

## CHANGEMENT CLIMATIQUE ET MALADIES INFECTIEUSES

### LES DÉFIS



RÉDACTEUR INVITÉ : DR NICHOLAS OGDEN

#### ÉDITORIAL

À quoi pouvons-nous nous attendre?

83

#### APERÇUS

Augmentation du risque de maladies transmises par les tiques en raison des changements climatiques

89

Augmentation du risque de maladies endémiques transmises par des moustiques en raison du changement climatique

99

PROCHAIN NUMÉRO LE 2 MAI 2019: LES SOLUTIONS



# RMTC

## RELEVÉ DES MALADIES TRANSMISSIBLES AU CANADA

Le *Relevé des maladies transmissibles au Canada* (RMTC) est une revue scientifique bilingue révisée par les pairs et en accès libre publié par l'Agence de la santé publique du Canada (ASPC). Il fournit des informations pratiques et fiables aux cliniciens et aux professionnels de la santé publique ainsi qu'aux chercheurs, aux décideurs politiques, aux enseignants, aux étudiants et aux autres personnes qui s'intéressent aux maladies infectieuses.

Le comité de rédaction du RMTC est composé de membres en provenance du Canada, des États-Unis, de l'Union européenne et de l'Australie. Les membres du conseil sont des experts reconnus dans le monde entier et actifs dans les domaines des maladies infectieuses, de la santé publique et de la recherche clinique. Ils se rencontrent quatre fois par année et fournissent des avis et des conseils à la rédactrice scientifique en chef du RMTC.

### Bureau de la rédaction

#### Rédactrice scientifique en chef

Patricia Huston, M.D., M.S.P.

#### Éditrice scientifique associée

Erika Bontovics, MD, FFPH(UK), CIC

#### Responsable de la production

Lyal Saikaly

#### Assistant à la rédaction

Laura Rojas Higuera

#### Soutien web

Liang (Richard) You

#### Révisseuse

Joanna Odrowaz-Pieniazek

Pascale Salvatore

Laura Stewart-Davis

### Références

#### Photographiques

L'image de la couverture nous montre un rayon de soleil perçant à travers les arbres alors qu'une mère et ses enfants marchent en forêt. Bien que cette scène soit jolie, ils sont à risque de contracter des maladies transmises par les tiques et les moustiques.

Image par Shutterstock (<https://www.shutterstock.com/image-photo/sun-rays-beating-down-on-mother-307152446?src=5j7119su6sSex>)

### Membre du comité de rédaction du RMTC

Heather Deehan, infirmière autorisée, B. Sc, MHSc

Centre du vaccin, Division des approvisionnements UNICEF  
Copenhagen, Danemark

Michel Deilgat, C.D., M.D., M.A.P., CCPE

Centre des maladies infectieuses d'origine alimentaire, environnementale et zoonotique  
Agence de la santé publique du Canada, Ottawa, Canada

Jacqueline J Gindler, M.D.  
Centre de prévention et de contrôle des maladies  
Atlanta, États-Unis

Judy Greig, R.N., B. Sc., M. Sc.  
Laboratoire de lutte contre les zoonoses d'origine alimentaire  
Agence de la santé publique du Canada, Guelph, Canada

Richard Heller, B.M. B.C., M.D., FRCP  
Universités de Manchester, Royaume-Uni et Newcastle, Australie

Rahul Jain, M.D., CCMF, MScCh  
Department of Family and Community Medicine (département de médecine familiale et communautaire)  
l'Université de Toronto et le Sunnybrook Health Sciences Centre, Toronto, Canada

Jennifer LeMessurier, Résidente, Santé publique et médecine préventive, Université d'Ottawa, Ottawa, Canada

Caroline Quach, M.D., M. Sc, FRCPC, FSHEA  
Microbiologiste-infectiologue pédiatrique, Centre hospitalier universitaire Sainte-Justine et Université de Montréal

Rob Stirling, M.D., M. Sc., MHSc., FRCPC  
Centre de l'immunisation et des maladies respiratoires infectieuses  
Agence de la santé publique du Canada, Toronto, Canada

### Contactez-le bureau de la rédaction

[phac.ccdr-rmtc.aspc@canada.ca](mailto:phac.ccdr-rmtc.aspc@canada.ca)  
613.301.9930

# RMTC

RELEVÉ DES  
MALADIES  
TRANSMISSIBLES  
AU CANADA



## CHANGEMENT CLIMATIQUE ET MALADIES INFECTIEUSES LES DÉFIS

### TABLE DES MATIÈRES

#### ÉDITORIAL

Changements climatiques et maladies infectieuses :  
À quoi pouvons-nous nous attendre? 83  
*NH Ogden, P Gachon*

#### APERÇUS

Augmentation du risque de maladies transmises  
par les tiques dans le contexte des changements  
climatiques et environnementaux 89  
*C Bouchard, A Dibernardo, J Koffi, H Wood, PA Leighton,  
LR Lindsay*

*Voir le résumé graphique à la page : 95*

Augmentation du risque de maladies endémiques  
au Canada transmises par des moustiques en  
raison du changement climatique 99  
*A Ludwig, H Zheng, L Vrbova, MA Drebot, M Iranpour,  
LR Lindsay*

*Voir le résumé graphique à la page : 104*

Les changements climatiques pourraient-ils  
entraîner la propagation de maladies exotiques  
transmises par les moustiques au Canada? 108  
*V Ng, EE Rees, LR Lindsay, MA Drebot, T Brownstone,  
T Sadeghieh, SU Khan*

*Voir le résumé graphique à la page : 114*

Quelles seront les répercussions des changements  
climatiques sur les maladies microbiennes  
d'origine alimentaire au Canada? 119  
*BA Smith, A Fazil*

*Voir le résumé graphique à la page : 123*



# Changements climatiques et maladies infectieuses: À quoi pouvons-nous nous attendre?

NH Ogden<sup>1, 2\*</sup>, P Gachon<sup>3</sup>

## Résumé

Les changements climatiques à l'échelle mondiale, causés par les émissions de gaz à effet de serre d'origine humaine, ont une incidence particulière au Canada, où le réchauffement est en général plus élevé que dans le reste du monde. Le réchauffement continu sera accompagné de changements dans les précipitations, qui varieront selon les régions et les saisons, et d'une variabilité accrue du climat et de phénomènes météorologiques extrêmes. Les changements climatiques entraîneront probablement l'émergence de maladies infectieuses au Canada, qui se propageront vers le nord en provenance des États-Unis ou seront introduites par le transport maritime et aérien international. Des maladies endémiques au Canada pourraient aussi réapparaître.

