qc.ca/msss/fichiers/2017/17-244-01W.pdf>

Ministère de la Santé et des Services sociaux. (2018a). *Rage - Historique*.
<https://www.msss.gouv.qc.ca/professionnels/zoonoses/rage/historique/>

Ministère de la Santé et des Services sociaux. (2018b). *Taux de prévalence de l'asthme*.
<https://www.msss.gouv.qc.ca/professionnels/statistiques-donnees-sante-bien-etre/statistiques-de-sante-et-de-bien-etre-selon-le-sexe-volet-national/taux-de-prevalence-de-l-asthme/>

Ministère de la Santé et des Services sociaux. (2019a). *La rhinite allergique en quelques chiffres*.
<http://www.msss.gouv.qc.ca/professionnels/statistiques-donnees-sante-bien-etre/flash-surveillance/>

Ministère de la Santé et des Services sociaux. (2019b). *Surveillance de cas humains de VNO*.
<https://www.msss.gouv.qc.ca/professionnels/zoonoses/virus-du-nil-occidental-vno/surveillance-de-cas-humains-de-vno/>

Ministère de la Santé et des Services sociaux. (2019c). *Surveillance de la maladie de Lyme*.
<https://msss.gouv.qc.ca/professionnels/zoonoses/maladie-lyme/surveillance-de-la-maladie/>

Ministère de la Santé et des Services sociaux. (2019d). *Vaccin contre la rage*.
<https://www.msss.gouv.qc.ca/professionnels/vaccination/piq-vaccins/rage-vaccin-contre-la-rage/>

Ministère de la Santé et des Services sociaux. (2020a). *Surveillance des maladies d'intérêt transmises par des moustiques au Québec - Encéphalite équine de l'Est*.
<https://www.msss.gouv.qc.ca/professionnels/zoonoses/surveillance-des-maladies-d-interet-transmises-par-des-moustiques-au-quebec/encephalite-equine-de-l-est/>

Ministère de la Santé et des Services sociaux. (2020b). *Tableau des cas humains - Archives 2002 à 2019 - Virus du Nil occidental (VNO)*.
<https://www.msss.gouv.qc.ca/professionnels/zoonoses/virus-du-nil-occidental-vno/tableau-des-cas-humains-archives/>

Ministère de la Santé et des Services sociaux. (s. d.). *Virus du Nil occidental (VNO) - Données cumulées de la surveillance entomologique*.
<https://www.msss.gouv.qc.ca/professionnels/zoonoses/virus-du-nil-occidental-vno/donnees-cumulees-de-la-surveillance-entomologique/>

Ministère de la Sécurité publique. (2016). *Érosion et submersion côtières*.
<https://www.securitepublique.gouv.qc.ca/securite-civile/se-preparer-aux-sinistres/sinistres/cartes-sinistres/erosion-et-submersion-cotieres.html>

Ministère de la Sécurité publique. (2017). *Inondations du printemps 2017 - Bilan + perspectives*.
Gouvernement du Québec.
https://www.securitepublique.gouv.qc.ca/fileadmin/Documents/securite_civile/inondation/retrospective_bilan_inondations2017.pdf

Ministère de la Sécurité publique. (2018a). *Aide financière et indemnisation lors d'un sinistre*.
<https://www.securitepublique.gouv.qc.ca/securite-civile/aide-financiere-sinistres/programmes.html>

- Ministère de la Sécurité publique. (2018b). *L'aménagement du territoire*.
<https://www.securitepublique.gouv.qc.ca/securite-civile/surveillance-du-territoire/erosion-cotiere/amenagement-territoire.html>
- Ministère de la Sécurité publique. (2018c). *Les solutions possibles pour contrer l'érosion des berges*.
<https://www.securitepublique.gouv.qc.ca/securite-civile/surveillance-du-territoire/erosion-cotiere/solutions.html>
- Ministère de la Sécurité publique. (2018d). *Plan d'action en matière de sécurité civile relatif aux inondations - Vers une société québécoise plus résiliente aux catastrophes*. Gouvernement du Québec.
- Ministère de la Sécurité publique. (2018e). *Surveillance de la crue des eaux*.
<https://geoegl.msp.gouv.qc.ca/adnv2/>
- Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire, Ministère de la Sécurité publique et Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports. (2016). *Guide d'utilisation des cartes de contraintes relatives aux glissements de terrain dans les dépôts meubles*. Gouvernement du Québec.
https://www.mamot.gouv.qc.ca/fileadmin/publications/amenagement_territoire/orientations_gouvernementales/guide_utilisation_cartes_contraintes.pdf
- Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs. (2018). *PareFEU - Conseils pour diminuer les risques liés aux incendies de forêt*.
<https://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/enligne/forets/parefeu/index.asp>
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. (2018). *Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2016 et leur évolution depuis 1990*. Gouvernement du Québec.
<http://www.environnement.gouv.qc.ca/changements/ges/>
- Mitchell, D. (2011). The relationship between Vitamin D and cancer. *Clinical Journal of Oncology Nursing*, 15(5), 557-560. 10.1188/11.CJON.557-560
- Miyake, Y., Tanaka, K., Sasaki, S. et Hirota, Y. (2012). Parental employment, income, education and allergic disorders in children: a prebirth cohort study in Japan. *The International Journal of Tuberculosis and Lung Disease*, 16(6), 756-761.
- Modarres, R., Ouarda, T. B., Vanasse, A., Orzanco, M. G. et Gosselin, P. (2014). Modeling climate effects on hip fracture rate by the multivariate GARCH model in Montreal region, Canada. *International Journal of Biometeorology*, 58(5), 921-930.
- Modenese, A., Korpinen, L. et Gobba, F. (2018). Solar radiation exposure and outdoor work: an underestimated occupational risk. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(10), 2063. 10.3390/ijerph15102063
- Modesti, P. A. (2013). Season, temperature and blood pressure: a complex interaction. *European Journal of Internal Medicine*, 24(7), 604-607. 10.1016/j.ejim.2013.08.002
- Moffat, T., Mohammed, C. et Newbold, K. B. (2017). Cultural dimensions of food insecurity among immigrants and refugees. *Human Organization*, 76(1), 15.
- Moffatt, H. et Struck, S. (2011). *Water-borne disease outbreaks in Canadian small drinking water systems*. National Collaboration Centre for Environmental Health.

- Moghadamnia, M. T., Ardalan, A., Mesdaghinia, A., Keshtkar, A., Naddafi, K. et Yekaninejad, M. S. (2017). Ambient temperature and cardiovascular mortality: a systematic review and meta-analysis. *Peerj*, 5, e3574. 10.7717/peerj.3574
- Mohegh, A., Rosado, P., Jin, L., Millstein, D., Levinson, R. et Ban-Weiss, G. (2017). Modeling the climate impacts of deploying solar reflective cool pavements in California cities. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122(13), 6798-6817. 10.1002/2017JD026845
- Molyneaux, R., Gibbs, L., Bryant, R. A., Humphreys, C., Hegarty, K., Kellett, C., Gallagher, H. C., Block, K., Harms, L., Richardson, J. F., Alkemade, N. et Forbes, D. (2020). Interpersonal violence and mental health outcomes following disaster. *BJPsych Open*, 6(1). 10.1192/bjo.2019.82
- Monsivais, P. et Drewnowski, A. (2007). The rising cost of low-energy-density foods. *Journal of the American Dietetic Association*, 107(12), 2071-2076. 10.1016/j.jada.2007.09.009
- Monsivais, P., McLain, J. et Drewnowski, A. (2010). The rising disparity in the price of healthful foods: 2004–2008. *Food policy*, 35(6), 514-520. 10.1016/j.foodpol.2010.06.004
- Monteiro, A. F., Rato, M. et Martins, C. (2016). Drug-induced photosensitivity: photoallergic and phototoxic reactions. *Clinics in Dermatology*, 34(5), 571-581. 10.1016/j.clindermatol.2016.05.006
- Montgomery, R. R. et Murray, K. O. (2015). Risk factors for West Nile virus infection and disease in populations and individuals. *Expert Review of Anti-infective Therapy*, 13(3), 317-325. 10.1586/14787210.2015.1007043
- Moquin, P. A. et Wrona, F. J. (2015). Effects of permafrost degradation on water and sediment quality and heterotrophic bacterial production of Arctic tundra lakes: An experimental approach. *Limnology and Oceanography*, 60(5), 1484-1497. 10.1002/lno.10110
- Morales, M. E., Epstein, M. H., Marable, D. E., Oo, S. A. et Berkowitz, S. A. (2016). Food insecurity and cardiovascular health in pregnant women: results from the food for families program, Chelsea, Massachusetts, 2013–2015. *Preventing Chronic Disease*, 13. 10.5888/pcd13.160212
- Morales-Suárez-Varela, M., Peraita-Costa, I. et Llopis- González, A. (2017). Systematic review of the association between particulate matter exposure and autism spectrum disorders. *Environmental Research*, 153, 150-160. 10.1016/j.envres.2016.11.022
- Morani, A., Nowak, D. J., Hirabayashi, S. et Calfapietra, C. (2011). How to select the best tree planting locations to enhance air pollution removal in the MillionTreesNYC initiative. *Environmental Pollution*, 159(5), 1040-1047. 10.1016/j.envpol.2010.11.022
- Morency, P., Voyer, C., Burrows, S. et Goudreau, S. (2012). Outdoor falls in an urban context: winter weather impacts and geographical variations. *Canadian Journal of Public Health*, 103(3), 218-222.
- Mori, K. et Perrings, C. (2012). Optimal management of the flood risks of floodplain development. *Science of The Total Environment*, 431, 109-121. 10.1016/j.scitotenv.2012.04.076
- Morignat, E., Gay, E., Vinard, J.-L., Calavas, D. et Hénaux, V. (2015). Quantifying the influence of ambient temperature on dairy and beef cattle mortality in France from a time-series analysis. *Environmental Research*, 140, 524-534. 10.1016/j.envres.2015.05.001

- Morin, C. W., Stoner-Duncan, B., Winker, K., Scotch, M., Hess, J. J., Meschke, J. S., Ebi, K. L. et Rabinowitz, P. M. (2018). Avian influenza virus ecology and evolution through a climatic lens. *Environment International*, 119, 241-249. 10.1016/j.envint.2018.06.018
- Moritz, M. A., Batllori, E., Bradstock, R. A., Gill, A. M., Handmer, J., Hessburg, P. F., Leonard, J., McCaffrey, S., Odion, D. C., Schoennagel, T. et Syphard, A. D. (2014). Learning to coexist with wildfire. *Nature*, 515(7525), 58-66. 10.1038/nature13946
- Mosen, D. M., Schatz, M., Magid, D. J. et Camargo, C. A. (2008). The relationship between obesity and asthma severity and control in adults. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 122(3), 507-511.e6. 10.1016/j.jaci.2008.06.024
- Moubarac, J.-C. et Batal, M. (2016). *La consommation d'aliments transformés et la qualité de l'alimentation au Québec*. Université de Montréal. https://www.rccq.org/wp-content/uploads/Qu%C3%A9bec-MSSS-consommation-daliments-ultra-transform%C3%A9s-et-qualit%C3%A9-de-l'alimentation_Moubarac-et-Batal-2016.pdf
- Moubarac, J.-C., Batal, M., Louzada, M. L., Martinez Steele, E. et Monteiro, C. A. (2017). Consumption of ultra-processed foods predicts diet quality in Canada. *Appetite*, 108, 512-520. 10.1016/j.appet.2016.11.006
- Moudrak, N., Feltmate, B., Venema, H. et Osman, H. (2018). *Combatting Canada's rising flood costs: natural infrastructure is an underutilized option*. University of Waterloo.
- Moulton, P. V. et Yang, W. (2012). Air pollution, oxidative stress, and Alzheimer's disease. *Journal of Environmental and Public Health*, 2012.
- Mowbray, F., Amlôt, R. et Rubin, G. J. (2012). Ticking all the boxes? A systematic review of education and communication interventions to prevent tick-borne disease. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 12(9), 817-825.
- Mowbray, F., Amlôt, R. et Rubin, G. J. (2014). Predictors of protective behaviour against ticks in the UK: a mixed methods study. *Ticks and tick-borne diseases*, 5(4), 392-400.
- Mueller, N., Rojas-Rueda, D., Cole-Hunter, T., de Nazelle, A., Dons, E., Gerike, R., Götschi, T., Int Panis, L., Kahlmeier, S. et Nieuwenhuijsen, M. (2015). Health impact assessment of active transportation: a systematic review. *Preventive Medicine*, 76, 103-114. 10.1016/j.ypmed.2015.04.010
- Mulchandani, R., Smith, M., Armstrong, B., English National Study of Flooding and Health Study Group, Beck, C. R. et Oliver, I. (2019). Effect of insurance-related factors on the association between flooding and mental health outcomes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(7), 1174. 10.3390/ijerph16071174
- Munger, A. L., Lloyd, T. D. S., Speirs, K. E., Riera, K. C. et Grutzmacher, S. K. (2015). More than just not enough: experiences of food insecurity for Latino immigrants. *Journal of Immigrant and Minority Health*, 17(5), 1548-1556. 10.1007/s10903-014-0124-6
- Munn, Z., Peters, M. D. J., Stern, C., Tufanaru, C., McArthur, A. et Aromataris, E. (2018). Systematic review or scoping review? Guidance for authors when choosing between a systematic or scoping review approach. *BMC Medical Research Methodology*, 18(1), 143. 10.1186/s12874-018-0611-x

- Muñoz-Cano, R., Ribó, P., Araujo, G., Giralt, E., Sanchez-Lopez, J. et Valero, A. (2018). Severity of allergic rhinitis impacts sleep and anxiety: results from a large Spanish cohort. *Clinical and Translational Allergy*, 8(1), 23. 10.1186/s13601-018-0212-0
- Munro, A., Kovats, R. S., Rubin, G. J., Waite, T. D., Bone, A. et Armstrong, B. (2017). Effect of evacuation and displacement on the association between flooding and mental health outcomes: a cross-sectional analysis of UK survey data. *The Lancet. Planetary Health*, 1(4), e134-e141. 10.1016/S2542-5196(17)30047-5
- Munt, A. E., Partridge, S. R. et Allman-Farinelli, M. (2017). The barriers and enablers of healthy eating among young adults: a missing piece of the obesity puzzle: a scoping review. *Obesity Reviews*, 18(1), 1-17. 10.1111/obr.12472
- Murad, M. H., Asi, N., Alsawas, M. et Alahdab, F. (2016). New evidence pyramid. *BMJ Evidence-Based Medicine*, 21(4), 125-127. 10.1136/ebmed-2016-110401
- Murphy, H. M., Thomas, M. K., Schmidt, P. J., Medeiros, D. T., McFadyen, S. et Pintar, K. D. M. (2016). Estimating the burden of acute gastrointestinal illness due to Giardia, Cryptosporidium, Campylobacter, E. coli O157 and norovirus associated with private wells and small water systems in Canada. *Epidemiology and Infection*, 144(7), 1355-1370. 10.1017/S0950268815002071
- Myers, P., Lundrigan, B. L., Hoffman, S. M. G., Haraminac, A. P. et Seto, S. H. (2009). Climate-induced changes in the small mammal communities of the Northern Great Lakes Region. *Global Change Biology*, 15(6), 1434-1454. 10.1111/j.1365-2486.2009.01846.x
- Myers, S. S., Wessells, K. R., Kloog, I., Zanobetti, A. et Schwartz, J. (2015). Effect of increased concentrations of atmospheric carbon dioxide on the global threat of zinc deficiency: a modelling study. *The Lancet Global Health*, 3(10), e639-e645. 10.1016/S2214-109X(15)00093-5
- Na, H. R., Heisler, G. M., Nowak, D. J. et Grant, R. H. (2014). Modeling of urban trees' effects on reducing human exposure to UV radiation in Seoul, Korea. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13(4), 785-792. 10.1016/j.ufug.2014.05.009
- Nardocci, M., Leclerc, B.-S., Louzada, M.-L., Monteiro, C. A., Batal, M. et Moubarac, J.-C. (2019). Consumption of ultra-processed foods and obesity in Canada. *Canadian Journal of Public Health*, 110(1), 4-14. 10.17269/s41997-018-0130-x
- Nardone, A., Ronchi, B., Lacetera, N., Ranieri, M. S. et Bernabucci, U. (2010). Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livestock Science*, 130(1), 57-69. 10.1016/j.livsci.2010.02.011
- Navarro, K. M., Schweizer, D., Balmes, J. R. et Cisneros, R. (2018). A review of community smoke exposure from wildfire compared to prescribed fire in the United States. *Atmosphere*, 9(5), 185.
- Neegan Burnside Ltd. (2011). *National assessment of First Nations water and wastewater systems*. <https://www.sac-isc.gc.ca/eng/1313770257504/1533829250747>
- Neidell, M. (2009). Information, avoidance behavior, and health the effect of ozone on asthma hospitalizations. *Journal of Human Resources*, 44(2), 450-478. 10.3368/jhr.44.2.450
- Neidell, M. et Kinney, P. L. (2010). Estimates of the association between ozone and asthma hospitalizations that account for behavioral responses to air quality information. *Environmental Science & Policy*, 13(2), 97-103. 10.1016/j.envsci.2009.12.006

- Nelson, G. C., Valin, H., Sands, R. D., Havlík, P., Ahammad, H., Deryng, D., Elliott, J., Fujimori, S., Hasegawa, T. et Heyhoe, E. (2014). Climate change effects on agriculture: economic responses to biophysical shocks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9), 3274-3279.
- Nerbass, F. B., Pecoits-Filho, R., Clark, W. F., Sontrop, J. M., McIntyre, C. W. et Moist, L. (2017). Occupational heat stress and kidney health: from farms to factories. *Kidney International Reports*, 2(6), 998-1008. 10.1016/j.ekir.2017.08.012
- Neria, Y., Nandi, A. et Galea, S. (2008). Post-traumatic stress disorder following disasters: a systematic review. *Psychological Medicine*, 38(4), 467-480. 10.1017/S0033291707001353
- Ng, F., Wilson, L. et Veitch, C. (2015). Climate adversity and resilience: the voice of rural Australia. *Rural and remote health*, 15(4), 1-12.
- Ng, V., Fazil, A., Gachon, P., Deuymes, G., Radojević, M., Mascarenhas, M., Garasia, S., Johansson, M. A. et Ogden, N. H. (2017). Assessment of the probability of autochthonous transmission of Chikungunya virus in Canada under recent and projected climate change. *Environmental Health Perspectives*, 125(6), 067001.
- Ngom, R. et Gosselin, P. (2014). Development of a remote sensing-based method to map likelihood of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) presence in urban areas. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7(1), 126-139. 10.1109/JSTARS.2013.2254469
- Ngom, R., Gosselin, P. et Blais, C. (2016). Reduction of disparities in access to green spaces: Their geographic insertion and recreational functions matter. *Applied Geography*, 66, 35-51. 10.1016/j.apgeog.2015.11.008
- Nicdao, E. G., Noel, L. T., Ai, A. L., Plummer, C. et Groff, S. (2013). Post disaster resilience. *Disaster Health*, 1(1), 45-53. 10.4161/dish.23077
- Nordio, F., Zanobetti, A., Colicino, E., Kloog, I. et Schwartz, J. (2015). Changing patterns of the temperature-mortality association by time and location in the US, and implications for climate change. *Environment International*, 81, 80-86. 10.1016/j.envint.2015.04.009
- Norval, M. et Wulf, H. C. (2009). Does chronic sunscreen use reduce vitamin D production to insufficient levels? *British Journal of Dermatology*, 161(4), 732-736.
- Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A. et Greenfield, E. (2014). Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*, 193, 119-129. 10.1016/j.envpol.2014.05.028
- Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A. et Hoehn, R. (2013). Modeled PM2.5 removal by trees in ten U.S. cities and associated health effects. *Environmental Pollution*, 178, 395-402. 10.1016/j.envpol.2013.03.050
- Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Doyle, M., McGovern, M. et Pasher, J. (2018). Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health. *Urban Forestry & Urban Greening*, 29, 40-48. 10.1016/j.ufug.2017.10.019
- Nowak-Wegrzyn, A. et Groetch, M. (2015). Nutritional aspects and diets in food allergy. *Food Allergy: Molecular Basis and Clinical Practice*, 101, 209-220. 10.1159/000373904

- O'Brien, L., Berry, H., Coleman, C. et Hanigan, I. (2014). Drought as a mental health exposure. *Environmental Research*, 131, 181-187.
- Ogden, N. H. (2016). Vector-borne disease, climate change and urban design. *Canada Communicable Disease Report*, 42(10), 202. 10.14745/ccdr.v42i10a04
- Ogden, N. H. (2017). Climate change and vector-borne diseases of public health significance. *FEMS Microbiology Letters*, 364(19). 10.1093/femsle/fnx186
- Ogden, N. H., Barker, I., Beauchamp, G., Brazeau, S., Charron, D., Maarouf, A., Morshed, M., O'Callaghan, C., Thompson, R. et Waltner-Toews, D. (2014). Investigation of ground level and remote-sensed data for habitat classification and prediction of survival of *Ixodes scapularis* in habitats of southeastern Canada. *Journal of Medical Entomology*, 43(2), 403-414.
- Ogden, N. H., Ben Beard, C., Ginsberg, H. S. et Tsao, J. I. (2020). Possible effects of climate change on Ixodid ticks and the pathogens they transmit: predictions and observations. *Journal of Medical Entomology*. 10.1093/jme/tjaa220
- Ogden, N. H., Lindsay, L. R. et Schofield, S. W. (2015). Methods to prevent tick bites and Lyme disease. *Clinics in Laboratory Medicine*, 35(4), 883-899. 10.1016/j.cll.2015.07.003
- Ogden, N. H., Radojevic, M., Caminade, C. et Gachon, P. (2014). Recent and projected future climatic suitability of North America for the Asian tiger mosquito *Aedes albopictus*. *Parasites & Vectors*, 7(1), 532. 10.1186/s13071-014-0532-4
- Ogden, N. H., Radojevic, M., Wu, X., Duvvuri, V. R., Leighton, P. A. et Wu, J. (2014). Estimated effects of projected climate change on the basic reproductive number of the Lyme disease vector *Ixodes scapularis*. *Environmental Health Perspectives*, 122(6), 631-638.
- Ogden, N. H., St-Onge, L., Barker, I. K., Brazeau, S., Bigras-Poulin, M., Charron, D. F., Francis, C. M., Heagy, A., Lindsay, L., Maarouf, A., Michel, P., Milord, F., O'Callaghan, C. J., Trudel, L. et Thompson, R. (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(1), 24. 10.1186/1476-072X-7-24
- Okamoto, K. W., Gould, F. et Lloyd, A. L. (2016). Integrating transgenic vector manipulation with clinical interventions to manage vector-borne diseases. *PLoS Computational Biology*, 12(3). 10.1371/journal.pcbi.1004695
- Oksenhendler, E., Gérard, L., Fieschi, C., Malphettes, M., Mouillot, G., Jaussaud, R., Viallard, J.-F., Gardembas, M., Galicier, L., Schleinitz, N., Suarez, F., Soulas-Sprauel, P., Hachulla, E., Jaccard, A., Gardeur, A., Théodorou, I., Rabian, C. et Debré, P. (2008). Infections in 252 patients with common variable immunodeficiency. *Clinical Infectious Diseases*, 46(10), 1547-1554. 10.1086/587669
- Olaniyan, T., Dalvie, M., Roosli, M. et Jeebhay, M. (2016). Air pollution, pollens and childhood asthma-is there a link? *Current Allergy & Clinical Immunology*, 29(4), 252-261.
- Oliveira, C. R. et Shapiro, E. D. (2015). Update on persistent symptoms associated with Lyme disease. *Current Opinion in Pediatrics*, 27(1), 100-104. 10.1097/MOP.0000000000000167
- Oltra, C. et Sala, R. (2014). *A review of the social research on public perception and engagement practices in urban air pollution* (n° CIEMAT--1317). Centro de Investigaciones Energeticas Medioambientales y Tecnológicas. http://inis.iaea.org/Search/search.aspx?orig_q=RN:45046419

