



Quelles seront les répercussions des changements climatiques sur les maladies microbiennes d'origine alimentaire au Canada?

BA Smith^{1*}, A Fazil¹

Résumé

Les maladies d'origine alimentaire sont très préoccupantes au Canada et elles constituent une menace importante pour la santé publique, liée aux changements climatiques. On sait que les variables climatiques, comme les régimes de température et de précipitations, les phénomènes météorologiques extrêmes et le réchauffement et l'acidification des océans, ont des effets importants, complexes et interreliés sur l'ensemble de la chaîne alimentaire. Les maladies d'origine alimentaire sont causées par toute une gamme de bactéries, de champignons, de parasites et de virus, et la prévalence de ces maladies est affectée par les changements climatiques, dû à la fluctuation de l'abondance, de la croissance, de l'étendue et de la survie de nombreux agents pathogènes ainsi qu'une modification des comportements humains et des facteurs de transmission, comme les vecteurs fauniques. À mesure que les changements climatiques se poursuivent ou s'accroissent, ils auront une incidence négative accrue sur la salubrité des aliments au Canada, allant de l'alourdissement du fardeau de la santé publique à l'émergence de risques absents jusqu'à présent dans notre chaîne alimentaire. Les cliniciens et les praticiens de la santé publique doivent connaître les risques existants et émergents pour y réagir en conséquence.

Citation proposée : Smith BA, Fazil A. Quelles seront les répercussions des changements climatiques sur les maladies microbiennes d'origine alimentaire au Canada? *Relevé des maladies transmissibles au Canada* 2019;45(4):119–25. <https://doi.org/10.14745/ccdr.v45i04a05f>

Mots clés : Canada, changements climatiques, maladies d'origine alimentaire, salubrité des aliments

Introduction

Bien des changements climatiques observés récemment sont sans précédent au cours des dernières décennies, voire des millénaires (1,2). Les changements que devraient subir les variables climatiques au Canada, ce qui comprend les mesures de la température et des précipitations, sont bien connus (3). On s'attend notamment à voir une augmentation des précipitations et des valeurs moyennes des températures de l'air et de l'eau partout au pays, et à observer des variations régionales et saisonnières (4). Les conséquences des changements climatiques sont déjà évidentes au Canada (2), et d'autres effets importants et variés sont attendus dans de nombreux domaines, dont la prévalence des maladies d'origine alimentaire. Dernièrement, l'Organisation mondiale de la Santé a publié un rapport estimant la charge des maladies d'origine alimentaire imputable à 31 agents (bactéries, virus, parasites, toxines et produits chimiques). Selon le rapport, ces agents avaient causé 600 millions de maladies d'origine alimentaire et 420 000 décès en 2010 à l'échelle mondiale (5). Au Canada seulement, on estime à quatre millions le nombre de cas de maladies microbiennes d'origine alimentaire par année, pour la période de 2000 à 2010 (6). Voilà pourquoi une augmentation des cas

de maladies d'origine alimentaire causées par les changements climatiques exacerberait les préoccupations déjà importantes en matière de santé publique au Canada.

On estime que les défis liés à la salubrité des aliments, à la sécurité alimentaire et au système alimentaire posent les plus grandes menaces à l'échelle mondiale pour la santé humaine, du fait de leur lien avec les changements climatiques (7–12). Les chercheurs s'attendaient à un lien entre les maladies d'origine alimentaire et les changements climatiques en raison de la sensibilité aux variables climatiques et météorologiques des agents pathogènes responsables de nombreuses maladies d'origine alimentaire (13–21). Malgré leur importance évidente, les questions relatives à la salubrité des aliments ont reçu peu d'attention dans les articles sur le lien entre le climat et la santé, comparativement à d'autres indicateurs de la santé (12). L'article qui suit résume la façon dont les changements climatiques accroîtront le risque des maladies microbiennes d'origine alimentaire et propose des mesures à prendre pour résoudre ce problème.

Cette oeuvre est mise à la disposition selon les termes de la licence internationale Creative Commons Attribution 4.0



Affiliation

¹ Laboratoire national de microbiologie, Agence de la santé publique du Canada, Guelph (Ontario)

*Correspondance:

ben.smith@canada.ca



Effet des changements climatiques sur les maladies d'origine alimentaire

Les variables climatiques qui ont la plus grande incidence sur les maladies d'origine alimentaire sont la hausse des températures de l'air et de l'eau et l'augmentation des précipitations (13,14). Ces variables ont une incidence sur les maladies d'origine alimentaire de trois manières : l'abondance, la croissance, l'étendue et la survie des agents pathogènes dans les cultures, le bétail et l'environnement (22); les facteurs d'exposition des humains, comme les pratiques culinaires, la manipulation des aliments et les préférences alimentaires qui subissent l'influence d'une plus longue période de températures chaudes; et les facteurs de transmission, comme les vecteurs fauniques, qui transfèrent les agents pathogènes aux aliments.