Ce numéro spécial traite des principaux risques de maladies infectieuses associés aux changements climatiques. Il s'agit entre autres de l'émergence des maladies transmises par des tiques, outre la maladie de Lyme, de la possible introduction de maladies exotiques transmises par des moustiques, comme la malaria et la dengue, d'un plus grand nombre d'épidémies de maladies vectorielles endémiques au Canada, comme le virus du Nil occidental, et une incidence accrue des maladies transmises par des virus d'origine alimentaire. Le risque devrait être aggravé par le fait qu'une population vieillissante souffrant de maladies chroniques a une plus grande sensibilité aux maladies infectieuses. Cerner les risques de maladies émergentes afin d'évaluer notre vulnérabilité est un processus essentiel et constitue un point de départ pour établir où doivent porter les efforts en santé publique pour réduire la vulnérabilité et l'exposition de la population canadienne.

**Citation proposée :** Ogden NH, Gachon P. Changements climatiques et maladies infectieuses : À quoi pouvons-nous nous attendre? *Relevé des maladies transmissibles au Canada* 2019;45(4):83–8.

<https://doi.org/10.14745/ccdr.v45i04a01f>

**Mots clés :** changement climatique, maladie chronique, maladie de Lyme, maladie transmise par des moustiques, maladie à transmission vectorielle, origine alimentaire, précipitation, température

## Introduction

Les articles contenus dans ce numéro du *Relevé des maladies transmissibles au Canada* présentent un aperçu de la façon dont les changements climatiques peuvent augmenter le nombre et l'étendue des maladies à transmission vectorielle et l'incidence des infections d'origine alimentaire au Canada (1–4). Cet éditorial résume les changements climatiques, récents et à venir, au Canada; la façon dont les changements climatiques pourraient influencer l'émergence et la réémergence de maladies infectieuses; et la façon dont, à la lumière de l'évolution démographique et de l'état de santé des Canadiens, ces changements pourraient influencer sur les risques de maladies infectieuses.

## Changements climatiques, récents et à venir, au Canada

Les tendances au réchauffement se sont accélérées à l'échelle mondiale, alors que la température annuelle de l'air dans le monde a augmenté de près de 1 °C de 1880 à 2017 (5). Les années 2015 à 2017 ont nettement été plus chaudes que toutes les années antérieures (6), et les trois dernières décennies l'ont été davantage que toutes les décennies précédentes depuis 1850 (7). Cette tendance varie géographiquement. Ainsi, le réchauffement des bassins arctiques et subarctiques, particulièrement dans le nord-est du Canada, est plus élevé et plus rapide, en raison de la diminution accélérée de la couverture de neige et de glace de mer (8,9).

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



## Affiliations

<sup>1</sup> Division des sciences des risques pour la santé publique, Laboratoire national de microbiologie, Agence de la santé publique du Canada, Saint-Hyacinthe (Québec)

<sup>2</sup> Division des sciences des risques pour la santé publique, Laboratoire national de microbiologie, Agence de la santé publique du Canada, Guelph (Ontario)

<sup>3</sup> Centre pour l'étude et la simulation du climat à l'échelle régionale (ESCER), Université du Québec à Montréal, Montréal (Québec)

## \*Correspondance:

[nicholas.ogden@canada.ca](mailto:nicholas.ogden@canada.ca)



Depuis 1948, le taux de réchauffement au Canada dans son ensemble a été deux fois supérieur à la moyenne mondiale, et le taux de réchauffement dans le nord du Canada (nord du 60e parallèle nord) a été en gros au moins trois fois supérieur à la moyenne mondiale (10). Dans le nord-est du Canada (nord du 60e parallèle nord et est du 110e méridien ouest), la température moyenne annuelle a augmenté de 0,75 à 1,2 °C par décennie au cours des trois dernières décennies, comparativement à environ 0,18 °C par décennie à l'échelle mondiale (5). La température moyenne de l'air continuera d'augmenter en fonction de l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère découlant des activités humaines.

D'ici les années 2070, la température de la majorité du territoire canadien devrait être de 5 °C plus élevée que la température de la période de référence 1971 à 2000 (Figure 1a). Les changements prévus concernant les précipitations totales annuelles incluent de légères augmentations dans les provinces des Prairies et des augmentations plus élevées (principalement sous forme de pluie) dans le nord et l'est du Canada. Toutefois, les projections relatives aux précipitations sont moins fiables qu'elles ne le sont pour la température (Figure 1b).

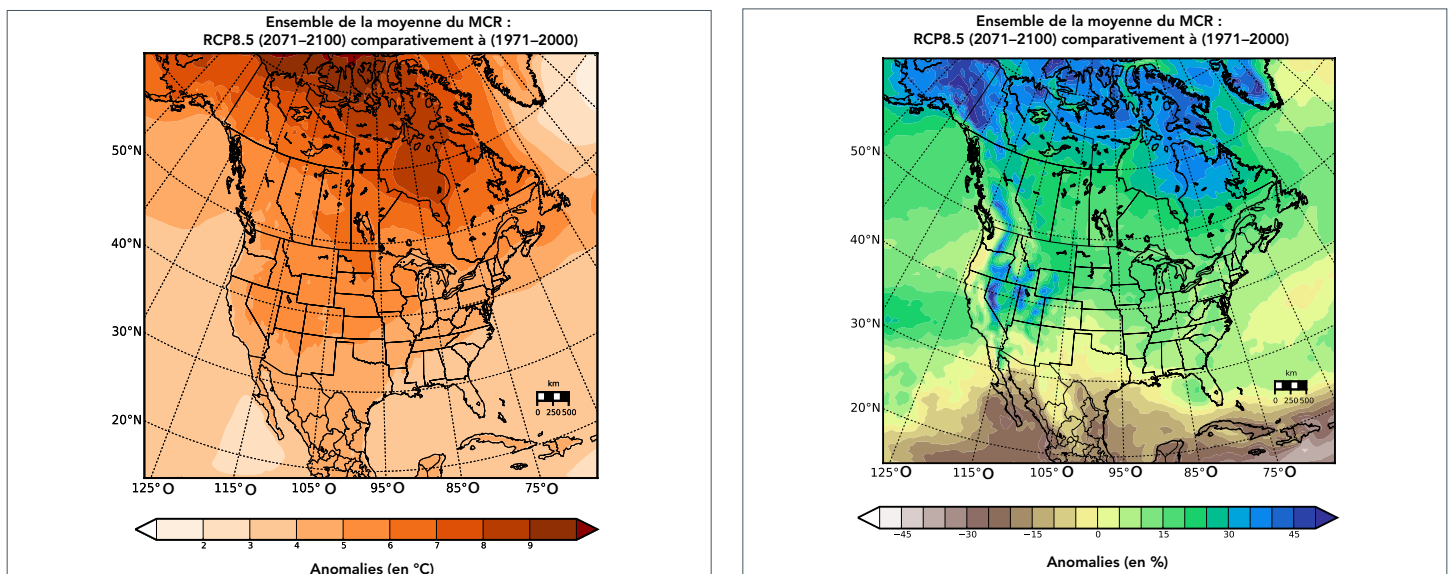
Dans le futur, le réchauffement devrait être plus élevé dans le nord-est du Canada (une augmentation allant jusqu'à 8,65 °C d'ici les années 2070) (Figure 2), en raison de la diminution importante de la couverture de neige et de glace de mer d'ici la fin du 21e siècle (13).