- Oravisjärvi, K., Pietikäinen, M., Ruuskanen, J., Rautio, A., Voutilainen, A. et Keiski, R. L. (2011). Effects of physical activity on the deposition of traffic-related particles into the human lungs in silico. *Science of The Total Environment*, 409(21), 4511-4518. 10.1016/j.scitotenv.2011.07.020
- Ordon, M., Welk, B., Li, Q., Wang, J., Lavigne, E., Yagouti, A., Copes, R., Cakmak, S. et Chen, H. (2016). Ambient temperature and the risk of renal colic: a population-based study of the impact of demographics and comorbidity. *Journal of Endourology*, 30(10), 1138-1143. 10.1089/end.2016.0374
- Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. (2016). *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture: changement climatique, agriculture et sécurité alimentaire*.
- Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, A. (2008). *Introduction aux concepts de la sécurité alimentaire - guide pratique*.
- Ormandy, D. et Ezratty, V. (2012). Health and thermal comfort: from WHO guidance to housing strategies. *Energy Policy*, 49, 116-121. 10.1016/j.enpol.2011.09.003
- Orru, H., Ebi, K. L. et Forsberg, B. (2017). The interplay of climate change and air pollution on health. *Current Environmental Health Reports*, 4(4), 504-513. 10.1007/s40572-017-0168-6
- Osofsky, H. J., Osofsky, J. D., Arey, J., Kronenberg, M. E., Hansel, T. et Many, M. (2011). Hurricane Katrina's First Responders: the struggle to protect and serve in the aftermath of the disaster. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 5(S2), S214-S219. 10.1001/dmp.2011.53
- Ouhoummane, N., Irace-Cima, A., Thivierge, K. et Milord, F. (2018). *Rapport de surveillance de la maladie de Lyme : année 2017*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/publications/2472>
- Ouranos. (2015). *Vers l'adaptation. Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec. Partie 1 : Évolution climatique au Québec. Édition 2015*.
- Ouranos. (2018). *Les inondations dans un contexte de changements climatiques*.
- Ouranos. (2019). *La crue printanière de 2019 est-elle un avant-goût du futur ?*
- Ouranos. (s. d.). *Portraits climatiques*. <https://www.ouranos.ca/portraits-climatiques/#/>
- Ozdemir, C., Kucuksezer, U. C., Akdis, M. et Akdis, C. A. (2016). Mechanisms of aeroallergen immunotherapy: subcutaneous immunotherapy and sublingual immunotherapy. *Immunology and Allergy Clinics*, 36(1), 71-86. 10.1016/j.iac.2015.08.003
- Pablos, I., Wildner, S., Asam, C., Wallner, M. et Gadermaier, G. (2016). Pollen allergens for molecular diagnosis. *Current Allergy and Asthma Reports*, 16(4), 31. 10.1007/s11882-016-0603-z
- Page, L. A., Hajat, S., Kovats, R. S. et Howard, L. M. (2012). Temperature-related deaths in people with psychosis, dementia and substance misuse. *The British Journal of Psychiatry*, 200(6), 485-490. 10.1192/bjp.bp.111.100404
- Pageau, M. (2008). *Cadre de référence en matière de sécurité alimentaire (Mise à jour 2008)*. Ministère de la Santé et des Services sociaux.

- Papan, A. S. et Clow, B. (2015). The food insecurity—obesity paradox as a vicious cycle for women: inequalities and health. *Gender & Development*, 23(2), 299-317. 10.1080/13552074.2015.1053204
- Papargyropoulou, E., Lozano, R., K. Steinberger, J., Wright, N. et Ujang, Z. bin. (2014). The food waste hierarchy as a framework for the management of food surplus and food waste. *Journal of Cleaner Production*, 76, 106-115. 10.1016/j.jclepro.2014.04.020
- Pappas, G., Roussos, N. et Falagas, M. E. (2009). Toxoplasmosis snapshots: Global status of *Toxoplasma gondii* seroprevalence and implications for pregnancy and congenital toxoplasmosis. *International Journal for Parasitology*, 39(12), 1385-1394. 10.1016/j.ijpara.2009.04.003
- Pappin, A. J., Hakami, A., Blagden, P., Nasari, M., Szyszkowicz, M. et Burnett, R. T. (2016). Health benefits of reducing NOx emissions in the presence of epidemiological and atmospheric nonlinearities. *Environmental Research Letters*, 11(6), 064015. 10.1088/1748-9326/11/6/064015
- Paquin, D., Elía, R. de et Frigon, A. (2014). Change in North American atmospheric conditions associated with deep convection and severe weather using CRCM4 climate projections. *Atmosphere-Ocean*, 52(3), 175-190. 10.1080/07055900.2013.877868
- Paquin, S. (2009). *Le zonage municipal: un outil contribuant à créer un environnement bâti favorable aux saines habitudes alimentaires*. Institut national de santé publique du Québec. https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/912_ZonageMunici.pdf
- Paradis, A., Poulin, P. et Levesque, B. (2019). Seuils de température sécuritaires en milieux intérieurs: état des connaissances. *Bulletin d'information en santé environnementale*. <https://www.inspq.qc.ca/bise/seuils-de-temperature-securitaires-en-milieux-interieurs-etat-des-connaissances>
- Paradis, J., Goulet, M., Leblond, V. et Leclerc, N. (2011). *Inventaire des émissions des principaux contaminants atmosphériques au Québec en 2008 et évolution depuis 1990*. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs.
- Parent, G. et Buis, M.-È. (2016). La sécurisation alimentaire: source de mesures d'adaptation aux changements climatiques au Québec, 83(3-4), 167-190.
- Parizeau, K., von Massow, M. et Martin, R. (2015). Household-level dynamics of food waste production and related beliefs, attitudes, and behaviours in Guelph, Ontario. *Waste Management*, 35, 207-217. 10.1016/j.wasman.2014.09.019
- Parker, H. W. et Vadiveloo, M. K. (2019). Diet quality of vegetarian diets compared with nonvegetarian diets: a systematic review. *Nutrition Reviews*, 77(3), 144-160. 10.1093/nutrit/nuy067
- Parsons, K. (2014). *Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort, and performance*. CRC press.
- Parsons, N., Odumenya, M., Edwards, A., Lecky, F. et Pattison, G. (2011). Modelling the effects of the weather on admissions to UK trauma units: a cross-sectional study. *Emergency Medicine Journal*, 28(10), 851-855.
- Pastula, D. M., Hoang Johnson, D. K., White, J. L., Dupuis, A. P., Fischer, M. et Staples, J. E. (2015). Jamestown Canyon virus disease in the United States—2000–2013. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 93(2), 384-389. 10.4269/ajtmh.15-0196

- Patel, H., Sander, B. et Nelder, M. P. (2015). Long-term sequelae of West Nile virus-related illness: a systematic review. *The Lancet Infectious Diseases*, 15(8), 951-959. 10.1016/S1473-3099(15)00134-6
- Patrick, C. (2014). *Aboriginal homelessness in Canada: a literature review*. Canadian Homelessness Research Network.
- Patrick, R. J. (2018). Adapting to climate change through source water protection: case studies from Alberta and Saskatchewan, Canada. *The International Indigenous Policy Journal*, 9(3), 1.
- Patterson, C. D. et Guerin, M. T. (2013). The effects of climate change on avian migratory patterns and the dispersal of commercial poultry diseases in Canada - Part II. *World's Poultry Science Journal*, 69(1), 163-182. 10.1017/S0043933913000147
- Paul, C., Weber, M. et Knoke, T. (2017). Agroforestry versus farm mosaic systems – Comparing land-use efficiency, economic returns and risks under climate change effects. *Science of The Total Environment*, 587-588, 22-35. 10.1016/j.scitotenv.2017.02.037
- Paul, M. P., Rigrod, P., Wingate, S. et Borsuk, M. E. (2015). A community-driven intervention in Tuftonboro, New Hampshire, succeeds in altering water testing behavior. *Journal of Environmental Health*, 78(5), 30-39.
- Paules, C. I., Marston, H. D., Bloom, M. E. et Fauci, A. S. (2018). Tickborne diseases — confronting a growing threat. *New England Journal of Medicine*, 379(8), 701-703. 10.1056/NEJMp1807870
- Pavlidis, G. et Tsihrintzis, V. A. (2018). Environmental benefits and control of pollution to surface water and groundwater by agroforestry systems: a review. *Water Resources Management*, 32(1), 1-29. 10.1007/s11269-017-1805-4
- Paynter, S. (2015). Humidity and respiratory virus transmission in tropical and temperate settings. *Epidemiology & Infection*, 143(6), 1110-1118. 10.1017/S0950268814002702
- Pearce, T., Ford, J., Willox, A. C. et Smit, B. (2015). Inuit traditional ecological knowledge (TEK), subsistence hunting and adaptation to climate change in the Canadian Arctic. *Arctic*, 68(2), 233-245.
- Pearl, D. L., Louie, M., Chui, L., Doré, K., Grimsrud, K. M., Martin, S. W., Michel, P., Svenson, L. W. et McEwen, S. A. (2009). A multi-level approach for investigating socio-economic and agricultural risk factors associated with rates of reported cases of *Escherichia coli* o157 in humans in Alberta, Canada. *Zoonoses and Public Health*, 56(8), 455-464. 10.1111/j.1863-2378.2008.01193.x
- Pearson, R. D. (2019). *Babésiose*. Le manuel Merck. <https://www.merckmanuals.com/fr-ca/professional/maladies-infectieuses/protozoaires-extra-intestinaux/bab%C3%A9siose>
- Peci, A., Winter, A.-L., Li, Y., Gnaneshan, S., Liu, J., Mubareka, S. et Gubbay, J. B. (2019). Effects of absolute humidity, relative humidity, temperature, and wind speed on influenza activity in Toronto, Ontario, Canada. *Applied and Environmental Microbiology*, 85(6). 10.1128/AEM.02426-18
- Peel, J. L., Haeuber, R., Garcia, V., Russell, A. G. et Neas, L. (2013). Impact of nitrogen and climate change interactions on ambient air pollution and human health. *Biogeochemistry*, 114(1), 121-134. 10.1007/s10533-012-9782-4

- Peel, R. G., Kennedy, R., Smith, M. et Hertel, O. (2014). Do urban canyons influence street level grass pollen concentrations? *International Journal of Biometeorology*, 58(6), 1317-1325. 10.1007/s00484-013-0728-x
- Pelletier, J., Rocheleau, J.-P., Aenishaenslin, C., Beaudry, F., Dimitri Masson, G., Lindsay, L. R., Ogden, N. H., Bouchard, C. et Leighton, P. A. (2020). Evaluation of fluralaner as an oral acaricide to reduce tick infestation in a wild rodent reservoir of Lyme disease. *Parasites & Vectors*, 13(1), 73. 10.1186/s13071-020-3932-7
- Pendrey, C. G. A., Carey, M. et Stanley, J. (2014). Impacts of extreme weather on the health and well-being of people who are homeless. *Australian Journal of Primary Health*, 20(1), 2-3. 10.1071/PY13136
- Périard, Y., Caron, J., Lafond, J. A. et Jutras, S. (2015). Root water uptake by romaine lettuce in a muck soil: linking tip burn to hydric deficit. *Vadose Zone Journal*, 14(6), 1-1.
- Perini, K. et Rosasco, P. (2013). Cost-benefit analysis for green façades and living wall systems. *Building and Environment*, 70, 110-121. 10.1016/j.buildenv.2013.08.012
- Peters, C. E., Nicol, A.-M. et Demers, P. A. (2012). Prevalence of exposure to solar ultraviolet radiation (UVR) on the job in Canada. *Canadian Journal of Public Health*, 223-226.
- Peters, R., Ee, N., Peters, J., Booth, A., Mudway, I. et Anstey, K. J. (2019). Air pollution and dementia: a systematic review. *Journal of Alzheimer's Disease*, 70(s1), S145-S163. 10.3233/JAD-180631
- Petersen, L. R., Brault, A. C. et Nasci, R. S. (2013). West Nile Virus: review of the literature. *JAMA*, 310(3), 308-315. 10.1001/jama.2013.8042
- Petersen, L. R., Carson, P. J., Biggerstaff, B. J., Custer, B., Borchardt, S. M. et Busch, M. P. (2013). Estimated cumulative incidence of West Nile virus infection in US adults, 1999-2010. *Epidemiology & Infection*, 141(3), 591-595. 10.1017/S0950268812001070
- Petri, Wi. A. (2018). *Présentation des infections à rickettsies*. Le manuel Merck. <https://www.merckmanuals.com/fr-ca/accueil/infections/infections-%C3%A0-rickettsies-et-infections-apparent%C3%A9es/pr%C3%A9sentation-des-infections-%C3%A0-rickettsies>
- Phung, D., Thai, P. K., Guo, Y., Morawska, L., Rutherford, S. et Chu, C. (2016). Ambient temperature and risk of cardiovascular hospitalization: An updated systematic review and meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 550, 1084-1102. 10.1016/j.scitotenv.2016.01.154
- Pierce, J. R., Morley, S. K., West, T. A., Pentecost, P., Upton, L. A. et Banks, L. (2017). Improving long-term care facility disaster preparedness and response: a literature review. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 11(1), 140-149.
- Piesman, J. et Eisen, L. (2008). Prevention of tick-borne diseases. *Annual Review of Entomology*, 53(1), 323-343. 10.1146/annurev.ento.53.103106.093429
- Pinault, L. et Fioletov, V. (2017). Exposition au soleil, protection solaire et coup de soleil chez les adultes canadiens. Statistique Canada. <http://www.statcan.gc.ca/pub/82-003-x/2017005/article/14792-fra.pdf>
- Pinault, L., Bushnik, T., Fioletov, V., Peters, C. E., King, W. D. et Tjepkema, M. (2017). *The risk of melanoma associated with ambient summer ultraviolet radiation*. Statistics Canada.

- Pinault, L., van Donkelaar, A. et Martin, R. V. (2017). Exposure to fine particulate matter air pollution in Canada. *Health Reports*, 28(3), 9.
- Plante, C., Smargiassi, A., Hubert, F. et Goudreau, S. (2016). Implementation and evaluation of a communication strategy to control ragweed pollen. *Environment and Pollution*, 5(1), p87.
- Platts-Mills, T. A. E., Schuyler, A. J., Tripathi, A. et Commins, S. P. (2015). Anaphylaxis to the carbohydrate side-chain alpha-gal. *Immunology and Allergy Clinics of North America*, 35(2), 247-260. 10.1016/j.iac.2015.01.009
- Plaza, M. P., Alcázar, P., Hernández-Ceballos, M. A. et Galán, C. (2016). Mismatch in aeroallergens and airborne grass pollen concentrations. *Atmospheric Environment*, 144, 361-369. 10.1016/j.atmosenv.2016.09.008
- Pludowski, P., Holick, M. F., Pilz, S., Wagner, C. L., Hollis, B. W., Grant, W. B., Shoenfeld, Y., Lerchbaum, E., Llewellyn, D. J., Kienreich, K. et Soni, M. (2013). Vitamin D effects on musculoskeletal health, immunity, autoimmunity, cardiovascular disease, cancer, fertility, pregnancy, dementia and mortality—A review of recent evidence. *Autoimmunity Reviews*, 12(10), 976-989. 10.1016/j.autrev.2013.02.004
- Polain, J. D., Berry, H. L. et Hoskin, J. O. (2011). Rapid change, climate adversity and the next 'big dry': Older farmers' mental health. *Australian Journal of Rural Health*, 19(5), 239-243. 10.1111/j.1440-1584.2011.01219.x
- PolleNation. (2012). *Étude canadienne sur les allergies en milieu urbain* (p. 22).
- Pollock, S. L., Stephen, C., Skuridina, N. et Kosatsky, T. (2012). Raising chickens in city backyards: the public health role. *Journal of Community Health*, 37(3), 734-742. 10.1007/s10900-011-9504-1
- Polosa, R. et Thomson, N. C. (2013). Smoking and asthma: dangerous liaisons. *European Respiratory Journal*, 41(3), 716-726. 10.1183/09031936.00073312
- Pons, W., Young, I., Truong, J., Jones-Bitton, A., McEwen, S., Pintar, K. et Papadopoulos, A. (2015). A systematic review of waterborne disease outbreaks associated with small non-community drinking water systems in Canada and the United States. *PLOS ONE*, 10(10). 10.1371/journal.pone.0141646
- Popescu, F.-D. (2015). Cross-reactivity between aeroallergens and food allergens. *World Journal of Methodology*, 5(2), 31-50. 10.5662/wjm.v5.i2.31
- Porcherie, M., Lejeune, M., Gaudel, M., Pommier, J., Faure, E., Heritage, Z., Rican, S., Simos, J., Cantoreggi, N. L., Roué Le Gall, A., Cambon, L. et Regnaud, J.-P. (2018). Urban green spaces and cancer: a protocol for a scoping review. *BMJ Open*, 8(2). 10.1136/bmjopen-2017-018851
- Porritt, S. M., Cropper, P. C., Shao, L. et Goodier, C. I. (2012). Ranking of interventions to reduce dwelling overheating during heat waves. *Energy and Buildings*, 55, 16-27.
- Porter, M. J. et Morgenstern, N. R. (2013). *Landslide risk evaluation - Canadian technical guidelines and best practices related to landslides: a national initiative for loss reduction*. Natural Resources Canada.
- Postolache, T. T., Komarow, H. et Tonelli, L. H. (2008). Allergy: a risk factor for suicide? *Current Treatment Options in Neurology*, 10(5), 363-376. 10.1007/s11940-008-0039-4

- Postolache, T. T., Langenberg, P., Zimmerman, S. A., Lapidus, M., Komarow, H., McDonald, J. S., Furst, N., Dzhanashvili, N., Scrandis, D. et Bai, J. (2008). Changes in severity of allergy and anxiety symptoms are positively correlated in patients with recurrent mood disorders who are exposed to seasonal peaks of aeroallergens. *International Journal of Child Health and Human Development*, 1(3), 313.
- Potera, C. (2011). Climate change impacts indoor environment. *Environmental Health Perspectives*, 119(9), a382-a382. 10.1289/ehp.119-a382
- Poti, J. M., Braga, B. et Qin, B. (2017). Ultra-processed food intake and obesity: what really matters for health—processing or nutrient content? *Current Obesity Reports*, 6(4), 420-431. 10.1007/s13679-017-0285-4
- Pottier, N., Penning-Rowsell, E., Tunstall, S. et Hubert, G. (2005). Land use and flood protection: contrasting approaches and outcomes in France and in England and Wales. *Applied Geography*, 25(1), 1-27. 10.1016/j.apgeog.2004.11.003
- Pouillot, R., Hoelzer, K., Jackson, K. A., Henao, O. L. et Silk, B. J. (2012). Relative risk of listeriosis in foodborne diseases active surveillance network FoodNet sites according to age, pregnancy, and ethnicity. *Clinical Infectious Diseases*, 54(S5), S405-S410. 10.1093/cid/cis269
- Poulin, P., Levasseur, M.-È. et Huppé, V. (2016). *Mesures d'adaptation pour une saine qualité de l'air intérieur dans un contexte de changements climatiques: revue de la littérature*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/publications/2194>
- Poursafa, P., Keikha, M. et Kelishadi, R. (2015). Systematic review on adverse birth outcomes of climate change. *Journal of research in medical sciences: the official journal of Isfahan University of Medical Sciences*, 20(4), 397.
- Poussin, J. K., Botzen, W. J. W. et Aerts, J. C. J. H. (2014). Factors of influence on flood damage mitigation behaviour by households. *Environmental Science & Policy*, 40, 69-77. 10.1016/j.envsci.2014.01.013
- Poussin, J. K., Bubeck, P., Aerts, J. C. J. H. et Ward, P. (2012). Potential of semi-structural and non-structural adaptation strategies to reduce future flood risk: case study for the Meuse. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12(11), 3455-3471.
- Poussin, J. K., Wouter Botzen, W. J. et Aerts, J. C. J. H. (2015). Effectiveness of flood damage mitigation measures: Empirical evidence from French flood disasters. *Global Environmental Change*, 31, 74-84. 10.1016/j.gloenvcha.2014.12.007
- Power, E. M., Little, M. H. et Collins, P. A. (2015). Should Canadian health promoters support a food stamp-style program to address food insecurity? *Health Promotion International*, 30(1), 184-193. 10.1093/heapro/dau080
- Power, M. C., Adar, S. D., Yanosky, J. D. et Weuve, J. (2016). Exposure to air pollution as a potential contributor to cognitive function, cognitive decline, brain imaging, and dementia: a systematic review of epidemiologic research. *NeuroToxicology*, 56, 235-253. 10.1016/j.neuro.2016.06.004
- Power, M. C., Kioumourtoglou, M.-A., Hart, J. E., Okereke, O. I., Laden, F. et Weiskopf, M. G. (2015). The relation between past exposure to fine particulate air pollution and prevalent anxiety: observational cohort study. *BMJ*, 350. 10.1136/bmj.h1111