Des études provenant de régions qui ont des caractéristiques climatiques et saisonnières semblables à celles du Canada ont établi un lien entre les tendances saisonnières et la contamination et les maladies d'origine alimentaire (13,14). Ces études ont rapporté l'existence d'une forte corrélation entre la hausse des températures de l'air et de l'eau et une saison estivale transformée et prolongée pour les infections causées par les espèces de vibrions autres que celle causant le choléra. Cette sensibilité au climat était si grande qu'il a été proposé d'utiliser les espèces de vibrions autres que celle causant le choléra en tant qu'indicateurs des changements climatiques dans les systèmes marins (23). De la même manière, une analyse chronologique a révélé que les taux de maladies entériques variaient selon les saisons au Canada et qu'il existait une forte corrélation entre la température de l'air ambiant et les infections causées par les espèces de *Campylobacter*, l'*Escherichia coli* pathogène et les espèces de *Salmonella* (24). Ces résultats ressemblent généralement à ceux présentés dans d'autres pays (13–17,25,26).

La croissance, la survie, l'abondance et l'étendue des agents pathogènes subiront l'effet des changements climatiques dans l'ensemble de la chaîne alimentaire. La croissance et la survie des agents pathogènes sont intimement liées aux facteurs climatiques (souvent la température ambiante) (14). Par exemple, la survie de l'*E. coli* dépend de la température, de l'humidité et des interactions avec la communauté microbienne (27), avec une plus grande croissance à des températures plus élevées, dans les limites (28). Le bétail qui ressent du stress à des températures plus élevées peut excréter de plus grandes quantités d'agents pathogènes entériques (29,30), ce qui influe sur la prévalence des pathogènes dans les cultures, l'environnement et les produits agricoles. Les agents pathogènes peuvent s'étendre et s'établir dans de nouvelles régions du Canada à mesure que les conditions climatiques deviennent favorables à leur croissance. Les précipitations peuvent déplacer les agents pathogènes dans l'environnement et contaminer les sources de nourriture, comme les cultures et les installations à bétail.

Les facteurs d'exposition des humains sont aussi liés aux changements climatiques. À mesure que la saison estivale est plus longue, on s'attend à une augmentation du nombre de cas de manipulation inadéquate d'aliments menant à une contamination croisée ou à une cuisson insuffisante. Cette hausse de la manipulation inadéquate des aliments par les consommateurs s'explique en partie par les différences entre les méthodes de préparation à la cuisson (p. ex. la cuisson au barbecue, couramment utilisée durant l'été) ou diverses habitudes de consommation (p. ex. pique-niques) (18,31,32). Le taux de contamination des produits carnés par des espèces de *Salmonella* au Canada est le même lors de la saison estivale que durant le reste de l'année (*données non publiées, BA Smith, Laboratoire national de microbiologie, Guelph, Ontario*), mais les cas de salmonellose affligeant les humains augmentent durant cette période de l'année dans certaines régions (24,31). Cette observation semble indiquer que les facteurs d'exposition des humains font augmenter les taux de salmonellose (31), lesquels dépendent du climat. Les préférences alimentaires se transformeront probablement en raison de la plus grande disponibilité des aliments. Par exemple, une saison de croissance estivale plus longue peut accroître la consommation de fruits et légumes frais, un facteur qui est également lié aux maladies d'origine alimentaire (33,34).

Enfin, les changements climatiques peuvent avoir des répercussions indirectes sur les maladies d'origine alimentaire par une augmentation de l'activité, de l'étendue et des taux de reproduction des vecteurs fauniques (35). Les vecteurs fauniques peuvent transmettre des agents pathogènes aux aliments de différentes façons. La présence de rongeurs et d'insectes, comme les coléoptères, les mouches, et les blattes dans les fermes est associée à une augmentation de la contamination des troupeaux de poulets de chair par les espèces de *Campylobacter* (36). Les produits agricoles comme la laitue ou les fraises sont habituellement cultivés dans des champs ou des zones rurales où peuvent s'introduire des animaux sauvages comme des chevreuils, qui sont connus pour être des porteurs d'agents pathogènes humains (37,38). Les espèces de vibrions peuvent être transmises aux huîtres dans les milieux marins par des vecteurs liés au phytoplancton, au zooplancton et aux copépodes (39). L'incidence des changements climatiques sur chacun de ces vecteurs peut entraîner une transformation de la contamination et des maladies d'origine alimentaire.