Les changements de températures et de précipitations à long terme devraient être accompagnés d'une variabilité accrue des températures et de la pluie d'une année à l'autre ainsi que de phénomènes météorologiques extrêmes, y compris des vagues de chaleur et des pluies intenses augmentant les risques d'inondations (13). Une importante augmentation de l'intensité annuelle moyenne des précipitations par jour de pluie (jusqu'à 15 % d'ici les années 2070), mais avec une diminution du nombre de jours de pluie par année, est prévue dans le nord-est du Canada, où le réchauffement sera plus prononcé au cours du 21e siècle. Il est prévu que l'intensité des précipitations augmente considérablement au fil du temps en raison du taux de réchauffement, ce qui touchera aussi les régions du sud et de l'est du Canada

## La façon dont les changements climatiques peuvent influencer sur l'émergence et la réémergence des maladies infectieuses

Au cours des dix dernières années, nous avons vu l'émergence et la réémergence de maladies infectieuses partout dans le monde, y compris la maladie à virus Ebola en Afrique, le coronavirus du syndrome respiratoire du Moyen-Orient (CoV-SRMO) au Moyen-Orient, ainsi que la maladie à virus Zika, le chikungunya, la fièvre jaune et la dengue dans les Amériques. Ces maladies posent d'énormes défis en matière de santé publique.

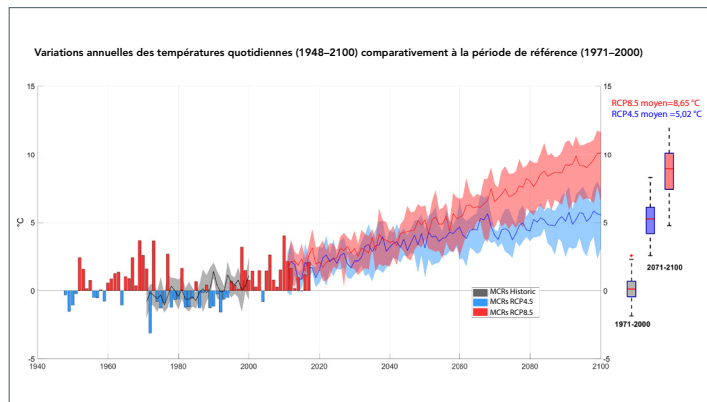
**Figure 1 : Changements prévus a) de la température annuelle moyenne (en °C) et b) des précipitations totales annuelles (en %) pour la période de 2071 à 2100 comparativement à la période de 1971 à 2000**



Abréviations: MCR, modèle climatique régional; RCP, profil représentatif d'évolution de concentration  
NB: Simulations à l'aide de neuf modèles climatiques régionaux (MCR) et des ensembles de données disponibles provenant du projet CORDEX (COordinated Regional climate Downscaling Experiment) pour l'Amérique du Nord (11). Toutes les simulations utilisent le scénario (12) d'émission des gaz à effet de serre selon le profil représentatif d'évolution de concentration (RCP) 8.5 avec une résolution spatiale de 0,44° soit environ 50 km. Les zones ombrées représentent les régions où 60 % des modèles sont en accord avec le signe du changement et où l'ampleur des changements est plus élevée que l'écart type des données de la période de référence (de 1971 à 2000)



**Figure 2 : Variations annuelles observées et prévues des températures moyennes quotidiennes dans le nord-est du Canada<sup>a</sup> de 1948 à 2100 comparativement à la période de référence de 1971 à 2000**



Abréviations : MCR, modèle climatique régional; RCP, profil représentatif d'évolution de concentration

<sup>a</sup> Le nord-est du Canada désigne les territoires situés au nord du 60<sup>e</sup> parallèle nord et à l'est du 110<sup>e</sup> méridien ouest

NB : Les variations annuelles de la température moyenne quotidienne figurent sur les histogrammes pour les données observées de référence et sur les lignes pour les variations simulées. Les changements prévus reposent sur les mêmes simulations de modèle utilisées pour la Figure 1 à l'aide de deux scénarios d'émission RCP4.5 (ligne bleue) et RCP8.5 (ligne rouge), ce dernier étant pour le moment le plus réaliste. Les ombres entourant les lignes bleue et rouge (médiane de toutes les simulations) montrent l'étendue de l'augmentation prévue des températures selon les différents modèles climatiques régionaux. À droite, les diagrammes de quartiles montrent la médiane et la gamme des températures (variation interquartile) pour la période de référence (c.-à-d. les données observées) et pour la période de 2071 à 2100 (c.-à-d. les projections des modèles) selon les deux différents RCP (12)

Des maladies infectieuses apparaissent en raison de modifications de leur répartition géographique et par « émergence adaptative », un changement génétique touchant les microorganismes qui infectent des animaux (généralement des animaux sauvages) de telle sorte que ces microorganismes peuvent infecter les êtres humains et que la transmission devient peut-être possible entre les êtres humains (14) – en d'autres mots, il s'agit d'une adaptation génétique qui produit une nouvelle maladie zoonotique.