- Powers, J. R., Dobson, A. J., Berry, H. L., Graves, A. M., Hanigan, I. C. et Loxton, D. (2015). Lack of association between drought and mental health in a cohort of 45–61 year old rural Australian women. *Australian and New Zealand journal of public health*, 39(6), 518-523.
- Preval, N., Keall, M., Telfar-Barnard, L., Grimes, A. et Howden-Chapman, P. (2017). Impact of improved insulation and heating on mortality risk of older cohort members with prior cardiovascular or respiratory hospitalisations. *BMJ Open*, 7(11), e018079. 10.1136/bmjopen-2017-018079
- Priefer, C., Jörissen, J. et Bräutigam, K.-R. (2016). Food waste prevention in Europe – A cause-driven approach to identify the most relevant leverage points for action. *Resources, Conservation and Recycling*, 109, 155-165. 10.1016/j.resconrec.2016.03.004
- Prost, S. G., Lemieux, C. M. et Ai, A. L. (2016). Social work students in the aftermath of Hurricanes Katrina and Rita: correlates of post-disaster substance use as a negative coping mechanism. *Social Work Education*, 35(7), 825-844. 10.1080/02615479.2016.1187720
- Pryor, L., Lioret, S., van der Waerden, J., Fombonne, É., Falissard, B. et Melchior, M. (2016). Food insecurity and mental health problems among a community sample of young adults. *Social Psychiatry and Psychiatric Epidemiology*, 51(8), 1073-1081. 10.1007/s00127-016-1249-9
- Psarros, C., Theleritis, C., Economou, M., Tzavara, C., Kioulos, K. T., Mantonakis, L., Soldatos, C. R. et Bergiannaki, J.-D. (2017). Insomnia and PTSD one month after wildfires: evidence for an independent role of the “fear of imminent death”. *International Journal of Psychiatry in Clinical Practice*, 21(2), 137-141. 10.1080/13651501.2016.1276192
- Psarros, C., Theleritis, C., Kokras, N., Lyrakos, D., Koborozos, A., Kakabakou, O., Tzanoulinos, G., Katsiki, P. et Bergiannaki, J. D. (2018). Personality characteristics and individual factors associated with PTSD in firefighters one month after extended wildfires. *Nordic Journal of Psychiatry*, 72(1), 17-23. 10.1080/08039488.2017.1368703
- Pugh, T. A. M., MacKenzie, A. R., Whyatt, J. D. et Hewitt, C. N. (2012). Effectiveness of green infrastructure for improvement of air quality in urban street canyons. *Environmental Science & Technology*, 46(14), 7692-7699. 10.1021/es300826w
- Pun, V. C., Manjourides, J. et Suh, H. (2017). Association of ambient air pollution with depressive and anxiety symptoms in older adults: results from the NSHAP study. *Environmental Health Perspectives*, 125(3), 342-348.
- Qiu, H., Tian, L., Ho, K., Pun, V. C., Wang, X. et Yu, I. T. S. (2015). Air pollution and mortality: effect modification by personal characteristics and specific cause of death in a case-only study. *Environmental Pollution*, 199, 192-197. 10.1016/j.envpol.2015.02.002
- Québec.ca. (s. d.). *Glissement de terrain*. <https://www.quebec.ca/securite-situations-urgence/urgences-sinistres-risques-naturels/glisement-terrain/>
- Raaschou-Nielsen, O., Andersen, Z. J., Beelen, R., Samoli, E., Stafoggia, M., Weinmayr, G., Hoffmann, B., Fischer, P., Nieuwenhuijsen, M. J., Brunekreef, B., Xun, W. W., Katsouyanni, K., Dimakopoulou, K., Sommar, J., Forsberg, B., Modig, L., Oudin, A., Oftedal, B., Schwarze, P. E., ... Hoek, G. (2013). Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). *The Lancet Oncology*, 14(9), 813-822. 10.1016/S1470-2045(13)70279-1

- Radio-Canada. (2018). *Érosion des berges : Sainte-Flavie aidera au déménagement d'une cinquantaine de résidences*. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1122112/erosion-berges-cotiere-sainte-flavie-relocalisation-residences>
- Rajaram, N., Hohenadel, K., Gattoni, L., Khan, Y., Birk-Urovitz, E., Li, L. et Schwartz, B. (2016). Assessing health impacts of the December 2013 ice storm in Ontario, Canada. *BMC public health*, 16(1), 544.
- Raji, B., Tenpierik, M. J. et van den Dobbelen, A. (2015). The impact of greening systems on building energy performance: a literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 610-623.
- Rajkumar, M., Prasad, M. N. V., Swaminathan, S. et Freitas, H. (2013). Climate change driven plant-metal-microbe interactions. *Environment International*, 53, 74-86. 10.1016/j.envint.2012.12.009
- Ralston, J. et Kirchman, J. J. (2013). Predicted range shifts in North American boreal forest birds and the effect of climate change on genetic diversity in blackpoll warblers (*Setophaga striata*). *Conservation Genetics*, 14(2), 543-555. 10.1007/s10592-012-0418-y
- Ramani, T., Jaikumar, R., Khreis, H., Rouleau, M. et Charman, N. (2019). Air quality and health impacts of freight modal shifts: review and assessment. *Transportation Research Record*, 2673(3), 153-164. 10.1177/0361198119834008
- Ramin, B. et Svoboda, T. (2009). Health of the homeless and climate change. *Journal of Urban Health-Bulletin of the New York Academy of Medicine*, 86(4), 654-664. 10.1007/s11524-009-9354-7
- Ramos, Y., Requia, W. J., St-Onge, B., Blanchet, J.-P., Kestens, Y. et Smargiassi, A. (2018). Spatial modeling of daily concentrations of ground-level ozone in Montreal, Canada: a comparison of geostatistical approaches. *Environmental Research*, 166, 487-496. 10.1016/j.envres.2018.06.036
- Ranson, M. (2014). Crime, weather, and climate change. *Journal of Environmental Economics and Management*, 67(3), 274-302. 10.1016/j.jeem.2013.11.008
- Rao, M., Afshin, A., Singh, G. et Mozaffarian, D. (2013). Do healthier foods and diet patterns cost more than less healthy options? A systematic review and meta-analysis. *BMJ Open*, 3(12), e004277. 10.1136/bmjopen-2013-004277
- Rapaport, E., Manuel, P., Krawchenko, T. et Keefe, J. (2015). How can aging communities adapt to coastal climate change? Planning for both social and place vulnerability. *Canadian Public Policy*, 41(2), 166-177.
- Rappold, A. G., Cascio, W. E., Kilaru, V. J., Stone, S. L., Neas, L. M., Devlin, R. B. et Diaz-Sanchez, D. (2012). Cardio-respiratory outcomes associated with exposure to wildfire smoke are modified by measures of community health. *Environmental Health*, 11(1), 71.
- Rappold, A. G., Fann, N. L., Crooks, J., Huang, J., Cascio, W. E., Devlin, R. B. et Diaz-Sanchez, D. (2014). Forecast-based interventions can reduce the health and economic burden of wildfires. *Environmental Science & Technology*, 48(18), 10571-10579. 10.1021/es5012725
- Rappold, A. G., Reyes, J., Pouliot, G., Cascio, W. E. et Diaz-Sanchez, D. (2017). Community vulnerability to health impacts of wildland fire smoke exposure. *Environmental Science & Technology*, 51(12), 6674-6682. 10.1021/acs.est.6b06200

- Rasmussen, D. J., Hu, J., Mahmud, A. et Kleeman, M. J. (2013). The ozone–climate penalty: past, present, and future. *Environmental Science & Technology*, 47(24), 14258-14266. 10.1021/es403446m
- Ravanelli, N. M. et Jay, O. (2016). Electric fan use in heat waves: Turn on or turn off? *Temperature*, 3(3), 358-360.
- Ravanelli, N. M., Hodder, S. G., Havenith, G. et Jay, O. (2015). Heart rate and body temperature responses to extreme heat and humidity with and without electric fans. *JAMA*, 313(7), 724-725. 10.1001/jama.2015.153
- Raveis, V. H., VanDevanter, N., Kovner, C. T. et Gershon, R. (2017). Enabling a disaster-resilient workforce: attending to individual stress and collective trauma. *Journal of Nursing Scholarship*, 49(6), 653-660. 10.1111/jnu.12340
- RECYC-QUÉBEC. (2016). *Gaspillage alimentaire*. <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/citoyens/mieux-consommer/gaspillage-alimentaire>
- Régie de l'Énergie du Canada. (2017). *Aperçu du marché : Précarité thermique au Canada - efficacité énergétique moindre dans les ménages à plus faible revenu*. <https://www.cer-rec.gc.ca/fr/donnees-analyse/marches-energetiques/aperçu-marchés/2017/aperçu-marché-precarite-thermique-canada-efficacite-energetique-moindre-dans-menages-plus-faible-revenu.html>
- Régie du bâtiment du Québec. (s. d.). *Survol du règlement sur l'efficacité énergétique*. <https://www.rbq.gouv.qc.ca/domaines-d'intervention/batiment/la-formation/efficacite-energetique/survol-du-reglement-sur-lefficacite-energetique.html>
- Regroupement des organismes de bassins versants du Québec. (2019). *Gestion intégrée de l'eau par bassin versant. La gestion intégrée de l'eau par bassin versant - GIEBV*. <https://robvq.qc.ca/la-giebv/>
- Reid, C. E., Brauer, M., Johnston, F. H., Jerrett, M., Balmes, J. R. et Elliott, C. T. (2016). Critical review of health impacts of wildfire smoke exposure. *Environmental Health Perspectives*, 124(9), 1334.
- Reidsma, P., Oude Lansink, A. et Ewert, F. (2008). Economic impacts of climatic variability and subsidies on European agriculture and observed adaptation strategies. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 14(1), 35. 10.1007/s11027-008-9149-2
- Remley, D. T., Kaiser, M. L. et Osso, T. (2013). A case study of promoting nutrition and long-term food security through choice pantry development. *Journal of Hunger & Environmental Nutrition*, 8(3), 324-336. 10.1080/19320248.2013.819475
- Remmers, T., Thijs, C., Timperio, A., Salmon, J., Veitch, J., Kremers, S. P. J. et Ridgers, N. D. (2017). Daily weather and children's physical activity patterns. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 49(5), 922-929. 10.1249/MSS.0000000000001181
- Rengers, F. K., McGuire, L., Kean, J. W., Staley, D. M. et Hobley, D. (2016). Model simulations of flood and debris flow timing in steep catchments after wildfire. *Water Resources Research*, 52(8), 6041-6061.
- Ressources naturelles Canada. (2015). *Évacuations lors des feux de forêt*. <http://www.rncan.gc.ca/forets/changements-climatiques/changements-forestiers/17788>

- Ressources naturelles Canada. (2019). *Forêts*. <https://www.rncan.gc.ca/maps-tools-publications/tools/geodetic-reference-systems/forets/16875>
- Ressources naturelles Canada. (2020). *La santé des Canadiens et des Canadiennes dans un climat en changement*. <https://www.rncan.gc.ca/climate-change/impacts-adaptations/what-adaptation/la-sante-des-canadiens-et-des-canadiennes-dans-un-climat-en-changement/21190>
- Rezaei, M. (2017). Power to the people: thinking (and rethinking) energy poverty in British Columbia, Canada.
- Rich, J. L., Wright, S. L. et Loxton, D. (2012). 'Patience, hormone replacement therapy and rain!' Women, ageing and drought in Australia: narratives from the mid-age cohort of the Australian Longitudinal Study on Women's Health. *Australian Journal of Rural Health*, 20(6), 324-328.
- Richard, S. et Oppliger, A. (2015). Zoonotic occupational diseases in forestry workers-Lyme borreliosis, tularemia and leptospirosis in Europe. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 22(1).
- Richardson, A. S., Ghosh-Dastidar, M., Beckman, R., Flórez, K. R., DeSantis, A., Collins, R. L. et Dubowitz, T. (2017). Can the introduction of a full-service supermarket in a food desert improve residents' economic status and health? *Annals of Epidemiology*, 27(12), 771-776. 10.1016/j.annepidem.2017.10.011
- Ripoche, M., Campagna, C., Ludwig, A., Ogden, N. H. et Leighton, P. A. (2019). Short-term forecasting of daily abundance of West Nile virus vectors *Culex pipiens-restuans* (diptera: Culicidae) and *Aedes vexans* based on weather conditions in southern Québec (Canada). *Journal of Medical Entomology*, 56(3), 859-872. 10.1093/jme/tjz002
- Ripoche, M., Gasmi, S., Adam-Poupart, A., Koffi, J. K., Lindsay, L. R., Ludwig, A., Milord, F., Ogden, N. H., Thivierge, K. et Leighton, P. A. (2018). Passive tick surveillance provides an accurate early signal of emerging Lyme disease risk and human cases in southern Canada. *Journal of Medical Entomology*, 55(4), 1016-1026. 10.1093/jme/tjy030
- Roberts-Semple, D., Song, F. et Gao, Y. (2012). Seasonal characteristics of ambient nitrogen oxides and ground-level ozone in metropolitan northeastern New Jersey. *Atmospheric Pollution Research*, 3(2), 247-257. 10.5094/APR.2012.027
- Robinson, B., Sandink, D. et Lapp, D. (2019). *Reducing the risk of inflow and infiltration (I/I) in new sewer construction*. Institute for Catastrophic Loss Reduction. https://www.iclr.org/wp-content/uploads/2019/11/SCC_RPT_Norton-ICLR-EC-SCC-II-in-New-Sewer-Construction-2019-11-20_ENG.pdf
- Robitaille, É., Chaput, S. et Paquette, M.-C. (2019). *Interventions visant à modifier l'accessibilité géographique à des commerces d'alimentation et impacts sur l'alimentation et le poids corporel*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/publications/2591>
- Robson, S. M., Lozano, A. J., Papas, M. et Patterson, F. (2017). Food insecurity and cardiometabolic risk factors in adolescents. *Preventing Chronic Disease*, 14. 10.5888/pcd14.170222
- Rochat, T. S. et Janssens, J.-P. (2012). Effets secondaires systémiques et oropharyngés des corticostéroïdes inhalés. *Revue médicale suisse*, (363), 2219.

- Rocheleau, J. P., Michel, P., Lindsay, L. R., Drebot, M., Dibernardo, A., Ogden, N. H., Fortin, A. et Arsenault, J. (2017a). Characterizing environmental risk factors for West Nile virus in Quebec, Canada, using clinical data in humans and serology in pet dogs. *Epidemiology & Infection*, 145(13), 2797-2807. 10.1017/S0950268817001625
- Rocheleau, J. P., Michel, P., Lindsay, L. R., Drebot, M., Dibernardo, A., Ogden, N. H., Fortin, A. et Arsenault, J. (2017b). Emerging arboviruses in Quebec, Canada: assessing public health risk by serology in humans, horses and pet dogs. *Epidemiology and Infection*, 145(14), 2940-2948. 10.1017/S0950268817002205
- Rocklöv, J., Forsberg, B., Ebi, K. et Bellander, T. (2014). Susceptibility to mortality related to temperature and heat and cold wave duration in the population of Stockholm County, Sweden. *Global Health Action*, 7(1), 22737. 10.3402/gha.v7.22737
- Rödiger, M. et Hamm, U. (2015). How are organic food prices affecting consumer behaviour? A review. *Food Quality and Preference*, 43, 10-20. 10.1016/j.foodqual.2015.02.002
- Rojas-Rueda, D., Nieuwenhuijsen, M. J., Gascon, M., Perez-Leon, D. et Mudu, P. (2019). Green spaces and mortality: a systematic review and meta-analysis of cohort studies. *The Lancet Planetary Health*, 3(11), e469-e477. 10.1016/S2542-5196(19)30215-3
- Romps, D. M., Seeley, J. T., Vollaro, D. et Molinari, J. (2014). Projected increase in lightning strikes in the United States due to global warming. *Science*, 346(6211), 851-854. 10.1126/science.1259100
- Röös, E., Bajželj, B., Smith, P., Patel, M., Little, D. et Garnett, T. (2017). Protein futures for Western Europe: potential land use and climate impacts in 2050. *Regional Environmental Change*, 17(2), 367-377. 10.1007/s10113-016-1013-4
- Rosofsky, A., Levy, J. I., Breen, M. S., Zanobetti, A. et Fabian, M. P. (2019). The impact of air exchange rate on ambient air pollution exposure and inequalities across all residential parcels in Massachusetts. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 29(4), 520-530. 10.1038/s41370-018-0068-3
- Rosol, R., Powell-Hellyer, S. et Chan, H. M. (2016). Impacts of decline harvest of country food on nutrient intake among Inuit in Arctic Canada: impact of climate change and possible adaptation plan. *International Journal Of Circumpolar Health*, 75, 31127-31127. 10.3402/ijch.v75.31127
- Ross, A. C., Manson, J. E., Abrams, S. A., Aloia, J. F., Brannon, P. M., Clinton, S. K., Durazo-Arvizu, R. A., Gallagher, J. C., Gallo, R. L., Jones, G., Kovacs, C. S., Mayne, S. T., Rosen, C. J. et Shapses, S. A. (2011). The 2011 report on dietary reference intakes for calcium and vitamin D from the institute of medicine: what clinicians need to know. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 96(1), 53-58. 10.1210/jc.2010-2704
- Roth, S. (2020). *Research guides: systematic reviews & other review types: what is a scoping review?* University Libraries. <https://guides.temple.edu/c.php?g=78618&p=4156607>
- Rouquette, A., Mandereau-Bruno, L., Baffert, E., Laaidi, K., Josseran, L. et Isnard, H. (2011). Surveillance hivernale des effets du froid sur la santé des populations sans-domicile en région Île-de-France : utilisation des données du réseau d'Organisation de la surveillance coordonnée des urgences (Oscour®). *Revue d'épidémiologie et de santé publique*, 59(6), 359-368. 10.1016/j.respe.2011.05.006
- Rowe, D. B. (2011). Green roofs as a means of pollution abatement. *Environmental Pollution*, 159(8), 2100-2110. 10.1016/j.envpol.2010.10.029

- Roy-Dufresne, E., Logan, T., Simon, J. A., Chmura, G. L. et 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. 10.1371/journal.pone.0080724
- Rucker, D., Allan, J. A., Fick, G. H. et Hanley, D. A. (2002). Vitamin D insufficiency in a population of healthy western Canadians. *CMAJ*, 166(12), 1517-1524.
- Rufat, S., Tate, E., Burton, C. G. et Maroof, A. S. (2015). Social vulnerability to floods: Review of case studies and implications for measurement. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 14, 470-486. 10.1016/j.ijdrr.2015.09.013
- Rugel, E. J., Carpiano, R. M., Henderson, S. B. et Brauer, M. (2019). Exposure to natural space, sense of community belonging, and adverse mental health outcomes across an urban region. *Environmental Research*, 171, 365-377. 10.1016/j.envres.2019.01.034
- Ruiz, M. O., Chaves, L. F., Hamer, G. L., Sun, T., Brown, W. M., Walker, E. D., Haramis, L., Goldberg, T. L. et Kitron, U. D. (2010). Local impact of temperature and precipitation on West Nile virus infection in *Culex* species mosquitoes in northeast Illinois, USA. *Parasites & Vectors*, 3(1), 19. 10.1186/1756-3305-3-19
- Ryan, B. J., Franklin, R. C., Burkle, F. M., Watt, K., Aitken, P., Smith, E. C. et Leggat, P. (2016). Defining, describing, and categorizing public health infrastructure priorities for tropical cyclone, flood, storm, tornado, and tsunami-related disasters. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 10(4), 598-610.
- Ryti, N. R. I., Guo, Y. et Jaakkola, J. J. K. (2016). Global association of cold spells and adverse health effects: a systematic review and meta-analysis. *Environmental Health Perspectives*, 124(1), 12-22. 10.1289/ehp.1408104
- Rzehak, P., Wijga, A. H., Keil, T., Eller, E., Bindeslev-Jensen, C., Smit, H. A., Weyler, J., Dom, S., Sunyer, J., Mendez, M., Torrent, M., Vall, O., Bauer, C.-P., Berdel, D., Schaaf, B., Chen, C.-M., Bergström, A., Fantini, M. P., Mommers, M., ... Heinrich, J. (2013). Body mass index trajectory classes and incident asthma in childhood: Results from 8 European Birth Cohorts—a Global Allergy and Asthma European Network initiative. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 131(6), 1528-1536.e13. 10.1016/j.jaci.2013.01.001
- Saberian, S., Heyes, A. et Rivers, N. (2017). Alerts work! Air quality warnings and cycling. *Resource and Energy Economics*, 49, 165-185.
- Safieddine, S., Clerbaux, C., George, M., Hadji-Lazaro, J., Hurtmans, D., Coheur, P.-F., Wespes, C., Loyola, D., Valks, P. et Hao, N. (2013). Tropospheric ozone and nitrogen dioxide measurements in urban and rural regions as seen by IASI and GOME-2. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(18), 10,555-10,566. 10.1002/jgrd.50669
- Sahni, V., Scott, A. N., Beliveau, M., Varughese, M., Dover, D. C. et Talbot, J. (2016). Public health surveillance response following the southern Alberta floods, 2013. *Canadian Journal of Public Health*, 107(2), e142-e148. 10.17269/cjph.107.5188
- Sailor, D. J., Elley, T. B. et Gibson, M. (2012). Exploring the building energy impacts of green roof design decisions – a modeling study of buildings in four distinct climates. *Journal of Building Physics*, 35(4), 372-391. 10.1177/1744259111420076
- Sakamoto, R. (2015). Legionnaire's disease, weather and climate. *Bulletin of the World Health Organization*, 93(6), 435-436. 10.2471/BLT.14.142299

- Salamanca, F., Georgescu, M., Mahalov, A., Moustou, M. et Wang, M. (2014). Anthropogenic heating of the urban environment due to air conditioning. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119(10), 5949-5965. 10.1002/2013JD021225
- Salizzoni, P., Soulhac, L. et Mejean, P. (2009). Street canyon ventilation and atmospheric turbulence. *Atmospheric Environment*, 43(32), 5056-5067.
- Salvador, C., Nieto, R., Linares, C., Díaz, J. et Gimeno, L. (2019). Effects on daily mortality of droughts in Galicia (NW Spain) from 1983 to 2013. *Science of The Total Environment*, 662, 121-133. 10.1016/j.scitotenv.2019.01.217
- Salvador, C., Nieto, R., Linares, C., Díaz, J. et Gimeno, L. (2020a). Effects of droughts on health: diagnosis, repercussion, and adaptation in vulnerable regions under climate change. Challenges for future research. *Science of The Total Environment*, 703, 134912. 10.1016/j.scitotenv.2019.134912
- Salvador, C., Nieto, R., Linares, C., Díaz, J. et Gimeno, L. (2020b). Quantification of the effects of droughts on daily mortality in Spain at different timescales at regional and national levels: a meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(17), 6114. 10.3390/ijerph17176114
- Sampson, N. R., Gronlund, C. J., Buxton, M. A., Catalano, L., White-Newsome, J. L., Conlon, K. C., O'Neill, M. S., McCormick, S. et Parker, E. A. (2013). Staying cool in a changing climate: reaching vulnerable populations during heat events. *Global Environmental Change*, 23(2), 475-484. 10.1016/j.gloenvcha.2012.12.011
- Sanchez, E., Vannier, E., Wormser, G. P. et Hu, L. T. (2016). Diagnosis, treatment, and prevention of Lyme disease, human granulocytic anaplasmosis, and babesiosis: a review. *JAMA*, 315(16), 1767-1777. 10.1001/jama.2016.2884
- Sandhu, P. K., Elder, R., Patel, M., Saraiya, M., Holman, D. M., Perna, F., Smith, R. A., Buller, D., Sinclair, C., Reeder, A., Makin, J., McNoe, B. et Glanz, K. (2016). Community-based interventions to prevent skin cancer: two community guide systematic reviews. *American journal of preventive medicine*, 51(4), 531-539. 10.1016/j.amepre.2016.03.020
- Sandink, D. (2013). *Urban flooding in Canada: lot-side risk reduction through voluntary retrofit programs, code interpretation and by-laws*. Institute for Catastrophic Loss Reduction.
- Sandink, D., Kopp, G., Stevenson, S. et Dale, N. (2019). *Améliorer la résistance des résidences canadiennes aux vents violents: document de base pour les bâtiments résidentiels de faible hauteur et les petits bâtiments*. Institut de prévention des sinistres catastrophiques.
- Sandink, D., Kovacs, P., Oulahan, G. et McGillivray, G. (2010). *Rendre les inondations assurables pour les propriétaires canadiens*. Institut de prévention des sinistres catastrophiques.
- Sansone, R. A. et Sansone, L. A. (2011). Allergic rhinitis: relationships with anxiety and mood syndromes. *Innovations in Clinical Neuroscience*, 8(7), 12.
- Santamouris, M. (2014). Cooling the cities—a review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy*, 103, 682-703.
- Santé Canada. (2011). *Extreme heat events guidelines: technical guide for health care workers*.