Maladies d'origine alimentaire actuelles et émergentes

L'identification des agents responsables permet d'établir que les cinq bactéries causant plus de 90 % des maladies d'origine alimentaire au Canada sont les norovirus, le *Clostridium perfringens*, les espèces de *Campylobacter*, les espèces de *Salmonella* et le *Bacillus cereus* (Tableau 1) (6). On sait que les variables climatiques ont un effet sur quatre de ces agents pathogènes. Étant donné les changements climatiques prévus au



Tableau 1 : Principaux agents pathogènes d'origine alimentaire classés actuellement au Canada dont il faut tenir compte dans le contexte des changements climatiques (6)

Agent pathogène	Symptômes (42)	Cas actuels par 100 000 personnes (6)	Influence du climat sur l'occurrence (20,43)
Norovirus	Les symptômes comprennent des nausées, des vomissements, de la diarrhée, des crampes abdominales, une fièvre légère, des frissons, des maux de tête, des douleurs musculaires et de la fatigue	3 223,79	Les phénomènes météorologiques extrêmes (comme les précipitations abondantes et les inondations) et une diminution de la température de l'air
<i>Clostridium perfringens</i>	Les symptômes comprennent de la diarrhée, de la douleur et des crampes, des gonflements de l'estomac, des ballonnements, des nausées, une perte de poids, une perte d'appétit, des douleurs musculaires et de la fatigue. Dans de rares cas, il y a grave déshydratation, hospitalisation et décès	544,50	Incertaine
Espèces de <i>Campylobacter</i>	Les symptômes comprennent de la fièvre, des nausées, des vomissements, des douleurs à l'estomac et de la diarrhée. Dans de rares cas, une hospitalisation est nécessaire et il y a des effets à long terme sur la santé, voire un décès	447,23	Des modifications au moment et à la durée des saisons et une augmentation des températures de l'air, des précipitations et des inondations
Espèces de <i>Salmonella</i> , non typhoïdiques	Les symptômes comprennent des frissons, de la fièvre, des nausées, de la diarrhée, des vomissements, des crampes abdominales et des maux de tête. Dans de rares cas, une hospitalisation est nécessaire et il y a des effets à long terme sur la santé, voire un décès	269,26	Des modifications au moment et à la durée des saisons, des phénomènes météorologiques extrêmes, et une hausse des températures de l'air
<i>Bacillus cereus</i>	Les symptômes comprennent de la diarrhée ou des vomissements Dans de rares cas, une hospitalisation est nécessaire et il y a des effets à long terme sur la santé, voire un décès	111,60	Des modifications au moment et à la durée des saisons et des sécheresses
<i>Escherichia coli</i> producteur de vérotoxine non-O157	Les symptômes comprennent de la diarrhée. Dans de rares cas, une hospitalisation est nécessaire et il y a des effets à long terme sur la santé, voire un décès	63,15	Des modifications au moment et à la durée des saisons, des phénomènes météorologiques extrêmes, et une hausse des températures de l'air
<i>Escherichia coli</i> producteur de vérotoxine O157	Les symptômes comprennent de la diarrhée. Dans de rares cas, une hospitalisation est nécessaire et il y a des effets à long terme sur la santé, voire un décès	39,47	Des modifications au moment et à la durée des saisons, des phénomènes météorologiques extrêmes, et une hausse des températures de l'air
<i>Toxoplasma gondii</i>	Les symptômes comprennent une maladie légère à modérée avec de la fièvre. Dans de rares cas, il y a inflammation du cerveau et infection d'autres organes, et anomalies congénitales	28,10	Des phénomènes météorologiques extrêmes, et une hausse des températures de l'air et des précipitations (44)
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	Les symptômes comprennent de la diarrhée, des crampes abdominales, des nausées, des vomissements, de la fièvre et des maux de tête. Dans de rares cas, il y a maladie du foie	5,53	Des phénomènes météorologiques extrêmes et une augmentation des températures de l'air et de la température de la surface de la mer
<i>Listeria monocytogenes</i>	Les symptômes comprennent de la fièvre, des nausées, des crampes, de la diarrhée, des vomissements, des maux de tête, de la constipation et des douleurs musculaires. Dans les cas graves, il y a des raideurs à la nuque, de la confusion, des maux de tête, des pertes d'équilibre, des fausses couches, des mortinaissances, des accouchements prématurés, des méningites et des décès	0,55	Des phénomènes météorologiques extrêmes, et une hausse des températures de l'air et des précipitations
<i>Vibrio vulnificus</i>	Les symptômes comprennent de la diarrhée, des crampes abdominales, des nausées, des vomissements, de la fièvre et des maux de tête. Dans de rares cas, il y a maladie du foie	Moins de 0,01	Des phénomènes météorologiques extrêmes et une augmentation des températures de l'air et de la température de la surface de la mer

Abréviation : esp., espèces

NB : Les cinq agents pathogènes d'origine alimentaire les plus courants sont les norovirus, le *Clostridium perfringens*, les espèces de *Campylobacter*, les espèces de *Salmonella* et le *Bacillus cereus*