L'émergence d'une maladie a de multiples facteurs, qui sont entre autres associés aux changements environnements (y compris les changements climatiques), aux changements sociaux et démographiques (y compris la mondialisation), et aux modifications apportées aux politiques et aux systèmes de santé publique (15). Les mêmes facteurs peuvent favoriser la réémergence de maladies endémiques (c.-à-d. l'augmentation d'une incidence ou une réapparition sous forme d'épidémies). Le climat et les changements climatiques peuvent avoir des effets directs sur l'émergence et la réémergence de maladies infectieuses en influant sur la survie des agents pathogènes, la survie et la reproduction des vecteurs arthropodes, la contamination de l'eau et, dans le cas des zoonoses, l'abondance d'hôtes réservoirs (c.-à-d. les animaux porteurs de microbes). Ces effets directs des changements climatiques sur l'écologie et la transmission aux êtres humains d'agents infectieux ont déjà fait l'objet d'évaluations à l'échelle nationale (16,17) et mondiale (18–20). Toutefois, les changements climatiques peuvent avoir des effets indirects sur l'émergence et la réémergence

de maladies, en influant sur d'autres changements sociaux et environnementaux ainsi que sur les systèmes de santé publique.

Les répercussions des changements climatiques sur les écosystèmes, y compris les effets sur la biodiversité, peuvent modifier le risque d'une nouvelle maladie zoonotique transmise par un animal sauvage (21,22). De plus, les changements climatiques peuvent avoir un effet défavorable sur l'économie mondiale, particulièrement dans les pays à faible et moyen revenu. Que ce soit directement ou en augmentant la fréquence des conflits, un tel effet pourrait réduire la surveillance des maladies infectieuses et contribuer à élever la densité des agents infectieux dans les pays à l'extérieur de l'Amérique du Nord. Des effets défavorables sur l'économie des pays à faible et moyen revenu peuvent entraîner l'augmentation du nombre de réfugiés ou de migrants économiques et, ainsi, la propagation accrue de maladies infectieuses au Canada (23).

Les effets combinés de tous ces facteurs sont la source de trois importantes répercussions prévues des changements climatiques :

- Les risques accrus de l'introduction et de la transmission endémique de maladies infectieuses « exotiques » (à la fois directement transmissible et à transmission vectorielle) en provenance de partout dans le monde (comme le syndrome respiratoire aigu sévère [SRAS])
- La propagation du sud vers le nord de maladies actuellement endémiques aux États-Unis (comme l'anaplasmose)
- La réémergence (c.-à-d. un changement dans les comportements et les aires de répartition favorisant les épidémies) de maladies infectieuses endémiques au Canada (comme les éclosions du virus du Nil occidental) (Figure 3)

Les changements à long terme dans les températures et les précipitations, la variabilité accrue du climat, et la fréquence plus élevée des phénomènes météorologiques extrêmes, décrits ci-dessus, influenceront sur les différents risques de maladies infectieuses de manière particulière (24). De plus en plus, des études de modélisation sont élaborées pour aider à prévoir les effets des changements climatiques sur les maladies infectieuses, dans le but de nous permettre de mieux nous préparer à faire face à ces risques changeants.