Santé Canada. (2018). *Sécurité au soleil*. <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/secureite-soleil.html>

Santé Canada. (2019a). *Les impacts sur la santé de la pollution de l'air au Canada - Estimation de la morbidité et des décès prématurés - Rapport 2019*. <http://publications.gc.ca/site/eng/9.874082/publication.html>

Santé Canada. (2019b). *Mise à jour sur un produit de consommation : Avez-vous examiné votre brosse à barbecue en métal récemment?* <https://www.canadiensensante.gc.ca/recall-alert-rappel-avis/hc-sc/2019/70033a-fra.php>

Saraiya, M., Glanz, K., Briss, P. A., Nichols, P., White, C., Das, D., Smith, S. J., Tannor, B., Hutchinson, A. B., Wilson, K. M., Gandhi, N., Lee, N. C., Rimer, B., Coates, R. C., Kerner, J. F., Hiatt, R. A., Buffler, P. et Rochester, P. (2004). Interventions to prevent skin cancer by reducing exposure to ultraviolet radiation: a systematic review. *American Journal of Preventive Medicine*, 27(5), 422-466. 10.1016/j.amepre.2004.08.009

Sario, M. D., Katsouyanni, K. et Michelozzi, P. (2013). Climate change, extreme weather events, air pollution and respiratory health in Europe. *European Respiratory Journal*, 42(3), 826-843. 10.1183/09031936.00074712

Sartini, C., Barry, S. J. E., Wannamethee, S. G., Whincup, P. H., Lennon, L., Ford, I. et Morris, R. W. (2016). Effect of cold spells and their modifiers on cardiovascular disease events: Evidence from two prospective studies. *International Journal of Cardiology*, 218, 275-283. 10.1016/j.ijcard.2016.05.012

Sartore, G., Kelly, B., Stain, H. J., Fuller, J., Fragar, L. et Tonna, A. (2008). Improving mental health capacity in rural communities: Mental health first aid delivery in drought-affected rural New South Wales. *Australian Journal of Rural Health*, 16(5), 313-318.

Saulnier, D. D., Ribacke, K. B. et von Schreeb, J. (2017). No calm after the storm: a systematic review of human health following flood and storm disasters. *Prehospital and Disaster Medicine*, 32(5), 568-579.

Scallan, E., Crim, S. M., Runkle, A., Henao, O. L., Mahon, B. E., Hoekstra, R. M. et Griffin, P. M. (2015). Bacterial enteric infections among older adults in the United States: foodborne diseases active surveillance network, 1996–2012. *Foodborne Pathogens and Disease*, 12(6), 492-499. 10.1089/fpd.2014.1915

Schanes, K., Dobernic, K. et Gözet, B. (2018). Food waste matters - A systematic review of household food waste practices and their policy implications. *Journal of Cleaner Production*, 182, 978-991. 10.1016/j.jclepro.2018.02.030

Schmeltz, M. T., Sembajwe, G., Marcotullio, P. J., Grassman, J. A., Himmelstein, D. U. et Woolhandler, S. (2015). Identifying individual risk factors and documenting the pattern of heat-related illness through analyses of hospitalization and patterns of household cooling. *PLOS ONE*, 10(3), e0118958. 10.1371/journal.pone.0118958

Schmidt, L., Shore-Sheppard, L. et Watson, T. (2016). The effect of safety-net programs on food insecurity. *Journal of Human Resources*, 51(3), 589-614. 10.3368/jhr.51.3.1013-5987R1

Schmier, J. K. et Ebi, K. L. (2009). The impact of climate change and aeroallergens on children's health. *Allergy & Asthma proceedings*, 30(3), 229-337. 10.2500/aap.2009.30.3229

- Schmitt, J., Seidler, A., Diepgen, T. I. et Bauer, A. (2011). Occupational ultraviolet light exposure increases the risk for the development of cutaneous squamous cell carcinoma: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Dermatology*, 164(2), 291-307. 10.1111/j.1365-2133.2010.10118.x
- Schnell, J. L. et Prather, M. J. (2017). Co-occurrence of extremes in surface ozone, particulate matter, and temperature over eastern North America. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(11), 2854-2859. 10.1073/pnas.1614453114
- Schoefer, Y., Schäfer, T., Meisinger, C., Wichmann, H.-E. et Heinrich, J. (2008). Predictivity of allergic sensitization (RAST) for the onset of allergic diseases in adults. *Allergy*, 63(1), 81-86. 10.1111/j.1398-9995.2007.01517.x
- Schraufnagel, D. E., Balmes, J. R., Cowl, C. T., De Matteis, S., Jung, S.-H., Mortimer, K., Perez-Padilla, R., Rice, M. B., Riojas-Rodriguez, H. et Sood, A. (2019). Air pollution and noncommunicable diseases: a review by the Forum of International Respiratory Societies' Environmental Committee, Part 2: Air pollution and organ systems. *Chest*, 155(2), 417-426.
- Schuster, P. F., Schaefer, K. M., Aiken, G. R., Antweiler, R. C., Dewild, J. F., Gryzniec, J. D., Gusmeroli, A., Hugelius, G., Jafarov, E., Krabbenhoft, D. P., Liu, L., Herman-Mercer, N., Mu, C., Roth, D. A., Schaefer, T., Striegl, R. G., Wickland, K. P. et Zhang, T. (2018). Permafrost stores a globally significant amount of mercury. *Geophysical Research Letters*, 45(3), 1463-1471. 10.1002/2017GL075571
- Schweitzer, M. D., Calzadilla, A. S., Salamo, O., Sharifi, A., Kumar, N., Holt, G., Campos, M. et Mirsaeidi, M. (2018). Lung health in era of climate change and dust storms. *Environmental Research*, 163, 36-42.
- Scobie, A., Kanagarajah, S., Harris, R. J., Byrne, L., Amar, C., Grant, K. et Godbole, G. (2019). Mortality risk factors for listeriosis - A 10 year review of non-pregnancy associated cases in England 2006-2015. *Journal of Infection*, 78(3), 208-214. 10.1016/j.jinf.2018.11.007
- Sécurité publique Canada. (2015). *Tornades*. <https://www.securitepublique.gc.ca/cnt/mrgnc-mngmnt/ntrl-hzrds/trnd-fr.aspx>
- Sécurité publique Canada. (2019a). *Base de données canadienne sur les catastrophes*. <https://bdc.securitepublique.gc.ca/srchpg-fra.aspx?dynamic=false>
- Sécurité publique Canada. (2019b). *Programme national d'atténuation des catastrophes (PNAC)*. <https://www.securitepublique.gc.ca/cnt/mrgnc-mngmnt/dsstr-prvntn-mtgn/ndmp/index-fr.aspx>
- Segovia-Siapco, G. et Sabaté, J. (2019). Health and sustainability outcomes of vegetarian dietary patterns: a revisit of the EPIC-Oxford and the Adventist Health Study-2 cohorts. *European Journal of Clinical Nutrition*, 72(1), 60-70. 10.1038/s41430-018-0310-z
- Séguin, J., Berry, P., Bouchet, V., Clarke, K.-L., Furgal, C., Environmental, I. et MacIver, D. (2008). *Human health in a changing climate: a Canadian assessment of vulnerabilities and adaptive capacity*. Health Canada.
- Sekerková, A. et Poláčková, M. (2011). Detection of Bet v1, Bet v2 and Bet v4 specific IgE antibodies in the sera of children and adult patients allergic to birch pollen: evaluation of different IgE reactivity profiles depending on age and local sensitization. *International Archives of Allergy and Immunology*, 154(4), 278-285. 10.1159/000321819

- Seligman, H. K., Jacobs, E. A., López, A., Tschann, J. et Fernandez, A. (2012). Food insecurity and glycemic control among low-income patients with type 2 diabetes. *Diabetes Care*, 35(2), 233-238. 10.2337/dc11-1627
- Selin, N. E., Wu, S., Nam, K. M., Reilly, J. M., Paltsev, S., Prinn, R. G. et Webster, M. D. (2009). Global health and economic impacts of future ozone pollution. *Environmental Research Letters*, 4(4), 044014. 10.1088/1748-9326/4/4/044014
- Semenza, J. C., Wilson, D. J., Parra, J., Bontempo, B. D., Hart, M., Sailor, D. J. et George, L. A. (2008). Public perception and behavior change in relationship to hot weather and air pollution. *Environmental Research*, 107(3), 401-411. 10.1016/j.envres.2008.03.005
- Sera, F., Armstrong, B., Tobias, A., Vicedo-Cabrera, A. M., Åström, C., Bell, M. L., Chen, B.-Y., de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, M., Matus Correa, P., Cruz, J. C., Dang, T. N., Hurtado-Diaz, M., Do Van, D., Forsberg, B., Guo, Y. L., Guo, Y., Hashizume, M., Honda, Y., Iñiguez, C., ... Gasparrini, A. (2019). How urban characteristics affect vulnerability to heat and cold: a multi-country analysis. *International Journal of Epidemiology*, 48(4), 1101-1112. 10.1093/ije/dyz008
- Sera, F., Hashizume, M., Honda, Y., Lavigne, É., Schwartz, J., Zanobetti, A., Tobias, A., Iñiguez, C., Vicedo-Cabrera, A. M., Blangiardo, M., Armstrong, B. et Gasparrini, A. (2020). Air conditioning and heat-related mortality: a multi-country longitudinal study. *Epidemiology*, 31(6), 779-787. 10.1097/EDE.0000000000001241
- Seufert, V., Ramankutty, N. et Foley, J. A. (2012). Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature*, 485(7397), 229-232. 10.1038/nature11069
- Seves, S. M., Verkaik-Kloosterman, J., Biesbroek, S. et Temme, E. H. (2017). Are more environmentally sustainable diets with less meat and dairy nutritionally adequate? *Public Health Nutrition*, 20(11), 2050-2062. 10.1017/S1368980017000763
- Shah, A. S. V., Lee, K. K., McAllister, D. A., Hunter, A., Nair, H., Whiteley, W., Langrish, J. P., Newby, D. E. et Mills, N. L. (2015). Short term exposure to air pollution and stroke: systematic review and meta-analysis. *BMJ*, 350. 10.1136/bmj.h1295
- Shah, A. S., Langrish, J. P., Nair, H., McAllister, D. A., Hunter, A. L., Donaldson, K., Newby, D. E. et Mills, N. L. (2013). Global association of air pollution and heart failure: a systematic review and meta-analysis. *The Lancet*, 382(9897), 1039-1048. 10.1016/S0140-6736(13)60898-3
- Shahhosseini, N., Wong, G., Frederick, C. et Kobinger, G. P. (2020). Mosquito species composition and abundance in Quebec, eastern Canada. *Journal of Medical Entomology*, 57(4). 10.1093/jme/tjaa020
- Shaman, J. et Kohn, M. (2009). Absolute humidity modulates influenza survival, transmission, and seasonality. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(9), 3243-3248.
- Shankar, M. B., Staples, J. E., Meltzer, M. I. et Fischer, M. (2017). Cost effectiveness of a targeted age-based West Nile virus vaccination program. *Vaccine*, 35(23), 3143-3151. 10.1016/j.vaccine.2016.11.078
- Sharma, S., Blagrove, K., Watson, S. R., O'Reilly, C. M., Batt, R., Magnuson, J. J., Clemens, T., Denfeld, B. A., Flaim, G., Grinberga, L., Hori, Y., Laas, A., Knoll, L. B., Straile, D., Takamura, N. et Weyhenmeyer, G. A. (2020). Increased winter drownings in ice-covered regions with warmer winters. *PLOS ONE*, 15(11), e0241222. 10.1371/journal.pone.0241222

- Sharpe, T., Farren, P., Howieson, S., Tuohy, P. et McQuillan, J. (2015). Occupant interactions and effectiveness of natural ventilation strategies in contemporary new housing in Scotland, UK. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(7), 8480-8497. 10.3390/ijerph120708480
- Sheffield, P. E., Weinberger, K. R. et Kinney, P. L. (2011). Climate change, aeroallergens, and pediatric allergic disease. *Mount Sinai Journal of Medicine*, 78(1), 78-84. 10.1002/msj.20232
- Shepon, A., Eshel, G., Noor, E. et Milo, R. (2016). Energy and protein feed-to-food conversion efficiencies in the US and potential food security gains from dietary changes. *Environmental Research Letters*, 11(10), 105002. 10.1088/1748-9326/11/10/105002
- Shepon, A., Eshel, G., Noor, E. et Milo, R. (2018). The opportunity cost of animal based diets exceeds all food losses. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(15), 3804-3809. 10.1073/pnas.1713820115
- Shewmake, S. (2012). Can carpooling clear the road and clean the air?: Evidence from the literature on the impact of HOV lanes on VMT and air pollution. *Journal of Planning Literature*, 27(4), 363-374. 10.1177/0885412212451028
- Shin, H. H., Burr, W. S., Stieb, D., Haque, L., Kalayci, H., Jovic, B. et Smith-Doiron, M. (2018). Air health trend indicator: association between short-term exposure to ground ozone and circulatory hospitalizations in Canada for 17 years, 1996–2012. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(8). 10.3390/ijerph15081566
- Shindell, D. T., Lee, Y. et Faluvegi, G. (2016). Climate and health impacts of US emissions reductions consistent with 2 °C. *Nature Climate Change*, 6(5), 503-507. 10.1038/nclimate2935
- Shore, S. A. (2008). Obesity and asthma: possible mechanisms. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 121(5), 1087-1093. 10.1016/j.jaci.2008.03.004
- Shore-Lorenti, C., Brennan, S. L., Sanders, K. M., Neale, R. E., Lucas, R. M. et Ebeling, P. R. (2014). Shining the light on sunshine: a systematic review of the influence of sun exposure on type 2 diabetes mellitus-related outcomes. *Clinical Endocrinology*, 81(6), 799-811. 10.1111/cen.12567
- Siegner, A., Sowerwine, J. et Acey, C. (2018). Does urban agriculture improve food security? Examining the nexus of food access and distribution of urban produced foods in the United States: a systematic review. *Sustainability*, 10(9), 2988. 10.3390/su10092988
- Sierra-Heredia, C., North, M., Brook, J., Daly, C., Ellis, A. K., Henderson, D., Henderson, S. B., Lavigne, É. et Takaro, T. K. (2018). Aeroallergens in Canada: distribution, public health impacts, and opportunities for prevention. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(8). 10.3390/ijerph15081577
- Silanikove, N. et Koluman, N. (2015). Impact of climate change on the dairy industry in temperate zones: Predications on the overall negative impact and on the positive role of dairy goats in adaptation to earth warming. *Small Ruminant Research*, 123(1), 27-34. 10.1016/j.smallrumres.2014.11.005
- Sillmann, J., Kharin, V., Zwiers, F., Zhang, X. et Bronaugh, D. (2013). Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 2. Future climate projections. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(6), 2473-2493.

- Silva, R. A., West, J. J., Lamarque, J.-F., Shindell, D. T., Collins, W. J., Faluvegi, G., Folberth, G. A., Horowitz, L. W., Nagashima, T. et Naik, V. (2017). Future global mortality from changes in air pollution attributable to climate change. *Nature Climate Change*, 7(9), 647.
- Silver, A. et Grek-Martin, J. (2015). "Now we understand what community really means": Reconceptualizing the role of sense of place in the disaster recovery process. *Journal of Environmental Psychology*, 42, 32-41.
- Simard, M.-J. et Benoit, D. L. (2011). Effect of repetitive mowing on common ragweed (*Ambrosia Artemissifolia* L.) pollen and seed production. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 18(1).
- Simon, A., Aenishaenslin, C., Hongoh, V. et Lowe, A.-M. (2018). *Priorisation des zoonoses au Québec dans un contexte d'adaptation aux changements climatiques à l'aide d'un outil d'aide à la décision multicritère*. Institut national de santé publique du Québec.
- Simon, A., Bélanger, D. et Leighton, P. A. (2014). *La rage dans les populations de renards au nord du 55e parallèle et les effets potentiels des changements climatiques*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/node/4125>
- Simon, J. A., Marrotte, R. R., Desrosiers, N., Fiset, J., Gaitan, J., Gonzalez, A., Koffi, J. K., Lapointe, F.-J., Leighton, P. A., Lindsay, L. R., Logan, T., Milord, F., Ogden, N. H., Rogic, A., Roy-Dufresne, E., Suter, D., Tessier, N. et Millien, V. (2014). Climate change and habitat fragmentation drive the occurrence of *Borrelia burgdorferi*, the agent of Lyme disease, at the northeastern limit of its distribution. *Evolutionary Applications*, 7(7), 750-764. 10.1111/eva.12165
- Simoni, M., Baldacci, S., Maio, S., Cerrai, S., Sarno, G. et Viegi, G. (2015). Adverse effects of outdoor pollution in the elderly. *Journal of Thoracic Disease*, 7(1), 34-45. 10.3978/j.issn.2072-1439.2014.12.10
- Simpson, S., van der Mei, I., Lucas, R. M., Ponsonby, A.-L., Broadley, S., Blizzard, L. et Taylor, B. (2018). Sun exposure across the life course significantly modulates early multiple sclerosis clinical course. *Frontiers in Neurology*, 9, 16. 10.3389/fneur.2018.00016
- Sinclair, R. G., Jones, E. L. et Gerba, C. P. (2009). Viruses in recreational water-borne disease outbreaks: a review. *Journal of Applied Microbiology*, 107(6), 1769-1780. 10.1111/j.1365-2672.2009.04367.x
- Singh, S. et Loke, Y. K. (2010). An overview of the benefits and drawbacks of inhaled corticosteroids in chronic obstructive pulmonary disease. *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, 5, 189-195.
- Sinickas, A., Jamieson, B. et Maes, M. A. (2016). Snow avalanches in western Canada: investigating change in occurrence rates and implications for risk assessment and mitigation. *Structure and Infrastructure Engineering*, 12(4), 490-498. 10.1080/15732479.2015.1020495
- Siriwardhana, C. et Stewart, R. (2013). Forced migration and mental health: prolonged internal displacement, return migration and resilience. *International Health*, 5(1), 19-23. 10.1093/inthealth/ihs014
- Sittaro, F., Paquette, A., Messier, C. et Nock, C. A. (2017). Tree range expansion in eastern North America fails to keep pace with climate warming at northern range limits. *Global Change Biology*, 23(8), 3292-3301. 10.1111/gcb.13622

- Sloka, J., Pryse-Phillips, W. et Stefanelli, M. (2008). The relation of ultraviolet radiation and multiple sclerosis in Newfoundland. *Canadian Journal of Neurological Sciences*, 35(1), 69-74.
- Slovic, A. D., de Oliveira, M. A., Biehl, J. et Ribeiro, H. (2016). How can urban policies improve air quality and help mitigate global climate change: a systematic mapping review. *Journal of Urban Health : Bulletin of the New York Academy of Medicine*, 93(1), 73-95. 10.1007/s11524-015-0007-8
- Smargiassi, A., Goldberg, M. S., Plante, C., Fournier, M., Baudouin, Y. et Kosatsky, T. (2009). Variation of daily warm season mortality as a function of micro-urban heat islands. *Journal of Epidemiology & Community Health*, jech-2008.
- Smith, H. G., Sheridan, G. J., Lane, P. N., Nyman, P. et Haydon, S. (2011). Wildfire effects on water quality in forest catchments: a review with implications for water supply. *Journal of Hydrology*, 396(1-2), 170-192.
- Société canadienne du cancer. (2019). *Publications*. <https://www.cancer.ca/fr-ca/support-and-services/resources/publications/?region=qc>
- Sole, A. E., Emery, C. A., Hagel, B. E. et Morrongiello, B. A. (2010). Risk taking in avalanche terrain: a study of the human factor contribution. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 20(6), 445-451.
- Sonenshine, D. E. (2018). Range expansion of tick disease vectors in North America: implications for spread of tick-borne disease. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(3), 478. 10.3390/ijerph15030478
- Song, X., Wang, S., Hu, Y., Yue, M., Zhang, T., Liu, Y., Tian, J. et Shang, K. (2017). Impact of ambient temperature on morbidity and mortality: An overview of reviews. *Science of the Total Environment*, 586, 241-254. 10.1016/j.scitotenv.2017.01.212
- Sorensen, A., van Beest, F. M. et Brook, R. K. (2014). Impacts of wildlife baiting and supplemental feeding on infectious disease transmission risk: a synthesis of knowledge. *Preventive Veterinary Medicine*, 113(4), 356-363. 10.1016/j.prevetmed.2013.11.010
- Soteriades, E. S., Smith, D. L., Tsismenakis, A. J., Baur, D. M. et Kales, S. N. (2011). Cardiovascular disease in US firefighters: a systematic review. *Cardiology in Review*, 19(4), 202-215. 10.1097/CRD.0b013e318215c105
- Speak, A. F., Rothwell, J. J., Lindley, S. J. et Smith, C. L. (2012). Urban particulate pollution reduction by four species of green roof vegetation in a UK city. *Atmospheric Environment*, 61, 283-293. 10.1016/j.atmosenv.2012.07.043
- Spiru, P. et Simona, P. L. (2017). A review on interactions between energy performance of the buildings, outdoor air pollution and the indoor air quality. *Energy Procedia*, 128, 179-186. 10.1016/j.egypro.2017.09.039
- Springmann, M., Mason-D'Croz, D., Robinson, S., Garnett, T., Godfray, H. C. J., Gollin, D., Rayner, M., Ballon, P. et Scarborough, P. (2016). Global and regional health effects of future food production under climate change: a modelling study. *The Lancet*, 387(10031), 1937-1946. 10.1016/S0140-6736(15)01156-3
- Springmann, M., Wiebe, K., Mason-D'Croz, D., Sulser, T. B., Rayner, M. et Scarborough, P. (2018). Health and nutritional aspects of sustainable diet strategies and their association with environmental impacts: a global modelling analysis with country-level detail. *The Lancet Planetary Health*, 2(10), e451-e461. 10.1016/S2542-5196(18)30206-7

- Srouf, B., Fezeu, L. K., Kesse-Guyot, E., Allès, B., Méjean, C., Andrianasolo, R. M., Chazelas, E., Deschasaux, M., Hercberg, S., Galan, P., Monteiro, C. A., Julia, C. et Touvier, M. (2019). Ultra-processed food intake and risk of cardiovascular disease: prospective cohort study (NutriNet-Santé). *BMJ*, 365, l1451. 10.1136/bmj.l1451
- Stanke, C., Kerac, M., Prudhomme, C., Medlock, J. et Murray, V. (2013). Health effects of drought: a systematic review of the evidence. *PLoS currents*, 5.
- Stares, J., DuTeaux, S., Erland, R. et Mazey, P. (2014). *Evidence review: use of evacuation to protect public health during wildfire smoke events*. BC Center for Disease Control.
- Statistique Canada. (2013). *Insécurité alimentaire des ménages, 2011-2012*. <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/82-625-x/2013001/article/11889-fra.htm>
- Statistique Canada. (2015). *Changements dans la prévalence de l'asthme chez les enfants au Canada*. <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/82-003-x/2008002/article/10551/5202470-fra.htm>
- Statistique Canada. (2017). *L'Enquête sur les ménages et l'environnement, la principale source d'eau du logement*. <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3810027401>
- Statistique Canada. (2019). *Climatiseurs*. <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3810001901>
- Stephani, E., Fortier, D., Shur, Y., Fortier, R. et Doré, G. (2014). A geosystems approach to permafrost investigations for engineering applications, an example from a road stabilization experiment, Beaver Creek, Yukon, Canada. *Cold Regions Science and Technology*, 100, 20-35. 10.1016/j.coldregions.2013.12.006
- Sterk, A., Schijven, J., de Nijs, T. et Husman, A. M. de R. (2013). Direct and indirect effects of climate change on the risk of infection by water-transmitted pathogens. *Environmental Science & Technology*, 47(22), 12648-12660. 10.1021/es403549s
- Sterk, A., Schijven, J., de Roda Husman, A. M. et de Nijs, T. (2016). Effect of climate change on runoff of *Campylobacter* and *Cryptosporidium* from land to surface water. *Water Research*, 95, 90-102. 10.1016/j.watres.2016.03.005
- Stevens, M. R. et Hanschka, S. (2014). Multilevel governance of flood hazards: municipal flood bylaws in British Columbia, Canada. *Natural Hazards Review*, 15(1), 74-87.
- Stevenson, M., Thompson, J., de Sa, T.H., Ewing, R., Mohan, D., McClure, R., Roberts, I., Tiwari, G., Giles-Corti, B., Sallis, J., Sun, X., Wallace, M. et Woodcock, J. (2016). Land-use, transport and population health: estimating the health benefits of compact cities. *Lancet*, 388(10062), 2925-2935. 10.1016/S0140-6736(16)30067-8
- Stewart, I. D. (2011). A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature. *International Journal of Climatology*, 31(2), 200-217. 10.1002/joc.2141
- Stewart, S., Keates, A. K., Redfern, A. et McMurray, J. J. V. (2017). Seasonal variations in cardiovascular disease. *Nature Reviews Cardiology*, 14(11), 654-664. 10.1038/nrcardio.2017.76
- St-Hilaire, André. (2019). *Modélisation de scénarios futurs de température de l'eau en milieu côtier et implications sur les infections potentielles par *Vibrio Parahaemolyticus* et *Vibrio Vulnificus*: application aux bancs coquilliers de l'estuaire et du Golfe du St-Laurent*. Ouranos.