Canada, on s'attend à un alourdissement de la charge globale de ces agents pathogènes et d'autres agents. D'autres agents pathogènes classés plus bas au Canada (6), pour lesquels on connaît l'existence d'un lien entre le climat et les maladies d'origine alimentaire, sont aussi inclus dans le tableau 1. Des généralisations sont évidentes (p. ex. une hausse des événements extrêmes, des précipitations et de la température augmente l'incidence de nombreuses maladies d'origine alimentaire), mais la répercussion précise des changements climatiques est propre aux agents pathogènes et aux produits. On a établi un lien entre l'incidence des espèces de vibrions, d'une part, et les températures de l'air et de l'eau et les habitudes de consommation, d'autre part (40,41); on s'attend à ce que le classement relatif des espèces de vibrions augmente avec les changements climatiques.

Autres problèmes relatifs aux maladies d'origine alimentaire

Il existe d'autres infections d'origine alimentaire moins fréquentes qui pourraient se manifester davantage avec les changements climatiques et alourdir le fardeau de la santé personnelle et de la santé publique. Les mycotoxines, produites par des champignons sur des cultures comme le maïs et les céréales, prolifèrent quand la température de l'air, l'humidité et les précipitations augmentent (45). La hausse du stress induit par la température ou la modification des conditions d'hébergement du bétail en raison des changements climatiques peuvent aussi accroître l'usage d'antimicrobiens chez les animaux destinés à l'alimentation, ce qui risque de faire augmenter les cas de maladies d'origine alimentaire résistantes aux antimicrobiens chez les êtres humains (46). Étant donné que les changements climatiques constituent un problème mondial et que le Canada importe un grand pourcentage de ses aliments, surtout durant les mois d'hiver, on s'attend à des répercussions sur la contamination des aliments importés par des agents pathogènes provenant de l'étranger.

Réaction clinique et de la santé publique

Les systèmes médicaux et de santé publique et la population doivent se préparer à la hausse attendue du taux de maladies causées par des agents pathogènes connus et à l'émergence de maladies provoquées par des agents pathogènes exotiques ou moins bien connus. Les cliniciens doivent se tenir au courant des tendances des maladies d'origine alimentaire pour mieux comprendre, reconnaître, diagnostiquer et traiter ces cas tout en tenant compte des tendances à la résistance aux antimicrobiens. La santé publique doit se préparer pour un plus grand nombre d'épidémies. Il faudra accroître la capacité des laboratoires pour déceler la hausse des nouvelles infections persistantes. Il faudra sensibiliser davantage la population à cette tendance liée au climat et à l'importance de bonnes pratiques visant la salubrité des aliments. Et comme toujours, il faudra renforcer nos systèmes

de surveillance pour suivre les tendances changeantes et mieux comprendre le profil variable des maladies et la distribution des réservoirs animaux.

Discussion

Les changements climatiques augmenteront les risques posés par les maladies d'origine alimentaire existantes et nouvelles, surtout en raison de l'accroissement des phénomènes extrêmes, de la hausse des températures de l'air et de l'eau et de la modification de la fréquence et de l'intensité des précipitations. Il est toutefois important de noter que ces tendances relatives aux maladies d'origine alimentaire et aux changements climatiques font appel à des systèmes complexes et à de nombreux facteurs en interaction (47).

La répercussion des changements climatiques sur les maladies d'origine alimentaire n'est pas une relation linéaire puisqu'elle dépend de facteurs de risque modifiables. Les efforts déployés pour réduire au minimum l'incidence et la répercussion des maladies d'origine alimentaire liées au climat devraient être concentrés sur ces facteurs modifiables par des interventions dans les exploitations agricoles (comme la lutte antivectorielle), d'actions de la part des transformateurs (comme de meilleures procédures de nettoyage) ainsi que de mesures visant à modifier les comportements humains pour favoriser la salubrité des aliments. D'autres facteurs auront aussi une répercussion sur l'incidence des maladies d'origine alimentaire, comme une population vieillissante et de plus en plus diversifiée et les changements relatifs aux aliments importés; bon nombre de ces facteurs sont sensibles aux changements climatiques, mais ils ne sont pas souvent pris en compte de façon explicite dans les recherches sur les changements climatiques et la salubrité des aliments.

Futures orientations

Des recherches interdisciplinaires menées à l'aide de divers outils méthodologiques pourraient produire des renseignements et prévoir les modes de transmission des maladies dans des conditions climatiques précises (48). La modélisation mathématique en est un exemple prometteur, puisqu'elle peut servir à mieux comprendre les interactions complexes entre le climat et les infections et qu'elle permet de valider diverses mesures d'adaptation ou d'atténuation pour contrer les répercussions négatives des changements climatiques sur la salubrité des aliments. Les études de modélisation appliquent un ensemble d'hypothèses logiques pour prévoir, avec un certain degré inévitable d'incertitude, comment les risques peuvent se développer dans l'avenir. Un cadre de modélisation des risques propre au Canada a été élaboré (49). Il offre une plate-forme structurée pour examiner de façon constructive et transparente l'état des connaissances relatives aux répercussions des changements climatiques sur la salubrité des aliments. Le cadre a servi à prévoir les répercussions possibles des changements climatiques sur la santé publique, en lien avec la présence de



APERÇU

mycotoxines dans le blé, de protozoaires dans l'eau potable et de *Vibrio parahaemolyticus* dans les huîtres, afin de mieux comprendre la gamme des conséquences des changements climatiques sur la salubrité des aliments et de l'eau (49).