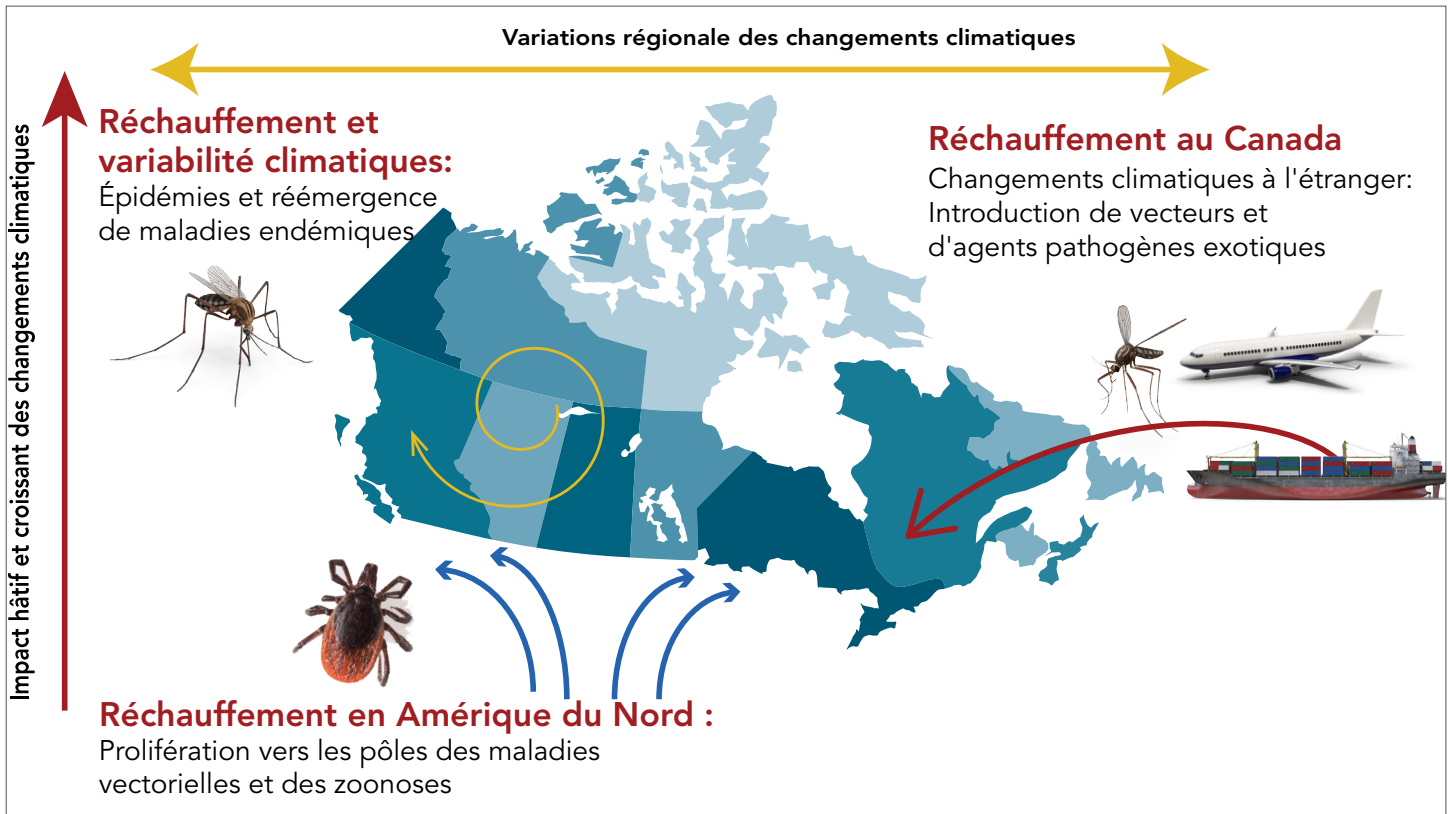
## Autres facteurs à considérer

Au Canada, l'évolution des tendances relatives aux maladies infectieuses associées aux changements climatiques doit aussi être prise en considération dans le contexte d'autres tendances relatives aux maladies associées aux changements démographiques et à la santé des Canadiens.

Puisque la population canadienne vieillit et est de plus en plus atteinte de maladies chroniques, il faudra examiner ensemble les risques de maladies infectieuses et les risques de



Figure 3 : Un résumé de l'incidence des changements climatiques sur les risques de maladies infectieuses au Canada<sup>a</sup>



<sup>a</sup> Modifié (23)

maladies chroniques (25). Les risques de maladies infectieuses comportent deux aspects : la probabilité d'exposition et la sensibilité (c.-à-d. la gravité des conséquences de l'infection). La probabilité d'exposition dépend du nombre d'organismes infectieux (« l'aléa »), c'est-à-dire les êtres humains infectés, les microorganismes, les vecteurs arthropodes et les hôtes réservoirs d'origine animale, dans notre environnement, et de la fréquence des contacts des êtres humains avec ces organismes. Les changements climatiques devraient favoriser leur augmentation. En même temps, la gravité des conséquences des maladies infectieuses sera probablement plus sévère dans des populations de plus en plus vieillissantes et souffrant de maladies chroniques. Cela semble le cas pour les maladies à transmission vectorielle, comme le virus du Nil occidental (26).

## Conclusion

Le climat du Canada change. En raison de l'augmentation des températures ainsi que de la variabilité spatiale et temporelle des caractéristiques de précipitations, les risques liés à la maladie de Lyme et au virus du Nil occidental, déjà bien présents au Canada, augmenteront probablement, comme les risques de maladies transmises par d'autres tiques ou moustiques et de maladies d'origine alimentaire. Des renseignements plus détaillés sur les risques, actuels ou futurs, de maladies infectieuses causées par

les changements climatiques sont présentés dans les articles de ce numéro. Le risque est probablement aggravé par le fait que le Canada compte une population âgée de plus en plus atteinte de maladies chroniques et chez qui les infections risquent d'être plus graves que chez les jeunes et les personnes en santé. L'identification de ces risques est une activité essentielle pour évaluer la vulnérabilité du pays, et constitue un point de départ pour reconnaître où les efforts en santé publique doivent porter pour réduire la vulnérabilité et l'exposition de la population canadienne.

## Déclaration des auteurs

NHO et PG ont conçu et coécrit l'article, NHO ayant fourni les éléments relatifs à la santé publique et aux maladies infectieuses, et PG, l'information sur les changements climatiques.

Nicholas Ogden était le rédacteur invité de ce numéro du RMTCC, mais il s'est récusé de toute décision rédactionnelle concernant ce manuscrit. Les décisions ont été prises par la rédactrice en chef, Patricia Huston, M.D.

## Conflit d'intérêts

Aucun.