- St-Hilaire, Annie, Steiger, H., Liu, A., Laplante, D. P., Thaler, L., Magill, T. et King, S. (2015). A prospective study of effects of prenatal maternal stress on later eating-disorder manifestations in affected offspring: Preliminary indications based on the project ice storm cohort. *International Journal of Eating Disorders*, 48(5), 512-516.
- Stieb, D. M., Chen, L., Beckerman, B. S., Jerrett, M., Crouse, D. L., Omariba, D. W. R., Peters, P. A., van Donkelaar, A., Martin, R. V. et Burnett, R. T. (2016). Associations of pregnancy outcomes and PM2.5 in a national Canadian study. *Environmental Health Perspectives*, 124(2), 243-249.
- St-Marseille, A.-F. G., Belair, G., Brodeur, J., Bourgeois, G. et Mimee, B. (2015). Impact of climate change on molecular interactions between the soybean cyst nematode (*Heterodera glycines*) and its main host, soy (*Glycine max*). *Phytoprotection*, 95(1), 41-47. 10.7202/1035304ar
- Stone, B., Hess, J. J. et Frumkin, H. (2010). Urban form and extreme heat events: are sprawling cities more vulnerable to climate change than compact cities? *Environmental Health Perspectives*, 118(10), 1425-1428. 10.1289/ehp.0901879
- Stone, B., Vargo, J., Liu, P., Habeeb, D., DeLucia, A., Trail, M., Hu, Y. et Russell, A. (2014). Avoided heat-related mortality through climate adaptation strategies in three US cities. *Plos One*, 9(6), e100852. 10.1371/journal.pone.0100852
- Straif, K., Fletcher, T., Cohen, A., Greenbaum, D. S., Samet, J. M. et Heinrich, U. (2013). *Air pollution and cancer* (n° 161). International Agency for Research on Cancer.
- Strand, L. B., Barnett, A. G. et Tong, S. (2011). The influence of season and ambient temperature on birth outcomes: A review of the epidemiological literature. *Environmental Research*, 111(3), 451-462. 10.1016/j.envres.2011.01.023
- Strosnider, H. (2017). Rural and urban differences in air quality, 2008–2012, and community drinking water quality, 2010–2015 — United States. *Surveillance Summaries*, 66. 10.15585/mmwr.ss6613a1
- Sugg, M., Runkle, J., Leeper, R., Bagli, H., Golden, A., Handwerger, L. H., Magee, T., Moreno, C., Reed-Kelly, R., Taylor, M. et Woolard, S. (2020). A scoping review of drought impacts on health and society in North America. *Climatic Change*. 10.1007/s10584-020-02848-6
- Sun, S., Spangler, K. R., Weinberger, K. R., Yanosky, J. D., Braun, J. M. et Wellenius, G. A. (2019). Ambient temperature and markers of fetal growth: a retrospective observational study of 29 million U.S. singleton births. *Environmental Health Perspectives*, 127(6), 67005. 10.1289/EHP4648
- Sun, S., Weinberger, K. R., Spangler, K. R., Eliot, M. N., Braun, J. M. et Wellenius, G. A. (2019). Ambient temperature and preterm birth: a retrospective study of 32 million US singleton births. *Environment International*, 126, 7-13. 10.1016/j.envint.2019.02.023
- Sun, X., Waller, A., Yeatts, K. B. et Thie, L. (2016). Pollen concentration and asthma exacerbations in Wake County, North Carolina, 2006–2012. *Science of The Total Environment*, 544, 185-191. 10.1016/j.scitotenv.2015.11.100
- Sun, Z., Chen, C., Xu, D. et Li, T. (2018). Effects of ambient temperature on myocardial infarction: A systematic review and meta-analysis. *Environmental Pollution*, 241, 1106-1114. 10.1016/j.envpol.2018.06.045
- Sutherland, L.-A. et Glendinning, T. (2008). Farm family coping with stress: the impact of the 1998 ice storm. *Journal of Comparative Family Studies*, 39(4), 527-543.

- Szyszkowicz, M. et Kousha, T. (2014). Emergency department visits for asthma in relation to the Air Quality Health Index: A case-crossover study in Windsor, Canada. *Canadian Journal of Public Health*, 105(5), E336-E341.
- Tainio, M., de Nazelle, A. J., Götschi, T., Kahlmeier, S., Rojas-Rueda, D., Nieuwenhuijsen, M. J., de Sá, T. H., Kelly, P. et Woodcock, J. (2016). Can air pollution negate the health benefits of cycling and walking? *Preventive Medicine*, 87, 233-236. 10.1016/j.ypmed.2016.02.002
- Tairou, F., Gauvin, D., Laliberté, C., Gingras, S. et Levallois, P. (2011). *Étude de l'observance des avis d'ébullition dans la population québécoise*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/node/3584>
- Taleghani, M. (2018). Outdoor thermal comfort by different heat mitigation strategies- A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 2011-2018. 10.1016/j.rser.2017.06.010
- Taleghani, M., Sailor, D. et Ban-Weiss, G. A. (2016). Micrometeorological simulations to predict the impacts of heat mitigation strategies on pedestrian thermal comfort in a Los Angeles neighborhood. *Environmental Research Letters*, 11(2), 024003. 10.1088/1748-9326/11/2/024003
- Tallis, M., Taylor, G., Sinnett, D. et Freer-Smith, P. (2011). Estimating the removal of atmospheric particulate pollution by the urban tree canopy of London, under current and future environments. *Landscape and Urban Planning*, 103(2), 129-138. 10.1016/j.landurbplan.2011.07.003
- Tan, J., Zheng, Y., Tang, X., Guo, C., Li, L., Song, G., Zhen, X., Yuan, D., Kalkstein, A. J. et Li, F. (2010). The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai. *International Journal of Biometeorology*, 54(1), 75-84.
- Tang, S., Yan, Q., Shi, W., Wang, X., Sun, X., Yu, P., Wu, J. et Xiao, Y. (2018). Measuring the impact of air pollution on respiratory infection risk in China. *Environmental Pollution*, 232, 477-486. 10.1016/j.envpol.2017.09.071
- Tapsell, S. M. et Tunstall, S. M. (2008). "I wish I'd never heard of Banbury": the relationship between 'place' and the health impacts from flooding. *Health & Place*, 14(2), 133-154. 10.1016/j.healthplace.2007.05.006
- Tarasuk, V., Cheng, J., Gundersen, C., de Oliveira, C. et Kurdyak, P. (2018). The relation between food insecurity and mental health care service utilization in Ontario. *The Canadian Journal of Psychiatry*, 63(8), 557-569. 10.1177/0706743717752879
- Tarasuk, V., Dachner, N. et Loopstra, R. (2014). Food banks, welfare, and food insecurity in Canada. *British Food Journal*, 116(9), 1405-1417. 10.1108/BFJ-02-2014-0077
- Tarasuk, V., Dachner, N., Hamelin, A.-M., Ostry, A., Williams, P., Bosckei, E., Poland, B. et Raine, K. (2014). A survey of food bank operations in five Canadian cities. *BMC Public Health*, 14(1), 1234. 10.1186/1471-2458-14-1234
- Tardif, 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 sur l'herbe à poux*. Agence de la santé et des services sociaux de la Montérégie. <http://extranet.santemonteregie.qc.ca/depot/document/2516/NUISANCE-POUX-Coutssante-2005.pdf>
- Targonski, P. V., Persky, V. W. et Ramekrishnan, V. (1995). Effect of environmental molds on risk of death from asthma during the pollen season. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 95(5), 955-961. 10.1016/S0091-6749(95)70095-1

- Taub, D. R., Miller, B. et Allen, H. (2008). Effects of elevated CO₂ on the protein concentration of food crops: a meta-analysis. *Global Change Biology*, 14(3), 565-575. 10.1111/j.1365-2486.2007.01511.x
- Tempark, T., Lueangarun, S., Chatproedprai, S. et Wananukul, S. (2013). Flood-related skin diseases: a literature review. *International Journal of Dermatology*, 52(10), 1168-1176. 10.1111/ijd.12064
- Teng, T.-H. K., Williams, T. A., Bremner, A., Tohira, H., Franklin, P., Tonkin, A., Jacobs, I. et Finn, J. (2014). A systematic review of air pollution and incidence of out-of-hospital cardiac arrest. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 68(1), 37-43. 10.1136/jech-2013-203116
- Tereszchuk, K. A., Rochon, Y. J., McLinden, C. A. et Vaillancourt, P. A. (2018). Optimizing UV Index determination from broadband irradiances. *Geoscientific Model Development*, 11(3), 1093-1113. <https://doi.org/10.5194/gmd-11-1093-2018>
- Terrier, A., Girardin, M. P., Périé, C., Legendre, P. et Bergeron, Y. (2013). Potential changes in forest composition could reduce impacts of climate change on boreal wildfires. *Ecological Applications*, 23(1), 21-35. 10.1890/12-0425.1
- Tétreault, L.-F., Doucet, M., Gamache, P., Fournier, M., Brand, A., Kosatsky, T. et Smargiassi, A. (2016a). Childhood exposure to ambient air pollutants and the onset of asthma: an administrative cohort study in Quebec. *Environmental Health Perspectives*, 124(8), 1276-1282. 10.1289/ehp.1509838
- Tétreault, L.-F., Doucet, M., Gamache, P., Fournier, M., Brand, A., Kosatsky, T. et Smargiassi, A. (2016b). Severe and moderate asthma exacerbations in asthmatic children and exposure to ambient air pollutants. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(8), 771. 10.3390/ijerph13080771
- Tétreault, L.-F., Eluru, N., Hatzopoulou, M., Morency, P., Plante, C., Morency, C., Reynaud, F., Shekarrizfard, M., Shamsunnahar, Y., Faghii Imani, A., Drouin, L., Pelletier, A., Goudreau, S., Tessier, F., Gauvin, L. et Smargiassi, A. (2018). Estimating the health benefits of planned public transit investments in Montreal. *Environmental Research*, 160, 412-419.
- Theodoratou, E., Tzoulaki, I., Zgaga, L. et Ioannidis, J. P. A. (2014). Vitamin D and multiple health outcomes: umbrella review of systematic reviews and meta-analyses of observational studies and randomised trials. *BMJ*, 348, g2035. 10.1136/bmj.g2035
- Thieken, A. H., Cammerer, H., Dobler, C., Lammel, J. et Schöberl, F. (2016). Estimating changes in flood risks and benefits of non-structural adaptation strategies - a case study from Tyrol, Austria. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 21(3), 343-376. 10.1007/s11027-014-9602-3
- Thistlethwaite, J., Henstra, D., Peddle, S. et Daniel, S. (2017). *Canadian voices on changing flood risk - Findings from a National Survey*. University of Waterloo.
- Thompson, R., Garfin, D. R. et Silver, R. C. (2017). Evacuation from natural disasters: a systematic review of the literature. *Risk Analysis*, 37(4), 812-839.
- Thompson, R., Hornigold, R., Page, L. et Waite, T. (2018). Associations between high ambient temperatures and heat waves with mental health outcomes: a systematic review. *Public Health*, 161, 171-191. 10.1016/j.puhe.2018.06.008

- Thompson, T. M., Rausch, S., Saari, R. K. et Selin, N. E. (2016). Air quality co-benefits of subnational carbon policies. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 66(10), 988-1002. 10.1080/10962247.2016.1192071
- Thomson, E. M., Vladisavljevic, D., Mohottalage, S., Kumarathasan, P. et Vincent, R. (2013). Mapping acute systemic effects of inhaled particulate matter and ozone: multiorgan gene expression and glucocorticoid activity. *Toxicological Sciences*, 135(1), 169-181. 10.1093/toxsci/kft137
- Thomson, H., Snell, C. et Bouzarovski, S. (2017). Health, well-being and energy poverty in Europe: a comparative study of 32 European countries. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(6). 10.3390/ijerph14060584
- Thomson, N. C. et Chaudhuri, R. (2009). Asthma in smokers: challenges and opportunities. *Current Opinion in Pulmonary Medicine*, 15(1), 39-45. 10.1097/MCP.0b013e32831da894
- Thordardottir, E. B., Valdimarsdottir, U. A., Hansdottir, I., Resnick, H., Shipherd, J. C. et Gudmundsdottir, B. (2015). Posttraumatic stress and other health consequences of catastrophic avalanches: a 16-year follow-up of survivors. *Journal of Anxiety Disorders*, 32, 103-111. 10.1016/j.janxdis.2015.03.005
- Thorin, C., Rigaud, E., Capek, I., André-Fontaine, G., Oster, B., Gastinger, G. et Abadia, G. (2008). Seroprevalence of Lyme Borreliosis and tick-borne encephalitis in workers at risk, in eastern France. *Médecine et maladies infectieuses*, 38(10), 533-542.
- Tirado, M. C., Clarke, R., Jaykus, L. A., McQuatters-Gollop, A. et Frank, J. M. (2010). Climate change and food safety: a review. *Food Research International*, 43(7), 1745-1765. 10.1016/j.foodres.2010.07.003
- Tissot-Dupont, H. (2009). Climat, environnement et infections respiratoires. *Médecine et Maladies Infectieuses*, 39(3), 200-202. 10.1016/j.medmal.2008.12.002
- To, T., Feldman, L., Simatovic, J., Gershon, A. S., Dell, S., Su, J., Foty, R. et Licskai, C. (2015). Health risk of air pollution on people living with major chronic diseases: a Canadian population-based study. *Bmj Open*, 5(9), e009075. 10.1136/bmjopen-2015-009075
- To, T., Zhu, J., Larsen, K., Simatovic, J., Feldman, L., Ryckman, K., Gershon, A., Lougheed, M. D., Licskai, C., Chen, H., Villeneuve, P. J., Crighton, E., Su, Y., Sadatsafavi, M., Williams, D. et Carlsten, C. (2016). Progression from asthma to chronic obstructive pulmonary disease is air pollution a risk factor? *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 194(4), 429-438. 10.1164/rccm.201510-1932OC
- Toloo, G., FitzGerald, G., Aitken, P., Verrall, K. et Tong, S. (2013). Evaluating the effectiveness of heat warning systems: systematic review of epidemiological evidence. *International Journal of Public Health*, 58(5), 667-681. 10.1007/s00038-013-0465-2
- Tomio, J., Sato, H. et Mizumura, H. (2010). Interruption of medication among outpatients with chronic conditions after a flood. *Prehospital and Disaster Medicine*, 25(1), 42-50. 10.1017/S1049023X00007652
- Torralba, M., Fagerholm, N., Burgess, P. J., Moreno, G. et Plieninger, T. (2016). Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 230, 150-161. 10.1016/j.agee.2016.06.002

- Tosone, C., McTighe, J. P. et Bauwens, J. (2015). Shared traumatic stress among social workers in the aftermath of hurricane Katrina. *The British Journal of Social Work*, 45(4), 1313-1329. 10.1093/bjsw/bct194
- Touchaei, A. G. et Akbari, H. (2015). Evaluation of the seasonal effect of increasing albedo on urban climate and energy consumption of buildings in Montreal. *Urban Climate*, 14, 278-289. 10.1016/j.uclim.2015.09.007
- Touvier, M., Deschasaux, M., Montourcy, M., Sutton, A., Charnaux, N., Kesse-Guyot, E., Assmann, K. E., Fezeu, L., Latino-Martel, P., Druetne-Pecollo, N., Guinot, C., Latreille, J., Malvy, D., Galan, P., Hercberg, S., Le Clerc, S., Souberbielle, J.-C. et Ezzedine, K. (2015). Determinants of Vitamin D status in Caucasian adults: influence of sun exposure, dietary intake, sociodemographic, lifestyle, anthropometric, and genetic factors. *Journal of Investigative Dermatology*, 135(2), 378-388. 10.1038/jid.2014.400
- Townshend, I., Awosoga, O., Kulig, J., Botey, A. P., Shepard, B. et McFarlane, B. (2015). Impacts of wildfires on school children: a case study of Slave Lake, Alberta, Canada. *International Journal of Mass Emergencies & Disasters*, 33(2).
- Traffic Injury Research Foundation. (2012). Winter tires: a review of research on effectiveness and use. https://tirf.ca/wp-content/uploads/2017/01/2012_Winter_Tire_Report_7.pdf
- Trikojat, K., Luksch, H., Rösen-Wolff, A., Plessow, F., Schmitt, J. et Buske-Kirschbaum, A. (2017). "Allergic mood" – Depressive and anxiety symptoms in patients with seasonal allergic rhinitis (SAR) and their association to inflammatory, endocrine, and allergic markers. *Brain, Behavior, and Immunity*, 65, 202-209. 10.1016/j.bbi.2017.05.005
- Tsai, T.-L., Lin, Y.-T., Hwang, B.-F., Nakayama, S. F., Tsai, C.-H., Sun, X.-L., Ma, C. et Jung, C.-R. (2019). Fine particulate matter is a potential determinant of Alzheimer's disease: a systemic review and meta-analysis. *Environmental Research*, 177, 108638. 10.1016/j.envres.2019.108638
- Tunstall, S., Tapsell, S., Green, C., Floyd, P. et George, C. (2006). The health effects of flooding: social research results from England and Wales. *Journal of Water and Health*, 4(3), 365-380. 10.2166/wh.2006.031
- Turcotte-Tremblay, A.-M., Lim, R., Laplante, D. P., Kobzik, L., Brunet, A. et King, S. (2014). Prenatal maternal stress predicts childhood asthma in girls: Project Ice Storm. *Biomed Research International*, Article ID 201717. 10.1155/2014/201717
- Turner, L. R., Alderman, K., CunRui, H. et ShiLu, T. (2013). Impact of the 2011 Queensland floods on the use of tobacco, alcohol and medication. *Australian and New Zealand Journal of Public Health*, 37(4).
- Turner, L. R., Barnett, A. G., Connell, D. et Tong, S. (2012). Ambient temperature and cardiorespiratory morbidity: a systematic review and meta-analysis. *Epidemiology*, 23(4), 594-606. 10.1097/EDE.0b013e3182572795
- Turner, L., Alderman, K. et Tong, S. (2012). The 2011 Brisbane floods affected residents' health. *Medical Journal of Australia*, 197(4), 214-216.
- Turner, M. C., Krewski, D., Diver, W. R., Pope III, C. A., Burnett, R. T., Jerrett, M., Marshall, J. D. et Gapstur, S. M. (2017). Ambient air pollution and cancer mortality in the cancer prevention study II. *Environmental Health Perspectives*, 125(8), 087013.