Conclusion

La prévalence des maladies d'origine alimentaire devrait augmenter avec les changements climatiques. Ce constat est attribuable à la hausse attendue des agents pathogènes causant déjà fréquemment des maladies d'origine alimentaire et des nouveaux agents pathogènes, y compris ceux qui produisent des mycotoxines et d'autres agents pathogènes rares découverts dans certains aliments importés. Le traitement des maladies d'origine alimentaire sera difficile en raison des tendances relatives à la résistance aux antimicrobiens. L'effet des changements climatiques sur les maladies d'origine alimentaire n'est toutefois pas linéaire en raison d'un certain nombre de facteurs de risque modifiables, et l'attention des cliniciens et des responsables de la sécurité publique doit se tourner vers

ces facteurs. D'autres recherches, dont celles qui font appel à la modélisation mathématique, peuvent cerner de nouvelles approches de prévention, de détection précoce et d'atténuation.

Déclaration des auteurs

BAS — Conception, analyse et interprétation des données, rédaction et édition

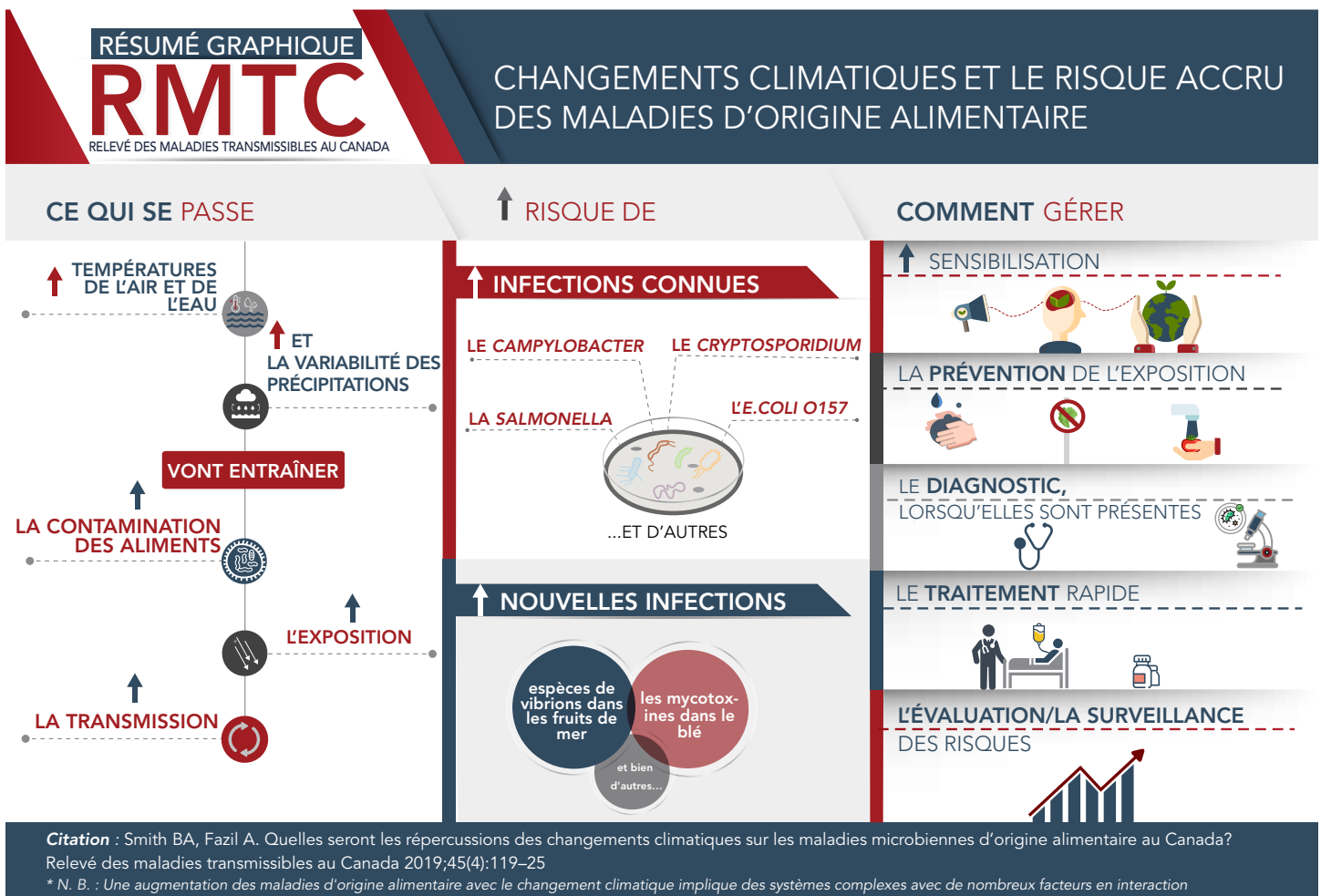
AF — Conception, rédaction et édition

Conflit d'intérêts

Aucun.

Financement

Ce travail a été réalisé grâce au soutien de l'Agence de la santé publique du Canada.





References

1. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press; 2013. www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/
2. Gouvernement du Canada. Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques. Ottawa (ON) : Gouvernement du Canada 2016 [mis à jour 2019]. Numéro de catalogue : En4-294/2016F-PDF. <http://publications.gc.ca/site/fra/9.828776/publication.html>
3. Environnement Canada. Centre canadien de la modélisation et de l'analyse climatique. Ottawa (ON) : Environnement Canada 2018. <http://climate-modelling.canada.ca/french/data/data.shtml>
4. Ressources naturelles Canada. Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation. Ottawa (ON) : Gouvernement du Canada 2014. <https://www.rncan.gc.ca/environnement/ressources/publications/impacts-adaptation/rapports/evaluations/2014/16310>
5. Organisation mondiale de la Santé. Maladies d'origine alimentaire: estimations de l'OMS sur la charge mondiale de morbidité : Groupe de référence sur l'épidémiologie des maladies d'origine alimentaire (FERG). Geneva (CH): OMS 2015. https://www.who.int/foodsafety/publications/foodborne_disease/fergreport/fr/
6. Thomas MK, Murray R, Flockhart L, Pintar K, Pollari F, Fazil A, Nesbitt A, Marshall B. Estimates of the burden of foodborne illness in Canada for 30 specified pathogens and unspecified agents, circa 2006. *Foodborne Pathog Dis* 2013 Jul;10(7):639–48. [DOI PubMed](https://doi.org/10.1089/fpd.2012.0011)
7. Bowen KJ, Ebi KL. Governing the health risks of climate change: towards multi-sector responses. *Curr Opin Environ Sustain* 2015;12:80–5. [DOI](https://doi.org/10.1016/j.coes.2015.07.001)
8. Bradbear C, Friel S. Integrating climate change, food prices and population health. *Food Policy* 2013;43:56–66. [DOI](https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2012.12.001)
9. Friel S, Bowen K, Campbell-Lendrum D, Frumkin H, McMichael AJ, Rasanathan K. Climate change, noncommunicable diseases, and development: the relationships and common policy opportunities. *Annu Rev Public Health* 2011;32(1):133–47. [DOI PubMed](https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-070810-103631)