## Références

1. Bouchard C, Dibernardo A, Koffi J, Wood H, Leighton PA, Lindsay LR. Augmentation du risque de maladies transmises par les tiques en raison des changements climatiques et environnementaux. *Relevé des maladies transmissibles au Canada* 2019;45(4):89–98. [DOI](#)
2. Ludwig A, Zheng H, Vrbova L, Drebot MA, Iranpour M, Lindsay LR. Augmentation du risque de maladies endémiques transmises par des moustiques au Canada en raison du changement climatique. *Relevé des maladies transmissibles au Canada* 2019;45(4):99–107. [DOI](#)
3. Ng V, Rees EE, Lindsay RL, Drebot MA, Brownstone T, Sadeghieh T, Khan SU. Les changements climatiques pourraient-ils entraîner la propagation de maladies exotiques transmises par les moustiques au Canada ? *Relevé des maladies transmissibles au Canada* 2019;45(4):108–18. [DOI](#)
4. 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. [DOI](#)
5. National Centers for Environmental information. Climate at a glance: global time series. Asheville (NC): NOAA; 2018 Sep. <https://www.ncdc.noaa.gov/cag/global/time-series>
6. World Meteorological Organization. WMO statement on the state of the global climate in 2017. Geneva (CH): WMO; 2018 (WMO-No. 1212). [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=4453](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4453)
7. Blunden J, Arndt DS, Hartfield G. State of the climate in 2017. *Bull Amer Meteor Soc* 2018;99(8):Si-S332. [DOI](#)
8. Cohen J, Screen JA, Furtado JC, Barlow M, Whittleston D, Coumou D, Francis J, Dethloff K, Entekhabi D, Overland J, Jones J. Recent Arctic amplification and extreme mid-latitude weather. *Nat Geosci* 2014;7(9):627–37. [DOI](#)
9. Smith SJ, Edmonds J, Hartin CA, Mundra A, Calvin K. Near-term acceleration in the rate of temperature change. *Nat Clim Chang* 2015;5:333–6. [DOI](#)
10. Environnement et changement climatique Canada. Données et scénarios climatiques pour le Canada : synthèse des observations et des résultats récents de modélisation. Gatineau (QC): ECCC; 2016 Cat. No.: En84-132/2016F-PDF. [http://publications.gc.ca/collections/collection\\_2016/eccc/En84-132-2016-fra.pdf](http://publications.gc.ca/collections/collection_2016/eccc/En84-132-2016-fra.pdf)
11. Mearns LO, McGinnis S, Korytina D. The NA-CORDEX dataset, version 1.0. NCAR Climate Data Gateway. Boulder (CO): The North American CORDEX Program; 2017 [DOI](#)
12. van Vuuren DP, Edmonds J, Kainuma M, Riahi K, Thomson A, Hibbard K, Hurtt GC, Kram T, Krey V, Lamarque JF, Masui T, Meinshausen M, Nakicenovic N, Smith SJ, Rose SK. The representative concentration pathways: an overview. *Clim Change* 2011;109(1-2):5–31. [DOI](#)
13. IPCC. 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); and New York (NY): Cambridge University Press; 2013.
14. Ogden NH, AbdelMalik P, Pulliam JRC. Maladies infectieuses émergentes : prévision et détection. *Relevé des maladies transmissibles au Canada*. 2017;43(10):232-8. [DOI](#)
15. Semenza JC, Lindgren E, Balkanyi L, Espinosa L, Almqvist MS, Penttinen P, Rocklöv J. Determinants and drivers of infectious disease threat events in Europe. *Emerg Infect Dis* 2016 Apr;22(4):581–9. [DOI PubMed](#)
16. Berry P, Clarke KL, Fleury MD, Parker S. Human health. In: Warren FJ, Lemmen DS, editors. *Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation* (ON): Gouvernement du Canada; 2014. [https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Rapport-complet\\_Fra.pdf](https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2014/pdf/Rapport-complet_Fra.pdf)
17. Charron DF, Fleury M, Lindsay LR, Ogden N, Shuster CJ. Santé et changements climatiques : évaluation des vulnérabilités et de la capacité d'adaptation au Canada. Chapitre 5: Répercussions des changements climatiques sur les maladies transmises par l'eau, les aliments, les vecteurs et les rongeurs. Ottawa (ON): Santé Canada; 2008. [http://publications.gc.ca/collections/collection\\_2008/hc-sc/H128-1-08-528F.pdf](http://publications.gc.ca/collections/collection_2008/hc-sc/H128-1-08-528F.pdf)
18. Smith KR, Woodward A, Campbell-Lendrum D, Chadee DD, Honda Y, Liu Q, Olwoch JM, Revich B, Sauerborn R. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Chapter 11: Human Health: Impacts, Adaptation, and Co-benefits. New York (NY): Cambridge University Press; 2014. pp. 709-54. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap11\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap11_FINAL.pdf)
19. Romero-Lankao P, Smith JB, Davidson DJ, Diffenbaugh NS, Kinney PL, Kirshen P, Kovacs P, Ruiz LV. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. New York (NY): Cambridge University Press; 2014. pp. 1439-98. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-PartB\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-PartB_FINAL.pdf)
20. Beard CB, Eisen RJ, Barker CM, Garofalo JF, Hahn M, Hayden M, Monaghan AJ, Ogden NH, Schramm PJ. The impacts of climate change on human health in the United States: a scientific assessment. Chapter 5: Vector-borne diseases. Washington (DC): U.S. Global Change Research Program; 2016. pp. 129-56. [DOI](#)
21. Altizer S, Ostfeld RS, Johnson PT, Kutz S, Harvell CD. Climate change and infectious diseases: from evidence to a predictive framework. *Science* 2013 Aug;341(6145):514–9. [DOI PubMed](#)





22. Cable J, Barber I, Boag B, Ellison AR, Morgan ER, Murray K, Pascoe EL, Sait SM, Wilson AJ, Booth M. Global change, parasite transmission and disease control: lessons from ecology. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 2017 May;372(1719):20160088. [DOI PubMed](#)
23. Ogden NH. Climate change and vector-borne diseases of public health significance. *FEMS Microbiol Lett* 2017 Oct;364(19). [DOI PubMed](#)
24. Ogden NH, Lindsay LR. Effects of climate and climate change on vectors and vector-borne diseases: ticks are different. *Trends Parasitol* 2016 Aug;32(8):646–56. [DOI PubMed](#)
25. Dye C. After 2015: infectious diseases in a new era of health and development. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 2014 May;369(1645):20130426. [DOI PubMed](#)
26. Badawi A, Velummailum R, Ryoo SG, Senthinathan A, Yaghoubi S, Vasileva D, Ostermeier E, Plishka M, Soosaipillai M, Arora P. Prevalence of chronic comorbidities in dengue fever and West Nile virus: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One* 2018 Jul;13(7):e0200200. [DOI PubMed](#)



# Augmentation du risque de maladies transmises par les tiques dans le contexte des changements climatiques et environnementaux

C Bouchard<sup>1,2\*</sup>, A Dibernardo<sup>3</sup>, J Koffi<sup>2,4</sup>, H Wood<sup>3</sup>, PA Leighton<sup>2</sup>, LR Lindsay<sup>3</sup>

## Résumé

Le réchauffement climatique et d'autres changements environnementaux ont contribué à l'expansion de la région où sévissent plusieurs espèces de tiques dans les latitudes élevées d'Amérique du Nord. L'augmentation de la température au Canada crée un environnement plus favorable pour les tiques et prolonge la saison d'activité des tiques. Les maladies transmises par les tiques sont donc susceptibles de devenir plus répandues au pays. En plus de la maladie de Lyme, quatre autres maladies transmises par les tiques, à savoir l'anaplasmose, la babésiose, le virus de l'encéphalite de Powassan et la fièvre récurrente causée par *Borrelia miyamotoi*, ont commencé à se propager, et leur incidence est susceptible d'augmenter. La hausse de la température favorise la survie et prolonge la période d'activité des tiques, augmente l'étendue géographique des réservoirs et des hôtes pour les tiques (p. ex. les souris et les chevreuils) et allonge la durée de la saison d'exposition des humains aux tiques. D'autres tiques et maladies transmises par les tiques pourraient se propager au Canada au fur et à mesure que le climat change. Les stratégies de santé publique visant à atténuer l'impact de toutes les maladies transmises par les tiques comprennent la surveillance pour détecter les maladies transmises par les tiques actuelles et émergentes, et des mesures de santé publique visant à prévenir les infections en modifiant les facteurs de risque environnementaux et sociaux-comportementaux grâce à la sensibilisation du public. Les stratégies de soins cliniques comprennent la diffusion d'information auprès des patients, la détection précoce, les analyses de laboratoire et le traitement.

**Citation proposée :** Bouchard C, Dibernardo A, Koffi J, Wood H, Leighton PA, Lindsay LR. Augmentation du risque de maladies transmises par des tiques en raison des changements climatiques et environnementaux. *Relevé des maladies transmissibles au Canada* 2019;45(4):89–98.