- Tuso, P. J., Ismail, M. H., Ha, B. P. et Bartolotto, C. (2013). Nutritional update for physicians: plant-based diets. *The Permanente Journal*, 17(2), 61-66. 10.7812/TPP/12-085
- Tuzlak, K. (2016). Investigating the awareness and knowledge of secondary school students about the effects of allergic pollen on human health: a case of Burdur Province. *Educational Research and Reviews*, 11(14), 1331-1337.
- Twilley, R. R., Bentley, S. J., Chen, Q., Edmonds, D. A., Hagen, S. C., Lam, N. S.-N., Willson, C. S., Xu, K., Braud, D., Peele, R. H. et McCall, A. (2016). Co-evolution of wetland landscapes, flooding, and human settlement in the Mississippi River Delta Plain. *Sustainability Science*, 11(4), 711-731. 10.1007/s11625-016-0374-4
- Uejio, C. K., Wilhelmi, O. V., Golden, J. S., Mills, D. M., Gulino, S. P. et Samenow, J. P. (2011). Intra-urban societal vulnerability to extreme heat: The role of heat exposure and the built environment, socioeconomics, and neighborhood stability. *Health & Place*, 17(2), 498-507. 10.1016/j.healthplace.2010.12.005
- Upadhyaya, J. K., Biswas, N. et Tam, E. (2014). A review of infrastructure challenges: assessing stormwater system sustainability. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 41(6), 483-492. 10.1139/cjce-2013-0430
- Uscher-Pines, L. (2009). Health effects of relocation following disaster: a systematic review of the literature. *Disasters*, 33(1), 1-22. 10.1111/j.1467-7717.2008.01059.x
- Uyttendaele, M., Jaykus, L.-A., Amoah, P., Chiadini, A., Cunliffe, D., Jacxsens, L., Holvoet, K., Korsten, L., Lau, M., McClure, P., Medema, G., Sampers, I. et Jasti, P. R. (2015). Microbial hazards in irrigation water: standards, norms, and testing to manage use of water in fresh produce primary production. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(4), 336-356. 10.1111/1541-4337.12133
- Vahmani, P., Jones, A. D. et Patricola, C. M. (2019). Interacting implications of climate change, population dynamics, and urban heat mitigation for future exposure to heat extremes. *Environmental Research Letters*, 14(8), 084051. 10.1088/1748-9326/ab28b0
- Valavanidis, A., Vlachogianni, T., Fiotakis, K. et Loridas, S. (2013). Pulmonary oxidative stress, inflammation and cancer: respirable particulate matter, fibrous dusts and ozone as major causes of lung carcinogenesis through reactive oxygen species mechanisms. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10(9), 3886-3907. 10.3390/ijerph10093886
- Valcke, M., Bourgault, M.-H., Phaneuf, D., Belleville, D., Normandin, L., Gagné, M., Blanchet, C. et Rochette, L. (2019). *Évaluation du risque toxicologique pour la population québécoise à la suite de l'exposition aux résidus de pesticides présents dans les fruits et les légumes*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/publications/2230>
- Valois, P., Jacob, J., Mehiriz, K., Talbot, D., Renaud, J.-S. et Caron, M. (2017a). *Portrait de l'adaptation aux changements climatiques dans les organisations du secteur de la santé au Québec*. Université Laval. http://www.monclimatmasante.qc.ca/Data/Sites/1/publications/oqacc_rapport_sante_21_nov_fi nal.pdf
- Valois, P., Jacob, J., Mehiriz, M. K., Talbot, D., Renaud, J.-S. et Caron, M. (2017b). *Niveau et déterminants de l'adaptation aux changements climatiques dans les municipalités du Québec*. Université Laval. http://www.monclimatmasante.qc.ca/Data/Sites/1/publications/Rapport_municipalites_2_13_no v_FINALE.pdf

- Valois, P., Renaud, J.-S., Talbot, D., Carrier, M.-P. et Caron, M. (2017). *Adaptation des personnes habitant une zone inondable : identification des croyances dominantes*. Université Laval. http://www.monclimatmasante.qc.ca/Data/Sites/1/publications/rapport_2_2_inondation_version_finale.pdf
- Valois, P., Talbot, D., Caron, M., Renaud, J.-S., Carrier, M.-P. et Gousse-Lessard, A.-S. (2016). *Développement d'indices liés à l'adaptation aux inondations au Québec*. Université Laval. http://www.monclimatmasante.qc.ca/Data/Sites/1/publications/Rapport_final_inondation_13decembre2016.pdf
- Valois, P., Talbot, D., Renaud, J.-S., Caron, M. et Bouchard, D. (2018). *Déterminants de l'adaptation à la chaleur l'été chez les personnes âgées*. Université Laval. http://www.monclimatmasante.qc.ca/Data/Sites/1/publications/OQACC_Rapport_etude_2.1_2018-02-07.pdf
- Valois, P., Talbot, D., Renaud, J.-S., Caron, Maxime et Carrier, M.-P. (2016). *Développement d'un indice d'adaptation à la chaleur chez les personnes habitant dans les 10 villes les plus peuplées du Québec*. Université Laval. http://www.monclimatmasante.qc.ca/Data/Sites/1/publications/rapport_chaleur_versionfinale_revis-final.pdf
- Valois, P., Talbot, L., Carrier, M.-P., Renaud, J.-S. et Caron, M. (2016). *Adaptation des personnes âgées à la chaleur l'été : identification des croyances dominantes*. Université Laval. http://www.monclimatmasante.qc.ca/Data/Sites/1/publications/rapport_etude_pilote_2.1_version_finale.pdf
- van der Leun, J. C., Piacentini, R. D. et Grujil, F. R. de. (2008). Climate change and human skin cancer. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 7(6), 730-733. 10.1039/B719302E
- van Rhijn, B. D., Ree, R. van, Versteeg, S. A., Vlieg-Boerstra, B. J., Sprikkelman, A. B., Terreehorst, I., Smout, A. J. P. M. et Bredenoord, A. J. (2013). Birch pollen sensitization with cross-reactivity to food allergens predominates in adults with eosinophilic esophagitis. *Allergy*, 68(11), 1475-1481. 10.1111/all.12257
- Vanasse, A., Cohen, A., Courteau, J., Bergeron, P., Chebana, F., Gosselin, P., Rochette, L., Blais, C. et Ouarda, T. B. M. J. (2015). *Impact des inondations importantes sur la santé cardiovasculaire au Québec: les cas de Saguenay (1996) et de St-Jean-sur-Richelieu (2011) : Rapport final*. Institut national de la recherche scientifique. <http://espace.inrs.ca/2814/>
- Vanasse, A., Cohen, A., Courteau, J., Bergeron, P., Dault, R., Gosselin, P., Blais, C., Bélanger, D., Rochette, L., Chebana, F., Vanasse, A., Cohen, A., Courteau, J., Bergeron, P., Dault, R., Gosselin, P., Blais, C., Bélanger, D., Rochette, L. et Chebana, F. (2016). Association between floods and acute cardiovascular diseases: a population-based cohort study using a geographic information system approach. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(2), 168. 10.3390/ijerph13020168
- Vanasse, A., Talbot, D., Chebana, F., Belanger, D., Blais, C., Gamache, P., Giroux, J.-X., Dault, R. et Gosselin, P. (2017). Effects of climate and fine particulate matter on hospitalizations and deaths for heart failure in elderly: A population-based cohort study. *Environment International*, 106, 257-266. 10.1016/j.envint.2017.06.001

- Vanasse, A., Talbot, D., Chebana, F., Bélanger, D., Gosselin, P., Blais, C., Gamache, P., Giroux, J.-X. et Dault, R. (2016). *Impact des conditions météorologiques sur le délai de survenue des événements d'insuffisance cardiaque chez les personnes âgées de 65 ans et plus diagnostiquées avec cette condition médicale au Québec, de 2001 à 2011: Rapport final*. Institut national de la recherche scientifique. <http://espace.inrs.ca/5789/>
- Vanos, J. K. (2015). Children's health and vulnerability in outdoor microclimates: A comprehensive review. *Environment International*, 76, 1-15.
- Vanos, J. K., Hebborn, C. et Cakmak, S. (2014). Risk assessment for cardiovascular and respiratory mortality due to air pollution and synoptic meteorology in 10 Canadian cities. *Environmental Pollution*, 185, 322-332.
- VanStone, N., van Dijk, A., Chisamore, T., Mosley, B., Hall, G., Belanger, P. et Moore, K. M. (2017). Characterizing the effects of extreme cold using real-time syndromic surveillance, Ontario, Canada, 2010-2016. *Public Health Reports*, 132, 48S-52S. 10.1177/0033354917708354
- Vardoulakis, S., Dimitroulopoulou, C., Thornes, J., Lai, K.-M., Taylor, J., Myers, I., Heaviside, C., Mavrogianni, A., Shrubsole, C. et Chalabi, Z. (2015). Impact of climate change on the domestic indoor environment and associated health risks in the UK. *Environment international*, 85, 299-313.
- Vardoulakis, S., Valiantis, M., Milner, J. et ApSimon, H. (2007). Operational air pollution modelling in the UK—Street canyon applications and challenges. *Atmospheric Environment*, 41(22), 4622-4637. 10.1016/j.atmosenv.2007.03.039
- Varghese, B. M., Hansen, A., Bi, P. et Pisaniello, D. (2018). Are workers at risk of occupational injuries due to heat exposure? A comprehensive literature review. *Safety Science*, 110, 380-392. 10.1016/j.ssci.2018.04.027
- Vasseur, L., Thornbush, M. et Plante, S. (2015). Gender-based experiences and perceptions after the 2010 winter storms in Atlantic Canada. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(10), 12518-12529. 10.3390/ijerph121012518
- Vawda, S., Mansour, R., Takeda, A., Funnell, P., Kerry, S., Mudway, I., Jamaludin, J., Shaheen, S., Griffiths, C. et Walton, R. (2014). Associations between inflammatory and immune response genes and adverse respiratory outcomes following exposure to outdoor air pollution: a HuGE systematic review. *American Journal of Epidemiology*, 179(4), 432-442. 10.1093/aje/kwt269
- Vázquez, M., Muehlenbein, C., Cartter, M., Hayes, E. B., Ertel, S. et Shapiro, E. D. (2008). Effectiveness of personal protective measures to prevent Lyme disease. *Emerging Infectious Diseases*, 14(2), 210-216. 10.3201/eid1402.070725
- Vedal, S. (2009). Does air conditioning modify the health effects of exposure to outdoor air pollution? *Epidemiology*, 20(5), 687-688. 10.1097/EDE.0b013e3181b0940a
- Vega, A. et Castro, L. (2019). Impact of climate change on insect-human interactions. *Current Opinion in Allergy and Clinical Immunology*, 19(5), 475-481. 10.1097/ACI.0000000000000565
- Vermeulen, S. J., Campbell, B. M. et Ingram, J. S. I. (2012). Climate change and food systems. *Annual Review of Environment and Resources*, 37(1), 195-222. 10.1146/annurev-environ-020411-130608

- Veru, F., Dancause, K., Laplante, D. P., King, S. et Luheshi, G. (2015). Prenatal maternal stress predicts reductions in CD4+lymphocytes, increases in innate-derived cytokines, and a Th2 shift in adolescents: Project Ice Storm. *Physiology & Behavior*, 144, 137-145. 10.1016/j.physbeh.2015.03.016
- Vicente-Serrano, S. M., Quiring, S. M., Peña-Gallardo, M., Yuan, S. et Domínguez-Castro, F. (2020). A review of environmental droughts: increased risk under global warming? *Earth-Science Reviews*, 201, 102953. 10.1016/j.earscirev.2019.102953
- Victorino, C. C. et Gauthier, A. H. (2009). The social determinants of child health: variations across health outcomes – a population-based cross-sectional analysis. *BMC Pediatrics*, 9(1), 53. 10.1186/1471-2431-9-53
- Vida, S., Durocher, M., Ouarda, T. B. M. J. et Gosselin, P. (2012). Relationship between ambient temperature and humidity and visits to mental health emergency departments in Québec. *Psychiatric Services*, 63(11), 1150-1153. 10.1176/appi.ps.201100485
- Vieth, R., Cole, D. E., Hawker, G. A., Trang, H. M. et Rubin, L. A. (2001). Wintertime vitamin D insufficiency is common in young Canadian women, and their vitamin D intake does not prevent it. *European Journal of Clinical Nutrition*, 55(12), 1091-1097. 10.1038/sj.ejcn.1601275
- Vijayaraghavan, K. (2016). Green roofs: a critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 740-752. 10.1016/j.rser.2015.12.119
- Ville de Montréal. (2017). *Règlement sur l'utilisation des poêles et foyers au bois*. http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=7237,74789570&_dad=portal&_schema=PORTAL
- Ville de Montréal. (s. d.). *Suivi de la qualité de l'air*. Ville de Montréal. http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=7237,74495616&_dad=portal&_schema=PORTAL
- Villeneuve, P. J., Goldberg, M. S., Burnett, R. T., Donkelaar, A. van, Chen, H. et Martin, R. V. (2011). Associations between cigarette smoking, obesity, sociodemographic characteristics and remote-sensing-derived estimates of ambient PM2.5: results from a Canadian population-based survey. *Occupational and Environmental Medicine*, 68(12), 920-927. 10.1136/oem.2010.062521
- Villeneuve, P. J., Johnson, J. Y. M., Pasichnyk, D., Lowes, J., Kirkland, S. et Rowe, B. H. (2012). Short-term effects of ambient air pollution on stroke: who is most vulnerable? *Science of The Total Environment*, 430, 193-201. 10.1016/j.scitotenv.2012.05.002
- Vinikoor-Imler, L. C., Owens, E. O., Nichols, J. L., Ross, M., Brown, J. S. et Sacks, J. D. (2014). Evaluating potential response-modifying factors for associations between ozone and health outcomes: a weight-of-evidence approach. *Environmental Health Perspectives*, 122(11), 1166-1176.
- Vins, H., Bell, J., Saha, S. et Hess, J. J. (2015). The mental health outcomes of drought: a systematic review and causal process diagram. *International journal of environmental research and public health*, 12(10), 13251-13275.
- Vitari, C. et David, C. (2017). Sustainable management models: innovating through permaculture. *Journal of Management Development*, 36(1), 14-36. 10.1108/JMD-10-2014-0121
- Völker, S., Baumeister, H., Claßen, T., Hornberg, C. et Kistemann, T. (2013). Evidence for the temperature-mitigating capacity of urban blue space – a health geographic perspective. *Erdkunde*, 67(4), 355-371.

- Volkmer, B. et Greinert, R. (2011). UV and children's skin. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 107(3), 386-388. 10.1016/j.pbiomolbio.2011.08.011
- von Schneidemesser, E., Monks, P. S., Allan, J. D., Bruhwiler, L., Forster, P., Fowler, D., Lauer, A., Morgan, W. T., Paasonen, P., Righi, M., Sindelarova, K. et Sutton, M. A. (2015). Chemistry and the linkages between air quality and climate change. *Chemical Reviews*, 115(10), 3856-3897. 10.1021/acs.chemrev.5b00089
- Vonk, J. E., Tank, S. E., Bowden, W. B., Laurion, I., Vincent, W. F., Alekseychik, P., Amyot, M., Billet, M., Canario, J. et Cory, R. M. (2015). Reviews and syntheses: effects of permafrost thaw on Arctic aquatic ecosystems. *Biogeosciences*, 12(23), 7129-7167.
- Vuillermoz, C., Aouba, A., Grout, L., Vandentorren, S., Tassin, F., Moreno-Betancur, M., Jouglu, É. et Rey, G. (2016). Mortality among homeless people in France, 2008-10. *European Journal of Public Health*, 26(6), 1028-1033. <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckw083>
- Vutcovici, M., Goldberg, M. S. et Valois, M.-F. (2014). Effects of diurnal variations in temperature on non-accidental mortality among the elderly population of Montreal, Quebec, 1984-2007. *International Journal of Biometeorology*, 58(5), 843-852.
- Wachinger, G., Renn, O., Begg, C. et Kuhlicke, C. (2013). The risk perception paradox—implications for governance and communication of natural hazards. *Risk analysis*, 33(6), 1049-1065.
- Wachnian, C., Tompkins, N., Corriveau-Bourque, C., Belletrutti, M. et Bruce, A. A. K. (2020). Cold external temperatures and sickle cell morbidity in children: a retrospective analysis. *Journal of Pediatric Hematology/Oncology*, 42(1), 8-11. 10.1097/MPH.0000000000001627
- Wai, K.-M., Yu, P. K. N. et Lam, K.-S. (2015). Reduction of solar UV radiation due to urban high-rise buildings – a coupled modelling study. *PLoS ONE*, 10(8). 10.1371/journal.pone.0135562
- Waite, T. D., Chaintarli, K., Beck, C. R., Bone, A., Amlôt, R., Kovats, S., Reacher, M., Armstrong, B., Leonardi, G., Rubin, G. J. et Oliver, I. (2017). The English national cohort study of flooding and health: cross-sectional analysis of mental health outcomes at year one. *BMC Public Health*, 17(1), 129. 10.1186/s12889-016-4000-2
- Waite, T., Murray, V. et Baker, D. (2014). Carbon monoxide poisoning and flooding: changes in risk before, during and after flooding require appropriate public health interventions. *PLoS Currents*, 6. 10.1371/currents.dis.2b2eb9e15f9b982784938803584487f1
- Wakefield, S., Yeudall, F., Taron, C., Reynolds, J. et Skinner, A. (2007). Growing urban health: community gardening in south-east Toronto. *Health Promotion International*, 22(2), 92-101. 10.1093/heapro/dam001
- Walder, D. J., Laplante, D. R., Sousa-Pires, A., Veru, F., Brunet, A. et King, S. (2014). Prenatal maternal stress predicts autism traits in 61/2 year-old children: Project Ice Storm. *Psychiatry Research*, 219(2), 353-360. 10.1016/j.psychres.2014.04.034
- Walter, S. D., King, W. D. et Marrett, L. D. (1999). Association of cutaneous malignant melanoma with intermittent exposure to ultraviolet radiation: results of a case-control study in Ontario, Canada. *International Journal of Epidemiology*, 28(3), 418-427. 10.1093/ije/28.3.418
- Wang, E. A., McGinnis, K. A., Goulet, J., Bryant, K., Gibert, C., Leaf, D. A., Mattocks, K., Fiellin, L. E., Vogenthaler, N., Justice, A. C. et Fiellin, D. A. (2015). Food insecurity and health: data from the veterans aging cohort study. *Public Health Reports*, 130(3), 261-268. 10.1177/003335491513000313

- Wang, L., Liu, T., Hu, M., Zeng, W., Zhang, Y., Rutherford, S., Lin, H., Xiao, J., Yin, P., Liu, J., Chu, C., Tong, S., Ma, W. et Zhou, M. (2016). The impact of cold spells on mortality and effect modification by cold spell characteristics. *Scientific Reports*, 6. 10.1038/srep38380
- Wang, X., Lavigne, É., Ouellette-Kuntz, H. et Chen, B. E. (2014). Acute impacts of extreme temperature exposure on emergency room admissions related to mental and behavior disorders in Toronto, Canada. *Journal of Affective Disorders*, 155, 154-161.
- Wang, Yan, Bobb, J. F., Papi, B., Wang, Y., Kosheleva, A., Di, Q., Schwartz, J. D. et Dominici, F. (2016). Heat stroke admissions during heat waves in 1,916 US counties for the period from 1999 to 2010 and their effect modifiers. *Environmental Health*, 15(1), 83. 10.1186/s12940-016-0167-3
- Wang, Yiyuan, Pons, W., Fang, J. et Zhu, H. (2017). The impact of weather and storm water management ponds on the transmission of West Nile virus. *Royal Society Open Science*, 4(8), 170017. 10.1098/rsos.170017
- Wang, Yupeng et Akbari, H. (2016). Analysis of urban heat island phenomenon and mitigation solutions evaluation for Montreal. *Sustainable Cities and Society*, 26, 438-446. 10.1016/j.scs.2016.04.015
- Wang, Yupeng, Berardi, U. et Akbari, H. (2015). Comparing the effects of urban heat island mitigation strategies for Toronto, Canada. *Energy and Buildings*, 114, 2-19.
- Wang, Yuxuan, Xie, Y., Dong, W., Ming, Y., Wang, J. et Shen, L. (2017). Adverse effects of increasing drought on air quality via natural processes. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 17(20), 12827-12843. 10.5194/acp-17-12827-2017
- Ward, I. C. (2008). The potential impact of the new (UK) building regulations on the provision of natural ventilation in dwellings - a case study of low energy social housing. *International Journal of Ventilation*, 7(1), 77-88. 10.1080/14733315.2008.11683801
- Ward, P. (2013). On the use of tradable development rights for reducing flood risk. *Land Use Policy*, 31, 576-583. 10.1016/j.landusepol.2012.09.004
- Warsini, S., West, C., Ed, G. D., Res Meth, G. C., Mills, J. et Usher, K. (2014). The psychosocial impact of natural disasters among adult survivors: an integrative review. *Issues in mental health nursing*, 35(6), 420-436.
- Watson, M., Holman, D. M. et Maguire-Eisen, M. (2016). Ultraviolet radiation exposure and its impact on skin cancer risk. *Seminars in Oncology Nursing*, 32(3), 241-254. 10.1016/j.soncn.2016.05.005
- Webster, D., Dimitrova, K., Holloway, K., Makowski, K., Safronetz, D. et Drebot, M. A. (2017). California serogroup virus infection associated with encephalitis and cognitive decline, Canada, 2015. *Emerging Infectious Diseases*, 23(8), 1423-1424. 10.3201/eid2308.170239
- Weichenthal, S., Hoppin, J. A. et Reeves, F. (2014). Obesity and the cardiovascular health effects of fine particulate air pollution. *Obesity*, 22(7), 1580-1589. 10.1002/oby.20748
- Weichenthal, S., Kulka, R., Dubeau, A., Martin, C., Wang, D. et Dales, R. (2011). Traffic-related air pollution and acute changes in heart rate variability and respiratory function in urban cyclists. *Environmental health perspectives*, 119(10), 1373-1378.

- Weichenthal, S., Kulka, R., Lavigne, É., van Rijswijk, D., Brauer, M., Villeneuve, P. J., Stieb, D., Joseph, L. et Burnett, R. T. (2017). Biomass burning as a source of ambient fine particulate air pollution and acute myocardial infarction. *Epidemiology*, 28(3), 329-337. 10.1097/EDE.0000000000000636
- Weichenthal, S., Lavigne, É., Villeneuve, P. J. et Reeves, F. (2016). Airborne pollen concentrations and emergency room visits for myocardial infarction: a multicity case-crossover study in Ontario, Canada. *American Journal of Epidemiology*, 183(7), 613-621. 10.1093/aje/kwv252
- Weichenthal, S., Ryswyk, K. V., Goldstein, A., Bagg, S., Shekharizfard, M. et Hatzopoulou, M. (2016). A land use regression model for ambient ultrafine particles in Montreal, Canada: A comparison of linear regression and a machine learning approach. *Environmental Research*, 146, 65-72.
- Weinberger, K. R., Kinney, P. L., Robinson, G. S., Sheehan, D., Kheirbek, I., Matte, T. D. et Lovasi, G. S. (2018). Levels and determinants of tree pollen in New York City. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 28(2), 119-124. 10.1038/jes.2016.72
- Weinberger, K. R., Zanobetti, A., Schwartz, J. et Wellenius, G. A. (2018). Effectiveness of national weather service heat alerts in preventing mortality in 20 US cities. *Environment International*, 116, 30-38. 10.1016/j.envint.2018.03.028
- Weinstein, J. M., Yarnold, P. R. et Hornung, R. L. (2001). Parental knowledge and practice of primary skin cancer prevention: gaps and solutions. *Pediatric Dermatology*, 18(6), 473-477. 10.1046/j.1525-1470.2001.1861996.x
- Weller, R. B. (2017). The health benefits of UV radiation exposure through vitamin D production or non-vitamin D pathways. Blood pressure and cardiovascular disease. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 16(3), 374-380.
- Wen, X.-J., Balluz, L. et Mokdad, A. (2009). Association between media alerts of air quality index and change of outdoor activity among adult asthma in six states, BRFSS, 2005. *Journal of Community Health*, 34(1), 40-46. 10.1007/s10900-008-9126-4
- Werchan, B., Werchan, M., Mücke, H.-G., Gauger, U., Simoleit, A., Zuberbier, T. et Bergmann, K.-C. (2017). Spatial distribution of allergenic pollen through a large metropolitan area. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(4), 169. 10.1007/s10661-017-5876-8
- West, C., Bernard, B., Mueller, C., Kitt, M., Driscoll, R. et Tak, S. (2008). Mental health outcomes in police personnel after hurricane Katrina. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 50(6), 689-695. 10.1097/JOM.0b013e3181638685
- West, J. J., Smith, S. J., Silva, R. A., Naik, V., Zhang, Y., Adelman, Z., Fry, M. M., Anenberg, S., Horowitz, L. W. et Lamarque, J.-F. (2013). Co-benefits of global greenhouse gas mitigation for future air quality and human health. *Nature Climate Change*, 3(10), 885-889. 10.1038/NCLIMATE2009
- Wheaton, E., Kulshreshtha, S., Wittrock, V. et Koshida, G. (2008). Dry times: hard lessons from the Canadian drought of 2001 and 2002. *The Canadian Geographer*, 52(2), 241-262.
- White, A. et Gaff, H. (2018). Review: application of tick control technologies for blacklegged, lone star, and american dog ticks. *Journal of Integrated Pest Management*, 9(1). 10.1093/jipm/pmy006
- White, A. J., Bradshaw, P. T. et Hamra, G. B. (2018). Air pollution and breast cancer: a review. *Current Epidemiology Reports*, 5(2), 92-100. 10.1007/s40471-018-0143-2