10. Porter JR, Hie L, Challinor AJ, Cochrane K, Howden SM, Kqbal MM, Lobell DB, Travasso MI, Netra C, Netra C, Garrett K, Ingram J, Lipper L, McCarthy N, McGrath J, Smith D, Thornton P, Watson J, Ziska L. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge (UK): Cambridge University Press 2014. Chapter 7, Food security and food production systems pp. 485-533. www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap7_FINAL.pdf
11. Smith K, Woodward A, Campbell-Lendrum D, Chadee DD, Honda Y, Liu Q, Olwoch JM, Revich B, Sauerborn R. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. London (UK): Cambridge University Press 2014. Chapter 11, Human Health: Impacts, Adaptation, and Co-Benefit pp. 709-54. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap11_FINAL.pdf
12. Springmann M, Mason-D'Croz D, Robinson S, Garnett T, Godfray HC, Gollin D, Rayner M, Ballon P, Scarborough P. Global and regional health effects of future food production under climate change: a modelling study. *Lancet* 2016 May;387(10031):1937–46. [DOI PubMed](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)00875-1)
13. Semenza JC, Höuser C, Herbst S, Rechenburg A, Suk JE, Frechen T, Kistemann T. Knowledge mapping for climate change and food- and waterborne diseases. *Crit Rev Environ Sci Technol* 2012 Feb;42(4):378–411. [DOI PubMed](https://doi.org/10.1080/10407019.2012.668888)
14. Semenza JC, Herbst S, Rechenburg A, Suk JE, Höser C, Schreiber C, Kistemann T. Climate change impact assessment of food- and waterborne diseases. *Crit Rev Environ Sci Technol* 2012 Apr;42(8):857–90. [DOI PubMed](https://doi.org/10.1080/10407019.2012.688888)
15. Lake IR, Gillespie IA, Bentham G, Nichols GL, Lane C, Adak GK, Threlfall EJ. A re-evaluation of the impact of temperature and climate change on foodborne illness. *Epidemiol Infect* 2009 Nov;137(11):1538–47. [DOI PubMed](https://doi.org/10.1017/S0950268809001117)
16. Lake IR. Food-borne disease and climate change in the United Kingdom. *Environ Health* 2017 Dec;16 Suppl 1:117. [DOI PubMed](https://doi.org/10.1093/ehp/ehw011)
17. Wu X, Lu Y, Zhou S, Chen L, Xu B. Impact of climate change on human infectious diseases: empirical evidence and human adaptation. *Environ Int* 2016 Jan;86:14–23. [DOI PubMed](https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.10.011)
18. Liu C, Hofstra N, Franz E. Impacts of climate change on the microbial safety of pre-harvest leafy green vegetables as indicated by *Escherichia coli* O157 and *Salmonella* spp. *Int J Food Microbiol* 2013 May;163(2-3):119–28. [DOI PubMed](https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.12.001)
19. Tirado MC, Clarke R, Jaykus LA, McQuatters-Gollop A, Frank JM. Climate change and food safety: A review. *Food Res Int* 2010;43(7):1745–65. [DOI](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.07.001)
20. Hellberg RS, Chu E. Effects of climate change on the persistence and dispersal of foodborne bacterial pathogens in the outdoor environment: A review. *Crit Rev Microbiol* 2016 Aug;42(4):548–72. [10.3109/1040841X.2014.972335 PubMed](https://doi.org/10.3109/1040841X.2014.972335)
21. Lake IR, Barker GC. Climate change, foodborne pathogens and illness in higher-income countries. *Curr Environ Health Rep* 2018 Mar;5(1):187–96. [DOI PubMed](https://doi.org/10.1007/s12241-018-9011-1)
22. Ebi K. Climate change and health risks: assessing and responding to them through 'adaptive management'. *Health Aff (Millwood)* 2011 May;30(5):924–30. [DOI PubMed](https://doi.org/10.1186/1745-2975-30-924)
23. Baker-Austin C, Trinanen J, Gonzalez-Escalona N, Martinez-Urtaza J. Non-cholera vibrios: the microbial barometer of climate change. *Trends Microbiol* 2017 Jan;25(1):76–84. [DOI PubMed](https://doi.org/10.1038/nrmicro.2016.111)