<https://doi.org/10.14745/ccdr.v45i04a02f>

**Mots clés :** *Anaplasma phagocytophilum*, anaplasmose, *Babesia microti*, babésiose, *Borrelia miyamotoi*, changement climatique, maladie transmise par les tiques, virus Powassan

## Introduction

Les tiques transmettent un vaste éventail d'agents pathogènes bactériens, viraux et protozoaires dans bon nombre de régions tropicales et tempérées du monde (1). Les tiques à pattes noires qui transmettent *Borrelia burgdorferi*, bactérie qui cause la maladie de Lyme dans les parties sud de l'est et du centre du Canada, sont particulièrement préoccupantes en Amérique du Nord (2). Il est maintenant largement reconnu que la hausse de la température associée aux changements climatiques a contribué à l'augmentation globale du nombre, des types, du degré d'activité et de la répartition géographique des tiques en Amérique du Nord (1–11) et a directement favorisé la propagation des tiques à pattes noires et de la maladie de Lyme vers le nord, au Canada (12). Conséquemment, la maladie de Lyme est maintenant présente au Canada, et le nombre de cas déclarés de la maladie est en hausse (13,14).

L'objectif de cet aperçu est de résumer les changements climatiques et autres changements environnementaux qui ont une incidence sur le risque associé aux tiques et aux maladies transmises par les tiques, d'identifier les tiques et les maladies transmises par les tiques qui sont déjà présentes ou qui pourraient se propager au Canada, et de décrire les stratégies cliniques et de santé publique relatives à la prise en charge des tiques et des maladies transmises par les tiques.

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



## Affiliations

<sup>1</sup> Division des sciences des risques pour la santé publique, Laboratoire national de microbiologie, Agence de la santé publique du Canada, Saint-Hyacinthe (Québec)

<sup>2</sup> Groupe de recherche en épidémiologie des zoonoses et santé publique (GREZOSP), Faculté de médecine vétérinaire (FMV), Université de Montréal, Saint-Hyacinthe (Québec)

<sup>3</sup> Zoonoses et pathogènes spéciaux, Laboratoire national de microbiologie, Agence de la santé publique du Canada, Winnipeg (Manitoba)

<sup>4</sup> Centre des maladies infectieuses d'origine alimentaire, environnementale et zoonotique, Agence de la santé publique du Canada, Saint-Hyacinthe (Québec)

## \*Correspondance:

[catherine.bouchard@canada.ca](mailto:catherine.bouchard@canada.ca)



## Effets des changements climatiques et des autres changements environnementaux

Les changements climatiques et autres changements environnementaux devraient augmenter le risque associé aux tiques et aux maladies transmises par les tiques. La prévalence, l'activité et l'étendue géographique d'un nombre de tiques et des agents pathogènes qu'elles transportent devrait aussi augmenter. Ceci est dû aux changements météorologiques qui causent aussi une augmentation de l'étendue géographique des animaux reproducteurs et réservoirs. Les changements climatiques devraient également entraîner l'adoption de nouveaux comportements chez les humains. La saison annuelle du contact entre les animaux hôtes et les humains sera donc plus longue (15,16). Outre le climat, d'autres facteurs peuvent aussi toucher les habitats des tiques et des hôtes.

### Augmentation du nombre de tiques, de leur activité et élargissement des régions occupées au Canada

Au Canada, une augmentation de la température, des changements de régime des précipitations et des phénomènes climatiques extrêmes (chaleur extrême et pluies torrentielles) associés aux changements climatiques ont été documentés (17). Toutefois, l'effet des changements climatiques qui influe le plus sur les tiques et les agents pathogènes transmis par les tiques au Canada est l'augmentation de la température (5). La hausse de la température a entraîné l'amélioration des conditions favorables à la survie et à la reproduction des tiques et l'augmentation de la vitesse de leur développement. Résultat, leur cycle de vie est accéléré (5). Les conséquences de ce phénomène sont les suivantes :

- Augmentation de l'abondance des tiques là où elles étaient déjà présentes (8)
- Propagation des populations de tiques vers des latitudes plus élevées (18–23)
- Accroissement de l'activité et de la quête chez les tiques, ce qui entraîne la prolongation de l'activité saisonnière (5,24)

Les périodes prolongées de températures extrêmes (élevées ou faibles), d'humidité faible et de fortes pluies peuvent avoir un effet négatif sur le développement des tiques en réduisant leur activité et en augmentant leur taux de mortalité (5). Ces changements de température devraient avoir un effet moins marqué sur les tiques que sur les moustiques, car les tiques sont capables de trouver refuge dans leurs habitats boisés (5).

### Augmentation du nombre d'animaux hôtes, de leur activité et élargissement des régions occupées au Canada

Les animaux qui sont des hôtes réservoirs et des hôtes de reproduction jouent un rôle crucial dans le cycle de transmission

des agents pathogènes transmis par les tiques et le cycle de vie des tiques, respectivement. L'hôte réservoir est la source de l'agent pathogène pour les stades immatures des tiques (25). L'hôte réservoir principal dans la plupart des maladies transmises par les tiques sont les rongeurs sauvages, dont les souris. Les hôtes de reproduction sont la source de repas de sang essentiels à la reproduction chez les femelles adultes. L'hôte de reproduction le plus courant est le chevreuil (26,27). Les changements climatiques touchent autant les hôtes de reproduction que les hôtes réservoirs qui entrent en jeu dans le cycle de vie des tiques et la transmission des maladies transmises par les tiques, respectivement (**Figure 1**). L'augmentation de la température entraînera l'expansion du territoire occupé par les rongeurs et les chevreuils (28,29) de même que l'accroissement de leur abondance et de leur activité (3,29).

### Augmentation de l'exposition des humains aux tiques

La plupart des tiques sont actives dès la fonte des neiges au printemps et jusqu'à l'accumulation de la première couche de neige à l'automne. Généralement, la tique se met en quête d'un hôte quand la température de l'air atteint 4 à 10 °C. Or, les changements climatiques pourraient inciter les gens à reprendre leurs activités de plein air plus tôt au printemps et à les poursuivre jusqu'à une date plus tardive en automne. L'augmentation de la durée de l'exposition à l'habitat de la tique et la prolongation de la saison de l'activité de la tique rend donc l'exposition aux tiques plus probable. En revanche, au cours de journées consécutives de chaleur et de sécheresse en été (canicules), les activités de plein air (humains) et l'activité des tiques seraient toutes deux probablement en baisse. Dans l'ensemble, le risque d'exposition chez les humains en raison des changements climatiques est plus étroitement lié aux hivers plus courts qu'aux périodes de chaleur extrême à l'été.