- Whittaker, J., Handmer, J. et Mercer, D. (2012). Vulnerability to bushfires in rural Australia: A case study from East Gippsland, Victoria. *Journal of Rural Studies*, 28(2), 161-173. 10.1016/j.jrurstud.2011.11.002
- Wichmann, F., Udikovic-Kolic, N., Andrew, S. et Handelsman, J. (2014). Diverse antibiotic resistance genes in dairy cow manure. *MBio*, 5(2). 10.1128/mBio.01017-13
- Wiggins, S., Keats, S. et Han, E. (2015). *The rising cost of a healthy diet*. Overseas Development Institute. <https://www.odi.org/sites/odi.org.uk/files/odi-assets/publications-opinion-files/9580.pdf>
- Wikipedia. (2020, 19 mars). *List of tornadoes by province (Canada)*. Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=List of tornadoes by province \(Canada\)&oldid=946370963](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=List_of_tornadoes_by_province_(Canada)&oldid=946370963)
- Wilhelm-Leen, E. R., Hall, Y. N., DeBoer, I. H. et Chertow, G. M. (2010). Vitamin D deficiency and frailty in older Americans. *Journal of Internal Medicine*, 268(2), 171-180. 10.1111/j.1365-2796.2010.02248.x
- Williams, H., Wikström, F., Otterbring, T., Löfgren, M. et Gustafsson, A. (2012). Reasons for household food waste with special attention to packaging. *Journal of Cleaner Production*, 24, 141-148. 10.1016/j.jclepro.2011.11.044
- Williams, S. C. et Ward, J. S. (2010). Effects of Japanese barberry (ranunculales: Berberidaceae) removal and resulting microclimatic changes on Ixodes scapularis (acari: Ixodidae) abundances in Connecticut, USA. *Environmental Entomology*, 39(6), 1911-1921. 10.1603/EN10131
- Williams, S., Hanson-Easey, S., Robinson, G., Pisaniello, D., Newbury, J., Saniotis, A. et Bi, P. (2017). Heat adaptation and place: experiences in South Australian rural communities. *Regional environmental change*, 17(1), 273-283.
- Williamson, C. E., Madronich, S., Lal, A., Zepp, R. G., Lucas, R. M., Overholt, E. P., Rose, K. C., Schladow, S. G. et Lee-Taylor, J. (2017). Climate change-induced increases in precipitation are reducing the potential for solar ultraviolet radiation to inactivate pathogens in surface waters. *Scientific Reports*, 7(1), 13033. 10.1038/s41598-017-13392-2
- Willits-Smith, A., Aranda, R., Heller, M. C. et Rose, D. (2020). Addressing the carbon footprint, healthfulness, and costs of self-selected diets in the USA: a population-based cross-sectional study. *The Lancet Planetary Health*, 4(3), e98-e106. 10.1016/S2542-5196(20)30055-3
- Willoughby, M., Kipsaina, C., Ferrah, N., Blau, S., Bugeja, L., Ranson, D. et Ibrahim, J. E. (2017). Mortality in nursing homes following emergency evacuation: a systematic review. *Journal of the American Medical Directors Association*, 18(8), 664-670.
- Witham, M. D., Donnan, P. T., Vadiveloo, T., Sniehotta, F. F., Crombie, I. K., Feng, Z. et McMurdo, M. E. T. (2014). Association of day length and weather conditions with physical activity levels in older community dwelling people. *PLOS ONE*, 9(1), e85331. 10.1371/journal.pone.0085331
- Wolch, J. R., Byrne, J. et Newell, J. P. (2014). Urban green space, public health, and environmental justice: the challenge of making cities 'just green enough'. *Landscape and Urban Planning*, 125, 234-244. 10.1016/j.landurbplan.2014.01.017
- Wolkoff, P. (2018). Indoor air humidity, air quality, and health – An overview. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 221(3), 376-390. 10.1016/j.ijheh.2018.01.015

- Woloszyn, M., Kalamees, T., Olivier Abadie, M., Steeman, M. et Sasic Kalagasidis, A. (2009). The effect of combining a relative-humidity-sensitive ventilation system with the moisture-buffering capacity of materials on indoor climate and energy efficiency of buildings. *Building and Environment*, 44(3), 515-524. 10.1016/j.buildenv.2008.04.017
- Wong, G. K. L. et Jim, C. Y. (2016). Do vegetated rooftops attract more mosquitoes? Monitoring disease vector abundance on urban green roofs. *Science of The Total Environment*, 573, 222-232. 10.1016/j.scitotenv.2016.08.102
- Wood, H., Dillon, L., Patel, S. N. et Ralevski, F. (2016). Prevalence of Rickettsia species in Dermacentor variabilis ticks from Ontario, Canada. *Ticks and Tick-Borne Diseases*, 7(5), 1044-1046. 10.1016/j.ttbdis.2016.06.001
- Woodcock, J., Edwards, P., Tonne, C., Armstrong, B. G., Ashiru, O., Banister, D., Beevers, S., Chalabi, Z., Chowdhury, Z., Cohen, A., Franco, O. H., Haines, A., Hickman, R., Lindsay, G., Mittal, I., Mohan, D., Tiwari, G., Woodward, A. et Roberts, I. (2009). Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: urban land transport. *The Lancet*, 374(9705), 1930-1943. 10.1016/S0140-6736(09)61714-1
- World Health Organization. (2013a). *Review of evidence on health aspects of air pollution-REVIHAAP Project*. http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0004/193108/REVIHAAP-Final-technical-report-final-version.pdf?ua=1
- World Health Organization. (2013b). *Review of the 2012-2013 winter influenza season, northern hemisphere*. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/242074>
- World Health Organization. (2016). *Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease*. <https://www.who.int/phe/publications/air-pollution-global-assessment/en/>
- World Health Organization. (2018). *WHO Housing and health guidelines*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241550376>
- Wotton, B. M., Flannigan, M. D. et Marshall, G. A. (2017). Potential climate change impacts on fire intensity and key wildfire suppression thresholds in Canada. *Environmental Research Letters*, 12(9), 095003. 10.1088/1748-9326/aa7e6e
- Wouters, H., De Ridder, K., Poelmans, L., Willems, P., Brouwers, J., Hosseinzadehtalaei, P., Tabari, H., Vanden Broucke, S., van Lipzig, N. P. M. et Demuzere, M. (2017). Heat stress increase under climate change twice as large in cities as in rural areas: A study for a densely populated midlatitude maritime region. *Geophysical Research Letters*, 44(17), 8997-9007. 10.1002/2017GL074889
- Wright, C. J., Sargeant, J. M., Edge, V. L., Ford, J. D., Farahbakhsh, K., Shiwak, I., Flowers, C., Harper, S. L. et IHACC Research Team. (2017). Water quality and health in northern Canada: stored drinking water and acute gastrointestinal illness in Labrador Inuit. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-13.
- Wright, F. et Weller, R. B. (2015). Risks and benefits of UV radiation in older people: More of a friend than a foe? *Maturitas*, 81(4), 425-431. 10.1016/j.maturitas.2015.05.003
- Wu, F., Groopman, J. D. et Pestka, J. J. (2014). Public health impacts of foodborne mycotoxins. *Annual Review of Food Science and Technology*, 5(1), 351-372. 10.1146/annurev-food-030713-092431

- Wu, Q., Qi, J. et Xia, X. (2017). Long-term variations in sediment heavy metals of a reservoir with changing trophic states: Implications for the impact of climate change. *Science of The Total Environment*, 609, 242-250. 10.1016/j.scitotenv.2017.04.041
- Wu, S., Cho, E., Li, W.-Q., Weinstock, M. A., Han, J. et Qureshi, A. A. (2016). History of severe sunburn and risk of skin cancer among women and men in 2 prospective cohort studies. *American Journal of Epidemiology*, 183(9), 824-833. 10.1093/aje/kwv282
- Wu, X., Nethery, R. C., Sabath, B. M., Braun, D. et Dominici, F. (2020). Exposure to air pollution and COVID-19 mortality in the United States. *MedRxiv*, 2020.04.05.20054502. 10.1101/2020.04.05.20054502
- Xiang, F., Lucas, R., Hales, S. et Neale, R. (2014). Incidence of nonmelanoma skin cancer in relation to ambient UV radiation in white populations, 1978-2012: empirical relationships. *JAMA dermatology*, 150(10), 1063-1071.
- Xiang, J., Bi, P., Pisaniello, D. et Hansen, A. (2014). Health impacts of workplace heat exposure: an epidemiological review. *Industrial Health*, 52(2), 91-101. 10.2486/indhealth.2012-0145
- XiuPing, T. et HongMin, D. (2017). Research progress on animal waste treatment and recycling technology. *Journal of Agricultural Science and Technology (Beijing)*, 19(1), 37-42.
- Xu, Z., Etzel, R. A., Su, H., Huang, C., Guo, Y. et Tong, S. (2012). Impact of ambient temperature on children's health: a systematic review. *Environmental Research*, 117, 120-131. 10.1016/j.envres.2012.07.002
- Xu, Z., FitzGerald, G., Guo, Y., Jalaludin, B. et Tong, S. (2016). Impact of heatwave on mortality under different heatwave definitions: a systematic review and meta-analysis. *Environment International*, 89, 193-203.
- Xu, Z., Huang, C., Hu, W., Turner, L. R., Su, H. et Tong, S. (2013). Extreme temperatures and emergency department admissions for childhood asthma in Brisbane, Australia. *Occupational and Environmental Medicine*, 70(10), 730-735. <https://doi.org/10.1136/oemed-2013-101538>
- Xu, Z., Liu, Y., Ma, Z., Li, S., Hu, W. et Tong, S. (2014). Impact of temperature on childhood pneumonia estimated from satellite remote sensing. *Environmental Research*, 132, 334-341. 10.1016/j.envres.2014.04.021
- Xu, Z., Sheffield, P. E., Su, H., Wang, X., Bi, Y. et Tong, S. (2014). The impact of heat waves on children's health: a systematic review. *International Journal of Biometeorology*, 58(2), 239-247. 10.1007/s00484-013-0655-x
- Xylia, M., Leduc, S., Laurent, A.-B., Patrizio, P., van der Meer, Y., Kraxner, F. et Silveira, S. (2019). Impact of bus electrification on carbon emissions: the case of Stockholm. *Journal of Cleaner Production*, 209, 74-87. 10.1016/j.jclepro.2018.10.085
- Yam, J. C. S. et Kwok, A. K. H. (2014). Ultraviolet light and ocular diseases. *International Ophthalmology*, 34(2), 383-400. 10.1007/s10792-013-9791-x
- Yan, B., Chebana, F., Masselot, P., Campagna, C., Gosselin, P., Ouarda, T. B. M. J. et Lavigne, É. (2020). A cold-health watch and warning system, applied to the province of Quebec (Canada). *Science of The Total Environment*, 741, 140188. 10.1016/j.scitotenv.2020.140188

- Yan, Z., Jin, Y., An, Z., Liu, Y., Samet, J. M. et Wu, W. (2016). Inflammatory cell signaling following exposures to particulate matter and ozone. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects*, 1860(12), 2826-2834. 10.1016/j.bbagen.2016.03.030
- Yang, J., Yu, Q. et Gong, P. (2008). Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *Atmospheric Environment*, 42(31), 7266-7273. 10.1016/j.atmosenv.2008.07.003
- Yao, J., Brauer, M. et Henderson, S. B. (2013). Evaluation of a wildfire smoke forecasting system as a tool for public health protection. *Environmental health perspectives*, 121(10), 1142.
- Yao, J., Stieb, D. M., Taylor, E. et Henderson, S. B. (2019). Assessment of the Air Quality Health Index (AQHI) and four alternate AQHI-Plus amendments for wildfire seasons in British Columbia. *Canadian Journal of Public Health*, 1-11. 10.17269/s41997-019-00237-w
- Ye, X., Wolff, R., Yu, W., Vaneckova, P., Pan, X. et Tong, S. (2012). Ambient temperature and morbidity: a review of epidemiological evidence. *Environmental Health Perspectives*, 120(1), 19-28. 10.1289/ehp.1003198
- Youl, P. H., Janda, M. et Kimlin, M. (2009). Vitamin D and sun protection: The impact of mixed public health messages in Australia. *International Journal of Cancer*, 124(8), 1963-1970. 10.1002/ijc.24154
- Young, I., Smith, B. A. et Fazil, A. (2015). A systematic review and meta-analysis of the effects of extreme weather events and other weather-related variables on *Cryptosporidium* and *Giardia* in fresh surface waters. *Journal of Water and Health*, 13(1), 1-17.
- Youssouf, H., Liousse, C., Roblou, L., Assamoi, E.-M., Salonen, R. O., Maesano, C., Banerjee, S. et Annesi-Maesano, I. (2014). Non-accidental health impacts of wildfire smoke. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(11), 11772-11804.
- Yu, W., Mengersen, K., Wang, X., Ye, X., Guo, Y., Pan, X. et Tong, S. (2012). Daily average temperature and mortality among the elderly: a meta-analysis and systematic review of epidemiological evidence. *International Journal of Biometeorology*, 56(4), 569-581. 10.1007/s00484-011-0497-3
- Yu, Z., Yang, G., Zuo, S., Jørgensen, G., Koga, M. et Vejre, H. (2020). Critical review on the cooling effect of urban blue-green space: a threshold-size perspective. *Urban Forestry & Urban Greening*, 49, 126630. 10.1016/j.ufug.2020.126630
- Yuan, C., Ng, E. et Norford, L. K. (2014). Improving air quality in high-density cities by understanding the relationship between air pollutant dispersion and urban morphologies. *Building and Environment*, 71, 245-258. 10.1016/j.buildenv.2013.10.008
- Yusa, A., Berry, P., J. Cheng, J., Ogden, N., Bonsal, B., Stewart, R. et Waldick, R. (2015). Climate change, drought and human health in Canada. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(7), 8359-8412. 10.3390/ijerph120708359
- Zanobetti, A., O'Neill, M. S., Gronlund, C. J. et Schwartz, J. D. (2013). Susceptibility to mortality in weather extremes: effect modification by personal and small area characteristics In a multi-city case-only analysis. *Epidemiology*, 24(6), 809-819. 10.1097/01.ede.0000434432.06765.91
- Zein, J. G. et Erzurum, S. C. (2015). Asthma is different in women. *Current Allergy and Asthma Reports*, 15(6), 28. 10.1007/s11882-015-0528-y

- Zeng, J., Zhang, X., Yang, J., Bao, J., Xiang, H., Dear, K., Liu, Q., Lin, S., Lawrence, W. R. et Lin, A. (2017). Humidity may modify the relationship between temperature and cardiovascular mortality in Zhejiang Province, China. *International journal of environmental research and public health*, 14(11), 1383.
- Zhang, P., Bassil, K., Gower, S., Katic, M., Kiss, A., Gogosis, E. et Hwang, S. W. (2019). Cold-related injuries in a cohort of homeless adults. *Journal of Social Distress and Homelessness*, 28(1), 85-89. <https://doi.org/10.1080/10530789.2018.1523103>
- Zhang, P., Wiens, K., Wang, R., Luong, L., Ansara, D., Gower, S., Bassil, K. et Hwang, S. W. (2019). Cold weather conditions and risk of hypothermia among people experiencing homelessness: implications for prevention strategies. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(18). <https://doi.org/10.3390/ijerph16183259>
- Zhang, X., Flato, G., Kirchmeier-Young, M., Vincent, L., Wan, H., Wang, X., Rong, R., Fyfe, J., Li, G. et Kharin, V. V. (2019). Chapitre 4 : Les changements de températures et de précipitations au Canada. Dans E. Bush et D. S. Lemmen (dir.), *Rapport sur le climat changeant du Canada* (Gouvernement du Canada).
- Zhang, Ying et Sun, L. (2019). Spatial-temporal impacts of urban land use land cover on land surface temperature: case studies of two Canadian urban areas. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 75, 171-181. 10.1016/j.jag.2018.10.005
- Zhang, Yunquan, Xiang, Q., Yu, Y., Zhan, Z., Hu, K. et Ding, Z. (2019). Socio-geographic disparity in cardiorespiratory mortality burden attributable to ambient temperature in the United States. *Environmental Science and Pollution Research International*, 26(1), 694-705. 10.1007/s11356-018-3653-z
- Zhang, Yuqiang, Smith, S. J., Bowden, J. H., Adelman, Z. et West, J. J. (2017). Co-benefits of global, domestic, and sectoral greenhouse gas mitigation for US air quality and human health in 2050. *Environmental Research Letters*, 12(11), 114033. 10.1088/1748-9326/aa8f76
- Zhao, B., Wang, T., Jiang, Z., Gu, Y., Liou, K.-N., Kalandiyur, N., Gao, Y. et Zhu, Y. (2019). Air quality and health cobenefits of different deep decarbonization pathways in California. *Environmental Science & Technology*, 53(12), 7163-7171. 10.1021/acs.est.9b02385
- Zhao, Y., Richardson, B., Takle, E., Chai, L., Schmitt, D. et Xin, H. (2019). Airborne transmission may have played a role in the spread of 2015 highly pathogenic avian influenza outbreaks in the United States. *Scientific Reports*, 9(1), 1-10. 10.1038/s41598-019-47788-z
- Zhong, J., Cai, X.-M. et Bloss, W. J. (2016). Coupling dynamics and chemistry in the air pollution modelling of street canyons: a review. *Environmental Pollution*, 214, 690-704. 10.1016/j.envpol.2016.04.052
- Zhong, S., Yang, L., Toloo, S., Wang, Z., Tong, S., Sun, X., Crompton, D., FitzGerald, G. et Huang, C. (2018). The long-term physical and psychological health impacts of flooding: a systematic mapping. *Science of The Total Environment*, 626, 165-194. 10.1016/j.scitotenv.2018.01.041
- Zick, C. D., Smith, K. R., Kowaleski-Jones, L., Uno, C. et Merrill, B. J. (2013). Harvesting more than vegetables: the potential weight control benefits of community gardening. *American Journal of Public Health*, 103(6), 1110-1115. 10.2105/AJPH.2012.301009

- Ziello, C., Sparks, T. H., Estrella, N., Belmonte, J., Bergmann, K. C., Bucher, E., Brighetti, M. A., Damialis, A., Detandt, M., Galán, C., Gehrig, R., Grewling, L., Gutiérrez Bustillo, A. M., Hallsdóttir, M., Kockhans-Bieda, M.-C., De Linares, C., Myszkowska, D., Páldy, A., Sánchez, A., ... Menzel, A. (2012). Changes to airborne pollen counts across Europe. *PLoS ONE*, 7(4). 10.1371/journal.pone.0034076
- Zimmermann, E., Bracalenti, L., Piacentini, R. et Inostroza, L. (2016). Urban flood risk reduction by increasing green areas for adaptation to climate change. *Procedia Engineering*, 161, 2241-2246. 10.1016/j.proeng.2016.08.822
- Ziska, L. H., George, K. et Frenz, D. A. (2007). Establishment and persistence of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) in disturbed soil as a function of an urban-rural macro-environment. *Global Change Biology*, 13(1), 266-274. 10.1111/j.1365-2486.2006.01264.x
- Ziska, L. H., Yang, J., Tomecek, M. B. et Beggs, P. J. (2016). Cultivar-specific changes in peanut yield, biomass, and allergenicity in response to elevated atmospheric carbon dioxide concentration. *Crop Science*, 56(5), 2766-2774. 10.2135/cropsci2015.12.0741
- Zittermann, A., Iodice, S., Pilz, S., Grant, W. B., Bagnardi, V. et Gandini, S. (2012). Vitamin D deficiency and mortality risk in the general population: a meta-analysis of prospective cohort studies. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 95(1), 91-100. 10.3945/ajcn.111.014779
- Zivin, J. G. et Neidell, M. (2009). Days of haze: environmental information disclosure and intertemporal avoidance behavior. *Journal of Environmental Economics and Management*, 58(2), 119-128. 10.1016/j.jeem.2009.03.001
- Zivin, J. G. et Neidell, M. (2012). The impact of pollution on worker productivity. *American Economic Review*, 102(7), 3652-3673. 10.1257/aer.102.7.3652
- Zivin, J. G. et Neidell, M. (2014). Temperature and the allocation of time: implications for climate change. *Journal of Labor Economics*, 32(1), 1-26. 10.1086/671766
- Zou, S., Foster, G. A., Dodd, R. Y., Petersen, L. R. et Stramer, S. L. (2010). West Nile fever characteristics among viremic persons identified through blood donor screening. *The Journal of Infectious Diseases*, 202(9), 1354-1361. 10.1086/656602

Annexe 1

Stratégie de recherche

Bases de données consultées

EBSCOhost	Web of Science	Littérature grise
<ul style="list-style-type: none"> ▪ CINAHL ▪ Environment Complete ▪ ERIC ▪ Health Policy Reference Center ▪ MEDLINE Complete ▪ Political Science Complete ▪ Psychology and Behavioral Sciences Collection ▪ PsycINFO ▪ Public Affairs Index ▪ SocINDEX with Full Text 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conference Proceedings Citation Index ▪ Science Citation Index Expanded ▪ Social Sciences Citation Index ▪ Arts & Humanities Citation Index ▪ Index Chemicus ▪ Current Chemical Reactions ▪ Conference Proceedings Citation Index: Science and Social Science and Humanities 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Google Scholar ▪ Santécom ▪ Bibliothèque fédérale du Canada ▪ Institut national de la recherche scientifique

Mots-clés

Thèmes	EBSCOhost	Web of Science
0. Changements climatiques/aléas	<p>TI((climate N3 (change OR condition*) OR "global warming" OR (extreme* NEAR/3 (weather OR climat* OR temperature*)) OR (change* NEAR/3 (weather OR climat*)) OR ((natural OR climat* OR weather) N3 (disaster* OR hazard* OR event* OR emergenc* OR catastroph*))) OR AB((climate NEAR/3 (change OR condition*)) OR "global warming" OR (extreme* N3 (weather OR climat* OR temperature*)) OR (change* N3 (weather OR climat*)) OR ((natural OR climat* OR weather) N3 (disaster* OR hazard* OR event* OR emergenc* OR catastroph*))) OR SU((climate N3 (change OR condition*)) OR "global warming" OR (extreme* N3 (weather OR climat* OR temperature*)) OR (change* N3 (weather OR climat*)) OR ((natural OR climat* OR weather) N3 (disaster* OR hazard* OR event* OR emergenc* OR catastroph*)))</p>	<p>TI=((climate NEAR/3 (change OR condition*)) OR "global warming" OR (extreme* NEAR/3 (weather OR climat* OR temperature*)) OR (change* NEAR/3 (weather OR climat*)) OR ((natural OR climat* OR weather) NEAR/3 (disaster* OR hazard* OR event* OR emergenc* OR catastroph*))) OR TS=((climate NEAR/3 (change OR condition*)) OR "global warming" OR (extreme* NEAR/3 (weather OR climat* OR temperature*)) OR (change* NEAR/3 (weather OR climat*)) OR ((natural OR climat* OR weather) NEAR/3 (disaster* OR hazard* OR event* OR emergenc* OR catastroph*))) OR SU=((climate NEAR/3 (change OR condition*)) OR "global warming" OR (extreme* NEAR/3 (weather OR climat* OR temperature*)) OR (change* NEAR/3 (weather OR climat*)) OR ((natural OR climat* OR weather) NEAR/3 (disaster* OR hazard* OR event* OR emergenc* OR catastroph*)))</p>
1. Réchauffement moyen, chaleurs extrêmes et vagues de chaleur	<p>TI(((mean OR hot OR warm* OR high OR humid* OR arid*) N3 (temperature* OR climate* OR weather)) OR "heat wave*" OR heatwave* OR (extreme N3 (heat OR warmth OR temperature*)) OR "heat island*") OR AB(((mean OR hot OR warm OR high OR humid* OR arid*) N3 (temperature* OR climate* OR weather)) OR "heat wave*" OR heatwave* OR (extreme N3 (heat OR warmth OR temperature*)) OR "heat island*") OR SU(((mean OR hot OR warm OR high OR humid* OR arid*) N3 (temperature* OR</p>	<p>TI=(((mean OR hot OR warm* OR high OR humid* OR arid*) NEAR/3 (temperature* OR climate* OR weather)) OR "heat wave*" OR heatwave* OR (extreme NEAR/3 (heat OR warmth OR temperature*)) OR "heat island*") OR TS=(((mean OR hot OR warm OR high OR humid* OR arid*) NEAR/3 (temperature* OR climate* OR weather)) OR "heat wave*" OR heatwave* OR (extreme NEAR/3 (heat OR warmth OR temperature*)) OR "heat island*") OR SU=(((mean OR hot OR warm OR high</p>