24. Fleury M, Charron DF, Holt JD, Allen OB, Maarouf AR. A time series analysis of the relationship of ambient temperature and common bacterial enteric infections in two Canadian provinces. *Int J Biometeorol* 2006 Jul;50(6):385–91. [DOI PubMed](#)
25. Park MS, Park KH, Bahk GJ. Combined influence of multiple climatic factors on the incidence of bacterial foodborne diseases. *Sci Total Environ* 2018 Jan;610-611:10–6. [DOI PubMed](#)
26. Kovats RS, Edwards SJ, Hajat S, Armstrong BG, Ebi KL, Menne B. The effect of temperature on food poisoning: a time-series analysis of salmonellosis in ten European countries. *Epidemiol Infect* 2004 Jun;132(3):443–53. [DOI PubMed](#)
27. van Elsas JD, Semenov AV, Costa R, Trevors JT. Survival of *Escherichia coli* in the environment: fundamental and public health aspects. *ISME J* 2011 Feb;5(2):173–83. [DOI PubMed](#)
28. Tamplin ML, Paoli G, Marmer BS, Phillips J. Models of the behavior of *Escherichia coli* O157:H7 in raw sterile ground beef stored at 5 to 46 degrees C. *Int J Food Microbiol* 2005 Apr;100(1-3):335–44. [DOI PubMed](#)
29. Keen J, Laegreid W, Chitko Mckown C, Bono J, Fox J, Clawson M, Heaton M. Effect of exogenous glucocorticoids and dietary change on winter and summer STEC O157 fecal shedding in naturally-infected beef cattle (Abstract No. 83). *Research Workers in Animal Diseases Conference Proceedings*. Chicago (IL): RWAD; 2003. www.ars.usda.gov/research/publications/publication/?seqNo115=153427
30. Pangloli P, Dje Y, Ahmed O, Doane CA, Oliver SP, Draughon FA. Seasonal incidence and molecular characterization of *Salmonella* from dairy cows, calves, and farm environment. *Foodborne Pathog Dis* 2008 Feb;5(1):87–96. [DOI PubMed](#)
31. Ravel A, Smolina E, Sargeant JM, Cook A, Marshall B, Fleury MD, Pollari F. Seasonality in human salmonellosis: assessment of human activities and chicken contamination as driving factors. *Foodborne Pathog Dis* 2010 Jul;7(7):785–94. [DOI PubMed](#)
32. Milazzo A, Giles LC, Zhang Y, Koehler AP, Hiller JE, Bi P. Factors influencing knowledge, food safety practices and food preferences during warm weather of *Salmonella* and *Campylobacter* cases in South Australia. *Foodborne Pathog Dis* 2017 Mar;14(3):125–31. [DOI PubMed](#)
33. Rangel JM, Sparling PH, Crowe C, Griffin PM, Swerdlow DL. Epidemiology of *Escherichia coli* O157:H7 outbreaks, United States, 1982-2002. *Emerg Infect Dis* 2005 Apr;11(4):603–9. [DOI PubMed](#)
34. Heiman KE, Mody RK, Johnson SD, Griffin PM, Gould LH. *Escherichia coli* O157 Outbreaks in the United States, 2003-2012. *Emerg Infect Dis* 2015 Aug;21(8):1293–301. [DOI PubMed](#)
35. Santé Canada. Santé et changements climatiques : évaluation des vulnérabilités et de la capacité d'adaptation au Canada. Ottawa (ON) : SC 2008. http://publications.gc.ca/collections/collection_2008/hc-sc/H128-1-08-528F.pdf