Thèmes	EBSCOhost	Web of Science
	climate* OR weather)) OR "heat wave**" OR heatwave* OR (extreme N3 (heat OR warmth OR temperature*)) OR "heat island**")	OR humid* OR arid*) NEAR/3 (temperature* OR climate* OR weather) OR "heat wave**" OR heatwave* OR (extreme NEAR/3 (heat OR warmth OR temperature*)) OR "heat island**")
2. Froideur moyenne, froids extrêmes et vagues de froid	TI((((cold OR cool* OR freez* OR chill* OR frost*) N3 (weather OR temperature* OR climate* OR condition* OR wave* OR snap* OR spell*)) OR coldwave* OR coldspell*) OR AB((((cold OR cool* OR freez* OR chill* OR frost*) N3 (weather OR temperature* OR climate* OR condition* OR wave* OR snap* OR spell*)) OR coldwave* OR coldspell*) OR SU((((cold OR cool* OR freez* OR chill* OR frost*) N3 (weather OR temperature* OR climate* OR condition* OR wave* OR snap* OR spell*)) OR coldwave* OR coldspell*))	TI=(((cold OR cool* OR freez* OR chill* OR frost*) NEAR/3 (weather OR temperature* OR climate* OR condition* OR wave* OR snap* OR spell* OR surge*)) OR coldwave* OR coldspell*) OR TS=(((cold OR cool* OR freez* OR chill* OR frost*) NEAR/3 (weather OR temperature* OR climate* OR condition* OR wave* OR snap* OR spell* OR surge*)) OR coldwave* OR coldspell*) OR SU=(((cold OR cool* OR freez* OR chill* OR frost*) NEAR/3 (weather OR temperature* OR climate* OR condition* OR wave* OR snap* OR spell* OR surge*)) OR coldwave* OR coldspell*))
3. Inondations, submersions côtières et érosion côtière	TI(flood* OR inundation* OR flashflood* OR OR "storm surge**" OR deluge OR ((coast* OR bank* OR streambank* OR shore* OR marine OR littoral) N3 (erosion OR erod* OR scour* OR submer*)) OR ((water* OR sea* OR lake* OR river* OR ocean*) N3 (level* AND rise*)) OR overflow*) OR AB(flood* OR inundation* OR flashflood* OR OR "storm surge**" OR deluge OR ((coast* OR bank* OR streambank* OR shore* OR marine OR littoral) N3 (erosion OR erod* OR scour* OR submer*)) OR ((water* OR sea* OR lake* OR river* OR ocean*) N3 (level* AND rise*)) OR overflow*) OR SU((flood* OR inundation* OR flashflood* OR OR "storm surge**" OR deluge OR ((coast* OR bank* OR streambank* OR shore* OR marine OR littoral) N3 (erosion OR erod* OR scour* OR submer*)) OR ((water* OR sea* OR lake* OR river* OR ocean*) N3 (level* AND rise*)) OR overflow*)	TI=(flood* OR inundation* OR flashflood* OR "storm surge**" OR deluge OR ((coast* OR bank* OR streambank* OR shore* OR marine OR littoral) NEAR/3 (erosion OR erod* OR scour* OR submer*)) OR ((water* OR sea* OR lake* OR river* OR ocean*) NEAR/3 (level* OR rise*)) OR overflow*) OR TS=(flood* OR inundation* OR flashflood* OR "storm surge**" OR deluge OR ((coast* OR bank* OR streambank* OR shore* OR marine OR littoral) NEAR/3 (erosion OR erod* OR scour* OR submer*)) OR ((water* OR sea* OR lake* OR river* OR ocean*) NEAR/3 (level* OR rise*)) OR overflow*) OR SU=(flood* OR inundation* OR flashflood* OR "storm surge**" OR deluge OR ((coast* OR bank* OR streambank* OR shore* OR marine OR littoral) NEAR/3 (erosion OR erod* OR scour* OR submer*)) OR ((water* OR sea* OR lake* OR river* OR ocean*) NEAR/3 (level* OR rise*)) OR overflow*)
4. Tempêtes et précipitations	TI(wind# OR gust* OR windstorm* OR thunder* OR snowstorm* OR tornado* OR twister* OR hurricane* OR cyclone* OR lightning OR tempest* OR thunder* OR storm* OR precipitation* OR rain* OR downfall* OR downpour* OR shower* OR thundershower* OR blizzard* OR snow* OR hail* OR sleet OR frost OR (ic* N3 (surface OR outside OR outdoors)) OR AB(wind# OR gust* OR windstorm* OR thunder* OR snowstorm* OR tornado* OR twister* OR hurricane* OR cyclone* OR lightning OR tempest* OR thunder* OR storm* OR precipitation* OR rain* OR downfall* OR downpour* OR shower* OR	TI=(wind\$ OR gust* OR windstorm* OR thunder* OR snowstorm* OR tornado* OR twister* OR hurricane* OR cyclone* OR lightning OR tempest* OR thunder* OR storm* OR precipitation* OR rain* OR downfall* OR downpour* OR shower* OR thundershower* OR blizzard* OR snow* OR hail* OR sleet OR frost OR (ice NEAR/3 (surface OR outside OR outdoors))) OR TS=(wind\$ OR gust* OR windstorm* OR thunder* OR snowstorm* OR tornado* OR twister* OR hurricane* OR cyclone* OR lightning OR tempest* OR thunder* OR storm* OR precipitation* OR rain* OR downfall* OR downpour* OR

Thèmes	EBSCOhost	Web of Science
	thundershower* OR blizzard* OR snow* OR hail* OR sleet OR frost OR (ic* N3 (surface OR outside OR outdoors)) OR SU(wind# OR gust* OR windstorm* OR thunder* OR snowstorm* OR tornado* OR twister* OR hurricane* OR cyclone* OR lightning OR tempest* OR thunder* OR storm* OR precipitation* OR rain* OR downfall* OR downpour* OR shower* OR thundershower* OR blizzard* OR snow* OR hail* OR sleet OR frost OR (ic* N3 (surface OR outside OR outdoors)))	shower* OR thundershower* OR blizzard* OR snow* OR hail* OR sleet OR frost OR (ice NEAR/3 (surface OR outside OR outdoors))) OR SU=(wind\$ OR gust* OR windstorm* OR thunder* OR snowstorm* OR tornado* OR twister* OR hurricane* OR cyclone* OR lightning OR tempest* OR thunder* OR storm* OR precipitation* OR rain* OR downfall* OR downpour* OR shower* OR thundershower* OR blizzard* OR snow* OR hail* OR sleet OR frost OR (ice NEAR/3 (surface OR outside OR outdoors)))
5. Pollution de l'air ambiant	TI(((air* OR atmospheric) N5 (qualit* OR pollut* OR condition* OR particul*)) OR "fossil fuel*" OR ozone OR ((nitrogen OR carbon OR sulfur) N1 (oxide* OR dioxide*)) OR ("particulate matter*" OR PM2.5 OR PM10)) OR AB(((air* OR atmospheric) N5 (qualit* OR pollut* OR condition* OR particul*)) OR "fossil fuel*" OR ozone OR ((nitrogen OR carbon OR sulfur) N1 (oxide* OR dioxide*)) OR ("particulate matter*" OR PM2.5 OR PM10)) OR SU(((air* OR atmospheric) N5 (qualit* OR pollut* OR condition* OR particul*)) OR "fossil fuel*" OR ozone OR ((nitrogen OR carbon OR sulfur) N1 (oxide* OR dioxide*)) OR ("particulate matter*" OR PM2.5 OR PM10))	TI(((air* OR atmospheric) NEAR/5 (qualit* OR pollut* OR condition* OR particul*)) OR "fossil fuel*" OR ozone OR ((nitrogen OR carbon OR sulfur) NEAR/1 *oxide*) OR ("particulate matter*" OR PM2.5 OR PM10)) OR TS(((air* OR atmospheric) NEAR/5 (qualit* OR pollut* OR condition* OR particul*)) OR "fossil fuel*" OR ozone OR ((nitrogen OR carbon OR sulfur) NEAR/1 *oxide*)) OR ("particulate matter*" OR PM2.5 OR PM10)) OR SU=(((air* OR atmospheric) NEAR/5 (qualit* OR pollut* OR condition* OR particul*)) OR "fossil fuel*" OR ozone OR ((nitrogen OR carbon OR sulfur) NEAR/1 (oxide* OR dioxide*)) OR ("particulate matter*" OR PM2.5 OR PM10))
6. Allergènes	TI((aer* OR air*) N3 allergen*) OR aeroallergen* OR pollen* OR ragweed* OR ambrosia) OR AB(((aer* OR air*) N3 allergen*) OR aeroallergen* OR pollen* OR ragweed* OR ambrosia) OR SU(((aer* OR air*) N3 allergen*) OR aeroallergen* OR pollen* OR ragweed* OR ambrosia)	TI=(((aer* OR air*) NEAR/3 allergen*) OR aeroallergen* OR pollen* OR ragweed* OR ambrosia) OR TS=(((aer* OR air*) NEAR/3 allergen*) OR aeroallergen* OR pollen* OR ragweed* OR ambrosia) OR SU=(((aer* OR air*) NEAR/3 allergen*) OR aeroallergen* OR pollen* OR ragweed* OR ambrosia)
7. Feux de forêt	TI(((forest* OR wild OR bush OR brush) N3 (fire* OR burn* OR flame*)) OR wildfire* OR bushfire* OR brushfire*) OR AB(((forest* OR wild OR bush OR brush) N3 (fire* OR burn* OR flame*)) OR wildfire* OR bushfire* OR brushfire*) OR SU(((forest* OR wild OR bush OR brush) N3 (fire* OR burn* OR flame*)) OR wildfire* OR bushfire* OR brushfire*)	TI=(((forest* OR wild OR bush OR brush) NEAR/3 (fire* OR burn* OR flame*)) OR wildfire* OR bushfire* OR brushfire*) OR TS=(((forest* OR wild OR bush OR brush) NEAR/3 (fire* OR burn* OR flame*)) OR wildfire* OR bushfire* OR brushfire*) OR SU=(((forest* OR wild OR bush OR brush) NEAR/3 (fire* OR burn* OR flame*)) OR wildfire* OR bushfire* OR brushfire*)
8. Sécheresses et insécurité alimentaire	TI(drought* OR "dry spell*" OR (precipitation* N1 low) OR (food N3 *security) OR AB(drought* OR "dry spell*" OR (precipitation* N3 low) OR (food N3 *security)) OR SU(drought* OR "dry spell*" OR (precipitation* N3 low) OR (food N3 *security))	TI=(drought* OR "dry spell*" OR (precipitation* N1 low) OR (food N3 *security)) OR TS=(drought* OR "dry spell*" OR (precipitation* N1 low) OR (food N3 *security)) OR SU=(drought* OR "dry spell*" OR (precipitation* N1 low) OR (food N3 *security))
9. Pollution de l'eau, insalubrité	TI(((vector* OR water OR mosquito* OR animal* OR insect OR food) N1 (borne OR safety OR pollution)) N5 (disease* OR	TI=(((vector* OR water OR mosquito* OR animal* OR insect OR food) NEAR/1 (borne OR safety OR pollution)) NEAR/5

Thèmes	EBSCOhost	Web of Science
alimentaire et zoonoses	infection* OR disorder* OR pathogen* OR virus* OR illness* OR fever* OR bacteria) OR zoono* OR "West Nile virus" or "Lyme disease") OR AB(((vector* OR water OR mosquito* OR animal* OR insect OR food) N1 (borne OR safety OR pollution)) N5 (disease* OR infection* OR disorder* OR pathogen* OR virus* OR illness* OR fever* OR bacteria) OR zoono* OR "West Nile virus" or "Lyme disease") OR SU(((vector* OR water OR mosquito* OR animal* OR insect OR food) N1 (borne OR safety OR pollution)) N5 (disease* OR infection* OR disorder* OR pathogen* OR virus* OR illness* OR fever* OR bacteri*) OR zoono* OR "West Nile virus" or "Lyme disease")	(disease* OR infection* OR disorder* OR pathogen* OR virus* OR illness* OR fever* OR bacteri*) OR zoono* OR "West Nile virus" or "Lyme disease") OR TS(((vector* OR water OR mosquito* OR animal* OR insect OR food) NEAR/1 (borne OR safety OR pollution)) NEAR/5 (disease* OR infection* OR disorder* OR pathogen* OR virus* OR illness* OR fever* OR bacteri*) OR zoono* OR "West Nile virus" or "Lyme disease") OR SU(((vector* OR water OR mosquito* OR animal* OR insect OR food) NEAR/1 (borne OR safety OR pollution)) NEAR/5 (disease* OR infection* OR disorder* OR pathogen* OR virus* OR illness* OR fever* OR bacteri*) OR zoono* OR "West Nile virus" or "Lyme disease")
10. Rayons ultraviolets	TI(((ultraviolet OR UV OR sun) N3 (exposure* OR ray* OR radiation*)) AND (climate OR meteo*)) OR AB(((ultraviolet OR UV OR sun) N3 (exposure* OR ray* OR radiation*)) AND (climate OR meteo*)) AND SU(((ultraviolet OR UV OR sun) N3 (exposure* OR ray* OR radiation*)) AND (climate OR meteo*))	TI=(((ultraviolet OR UV OR sun) NEAR/3 (exposure* OR ray* OR radiation*)) AND (climate OR meteo*)) OR TS=(((ultraviolet OR UV OR sun) NEAR/3 (exposure* OR ray* OR radiation*)) AND (climate OR meteo*)) AND SU=(((ultraviolet OR UV OR sun) NEAR/3 (exposure* OR ray* OR radiation*)) AND (climate OR meteo*))
11. Glissements de terrains, avalanches et dégel du pergélisol	TI(landslide* OR landslip* OR mudslide* OR rockslide* OR avalanche* OR snowslide* OR (permafrost N3 (thaw* OR melt* OR unfreez*)) OR AB(landslide* OR landslip* OR mudslide* OR rockslide* OR avalanche* OR snowslide* OR (permafrost N3 (thaw* OR melt* OR unfreez*)) OR SU(landslide* OR landslip* OR mudslide* OR rockslide* OR avalanche* OR snowslide* OR (permafrost N3 (thaw* OR melt* OR unfreez*))	TI=(landslide* OR landslip* OR mudslide* OR rockslide* OR avalanche* OR snowslide* OR (permafrost NEAR/3 (thaw* OR melt* OR unfreez*))) OR TS=(landslide* OR landslip* OR mudslide* OR rockslide* OR avalanche* OR snowslide* OR (permafrost NEAR/3 (thaw* OR melt* OR unfreez*))) OR SU=(landslide* OR landslip* OR mudslide* OR rockslide* OR avalanche* OR snowslide* OR (permafrost NEAR/3 (thaw* OR melt* OR unfreez*)))
12. Santé	TI((((mental OR psycho* OR neuro* OR behavio#* OR physi* OR body OR human* OR social OR socio* OR emotion* OR occupation*) N3 (health OR "well-being" OR wellbeing OR wellness OR disorder* OR problem* OR symptom* OR vulnerab*)) OR solastalgi* OR ((communit* OR citizen* OR soci*) N2 (cooperation* OR develop* OR involvement* OR sense OR cohesion OR resilience OR participat* OR assistance OR stabilit* OR effort* OR support)) OR safety OR security OR infirmit* OR wound* OR injur* OR accident* OR trauma* OR virus* OR bacteri* OR patho* OR infection* OR fung* OR mortality OR morbidity OR casual* OR disease* OR illness* OR hospitali?ation OR depression OR (food N3 (quality OR quantit* OR nutrit* OR content*)) OR burn# OR	TI=((((mental OR psycho* OR neuro* OR behavio\$r* OR physi* OR body OR human* OR social OR socio* OR emotion* OR occupation*) NEAR/3 (health OR "well-being" OR wellbeing OR wellness OR disorder* OR problem* OR symptom* OR vulnerab*)) OR solastalgi* OR ((communit* OR citizen* OR soci*) NEAR/2 (cooperation* OR develop* OR involvement* OR sense OR cohesion OR resilience OR participat* OR assistance OR stabilit* OR effort* OR support)) OR safety OR security OR infirmit* OR wound* OR injur* OR accident* OR trauma* OR virus* OR bacteri* OR patho* OR infection* OR fung* OR mortality OR morbidity OR casual* OR disease* OR illness* OR hospitali?ation OR depression OR (food NEAR/3 (quality OR quantit* OR nutrit* OR content*)) OR burn\$ OR

Thèmes	EBSCOhost	Web of Science
	<p>diabet* OR cancer* OR hypertension OR obesity) OR AB(((mental OR psycho* OR neuro* OR behavio#r*OR physi* OR body OR human* OR social OR socio* OR emotion* OR occupation*) N3 (health OR "well-being" OR wellbeing OR wellness OR disorder* OR problem* OR symptom* OR vulnerab*)) OR solastalgi* OR ((communit* OR citizen* OR soci*) N2 (cooperation* OR develop* OR involvement* OR sense OR cohesion OR resilience OR participat* OR assistance OR stabilit* OR effort* OR support)) OR safety OR security OR infirmit* OR wound* OR injur* OR accident* OR trauma* OR virus* OR bacteri* OR patho* OR infection* OR fung* OR mortality OR morbidity OR casualt* OR disease* OR illness* OR hospitali?ation OR depression OR (food N3 (quality OR quantit* OR nutrit* OR content*)) OR burn# OR diabet* OR cancer* OR hypertension OR obesity) OR SU(((mental OR psycho* OR neuro* OR behavio#r*OR physi* OR body OR human* OR social OR socio* OR emotion* OR occupation*) N3 (health OR "well-being" OR wellbeing OR wellness OR disorder* OR problem* OR symptom* OR vulnerab*)) OR solastalgi* OR ((communit* OR citizen* OR soci*) N2 (cooperation* OR develop* OR involvement* OR sense OR cohesion OR resilience OR participat* OR assistance OR stabilit* OR effort* OR support)) OR safety OR security OR infirmit* OR wound* OR injur* OR accident* OR trauma* OR virus* OR bacteri* OR patho* OR infection* OR fung* OR mortality OR morbidity OR casualt* OR disease* OR illness* OR hospitali?ation OR depression OR (food N3 (quality OR quantit* OR nutrit* OR content*)) OR burn# OR diabet* OR cancer* OR hypertension OR obesity))</p>	<p>diabet* OR cancer* OR hypertension OR obesity) OR TS=(((mental OR psycho* OR neuro* OR behavio#r* OR physi* OR body OR human* OR social OR socio* OR emotion* OR occupation*) NEAR/3 (health OR "well-being" OR wellbeing OR wellness OR disorder* OR problem* OR symptom* OR vulnerab*)) OR solastalgi* OR ((communit* OR citizen* OR soci*) NEAR/2 (cooperation* OR develop* OR involvement* OR sense OR cohesion OR resilience OR participat* OR assistance OR stabilit* OR effort* OR support)) OR safety OR security OR infirmit* OR wound* OR injur* OR accident* OR trauma* OR virus* OR bacteri* OR patho* OR infection* OR fung* OR mortality OR morbidity OR casualt* OR disease* OR illness* OR hospitali?ation OR depression OR (food NEAR/3 (quality OR quantit* OR nutrit* OR content*)) OR burn\$ OR diabet* OR cancer* OR hypertension OR obesity) OR SU=(((mental OR psycho* OR neuro* OR behavio#r* OR physi* OR body OR human* OR social OR socio* OR emotion* OR occupation*) NEAR/3 (health OR "well-being" OR wellbeing OR wellness OR disorder* OR problem* OR symptom* OR vulnerab*)) OR solastalgi* OR ((communit* OR citizen* OR soci*) NEAR/2 (cooperation* OR develop* OR involvement* OR sense OR cohesion OR resilience OR participat* OR assistance OR stabilit* OR effort* OR support)) OR safety OR security OR infirmit* OR wound* OR injur* OR accident* OR trauma* OR virus* OR bacteri* OR patho* OR infection* OR fung* OR mortality OR morbidity OR casualt* OR disease* OR illness* OR hospitali?ation OR depression OR (food NEAR/3 (quality OR quantit* OR nutrit* OR content*)) OR burn\$ OR diabet* OR cancer* OR hypertension OR obesity)</p>
12. Période	(DT 2008-2018)	(PY=2008-2018)
13. Combinaison	0 AND (1 OR 2 OR 3 OR 4 OR 5 OR 6 OR 7 OR 8 OR 9 OR 10 OR 11) AND 12	0 AND (1 OR 2 OR 3 OR 4 OR 5 OR 6 OR 7 OR 8 OR 9 OR 10 OR 11) AND 12

Critères d'inclusion et d'exclusion

Critères d'inclusion	Critères d'exclusion
<ul style="list-style-type: none">La population ou l'objet à l'étude est localisé sur le territoire canadien ou dans un pays de l'OCDE.L'article traite des conséquences, de populations vulnérables ou de mesures d'adaptation liées à un aléa climatique ou à l'évolution des conditions climatiques.L'article traite directement ou indirectement d'impacts directs ou indirects pouvant être reliés à la santé physique ou psychosociale de la population, ou traite de mesures d'adaptation visant à atténuer les impacts sur la santé.L'article a un résumé et le texte complet peut être consulté.	<ul style="list-style-type: none">La population ou l'objet à l'étude n'est pas localisé au Canada ou dans un pays de l'OCDE.L'article traite de conséquences liées à un aléa anthropique ou sans lien avec les changements climatiques.L'article traite de conséquences économiques, financières, politiques ou écologiques des changements climatiques sans référence des impacts potentiels sur la santé humaine.L'article n'a pas de résumé ou le texte complet ne peut être consulté.

Centre d'expertise
et de référence

www.inspq.qc.ca