36. Agunos A, Waddell L, Léger D, Taboada E. A systematic review characterizing on-farm sources of *Campylobacter* spp. for broiler chickens. *PLoS One* 2014 Aug;9(8):e104905. [DOI PubMed](#)
37. Laidler MR, Tourdjman M, Buser GL, Hostetler T, Repp KK, Leman R, Samadpour M, Keene WE. *Escherichia coli* O157:H7 infections associated with consumption of locally grown strawberries contaminated by deer. *Clin Infect Dis* 2013 Oct;57(8):1129–34. [DOI PubMed](#)
38. Renter DG, Sargeant JM, Hygnstorm SE, Hoffman JD, Gillespie JR. *Escherichia coli* O157:H7 in free-ranging deer in Nebraska. *J Wildl Dis* 2001 Oct;37(4):755–60. [DOI PubMed](#)
39. Marques A, Nunes ML, Moore SK, Strom MS. Climate change and seafood safety: human health implications. *Food Res Int* 2010;43(7):1766–79. [DOI](#)
40. Altekruuse SF, Bishop RD, Baldy LM, Thompson SG, Wilson SA, Ray BJ, Griffin PM. *Vibrio gastroenteritis* in the US Gulf of Mexico region: the role of raw oysters. *Epidemiol Infect* 2000 Jun;124(3):489–95. [DOI PubMed](#)
41. Young I, Gropp K, Fazil A, Smith BA. Knowledge synthesis to support risk assessment of climate change impacts on food and water safety: A case study of the effects of water temperature and salinity on *Vibrio parahaemolyticus* in raw oysters and harvest waters. *Food Res Inter*. 2015;68:86–93. [DOI](#)
42. Agence de la santé publique du Canada. Maladies et affections. Ottawa (ON) : ASPC 2019. <https://www.canada.ca/fr/sante-publique/services/maladies.html>
43. Ziska L, Crimmins A, Auclair A, DeGrasse S, Garofalo J, Khan A, Loladze I, Perez de Leon AA, Showler A, Thurston J, Walls I. Global Change Research Program, editor. *The Impacts of Climate Change on Human Health in the United States: A Scientific Assessment*. Washington (DC) U.S. Global Change Research Program 2016. Chapter 7, Food Safety, Nutrition, and Distribution pp. 189-216. <https://health2016.globalchange.gov/food-safety-nutrition-and-distribution>
44. Yan C, Liang LJ, Zheng KY, Zhu XQ. Impact of environmental factors on the emergence, transmission and distribution of *Toxoplasma gondii*. *Parasit Vectors* 2016 Mar;9:137. [DOI PubMed](#)
45. Patriarca A, Fernández Pinto V. Prevalence of mycotoxins in foods and decontamination. *Curr Opin Food Sci* 2017;14:50–60. [DOI](#)
46. World Health Organization. WHO guidelines on use of medically important antimicrobials in food-producing animals. Geneva (CH): WHO; 2017. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/258970/97892411550130-eng.pdf;jsessionid=38125119E3EDFE7F6459AFB48C7F3C2C?sequence=1>
47. Comrie A. Climate change and human health. *Geogr Compass* 2007;1(3):325–39. [DOI](#)
48. Greer A, Ng V, Fisman D. Climate change and infectious diseases in North America: the road ahead. *CMAJ* 2008 Mar;178(6):715–22. 10.1503/cmaj.081325 [PubMed](#)
49. Smith BA, Ruthman T, Sparling E, Auld H, Comer N, Young I, Lammerding AM, Fazil A. A risk modeling framework to evaluate the impacts of climate change and adaptation on food and water safety. *Food Res Int* 2015;68:78–85. [DOI](#)