Principaux groupes à risque de maladies transmises par les tiques :

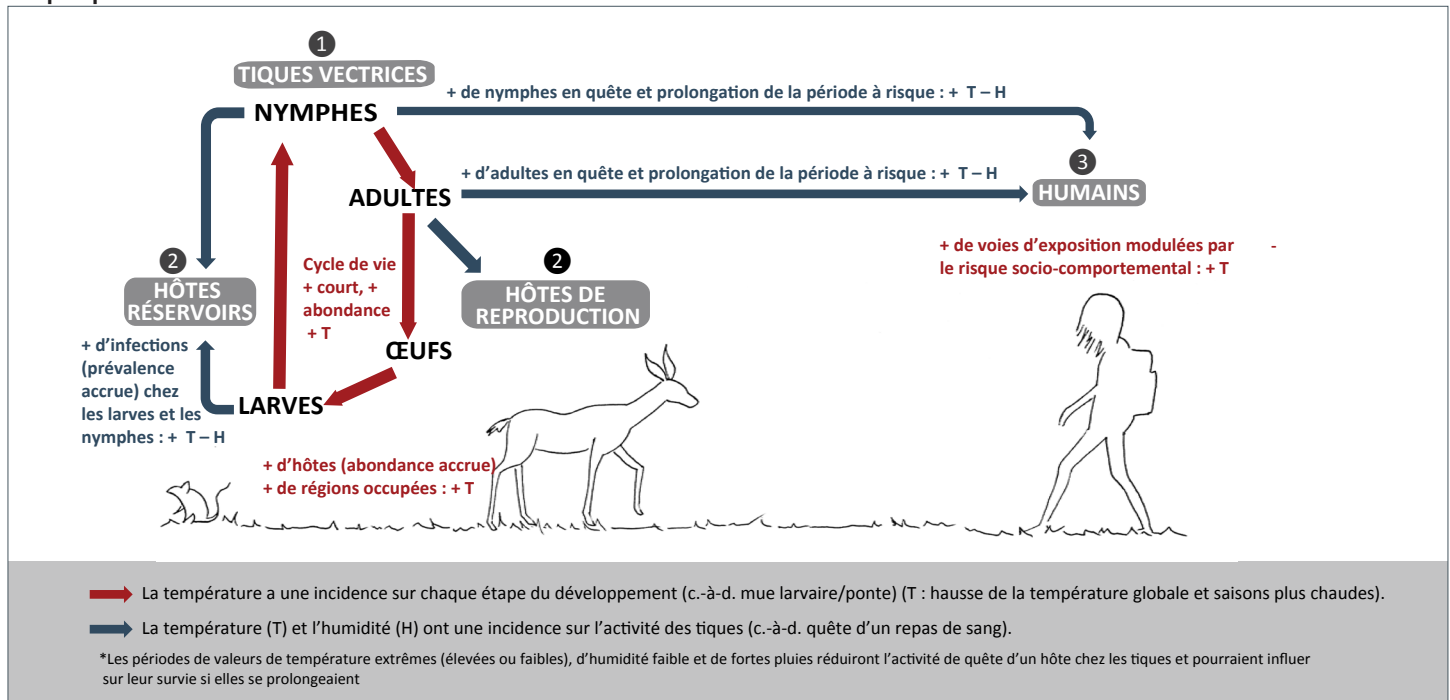
- Personnes qui pratiquent des activités récréatives ou professionnelles à l'extérieur (p. ex. chasse, pêche, randonnée pédestre, camping, jardinage, cueillette de champignons ou de petits fruits, promenade de chiens, foresterie et agriculture) dans des zones endémiques ou près de celles-ci
- Personnes dont la résidence principale ou secondaire se trouve dans des zones endémiques ou près de celles-ci
- Personnes très jeunes (de 5 à 9 ans) ou âgées (55 ans ou plus) (30)

### Impact des autres changements environnementaux

Pour chaque espèce de tique, il existe des biomes et des conditions environnementales privilégiés ou optimaux qui déterminent, en partie, sa répartition géographique et, conséquemment, les zones qui présentent un risque pour les humains (31). Les caractéristiques des micro-habitats, dont



Figure 1 : Facteurs météorologiques et climatiques qui sont favorables au cycle de vie des tiques et augmentent le risque pour les humains.



Adapté de Ogden et Lindsay, 2015 (6)

les caractéristiques des sols, sont essentielles à la survie des tiques et à l'établissement de nouvelles populations de tiques (32–34). Les modifications des caractéristiques des habitats, en parallèle avec les changements climatiques, comme la fragmentation des habitats, la perte de la biodiversité, la disponibilité des ressources et l'utilisation des terres, agissent sur la dynamique des tiques, sur les animaux hôtes et sur le risque d'exposition des humains aux tiques (29,35). À titre d'exemple, la maladie de Lyme s'est propagée aux États-Unis dans les années 1970 en raison de la reforestation de terres agricoles et de l'augmentation conséquente des populations de chevreuils, ce qui a permis l'expansion des populations de tiques *Ixodes scapularis* porteuses de *B. burgdorferi* (3).

## Augmentation des maladies transmises par les tiques au Canada

La maladie de Lyme est la plus répandue et la mieux connue des maladies transmises par les tiques au Canada. Outre la maladie de Lyme, au moins quatre autres maladies transmises par les tiques se propagent au Canada, et leur fréquence devrait augmenter en raison des effets des changements climatiques. Il s'agit de l'anaplasmose, de la babésiose, du virus de l'encéphalite de Powassan et de la fièvre récurrente causée par *Borrelia miyamotoi*.

### Maladie de Lyme

La maladie de Lyme est causée par *B. burgdorferi*, un agent pathogène qui peut infecter les tiques *I. scapularis* dans le centre et l'est du Canada et les tiques *I. pacificus* en Colombie-

Britannique. Cette maladie a été déclarée dans toutes les provinces, de la Colombie-Britannique à l'Île-du-Prince-Édouard, et il est largement admis qu'elle est en hausse (13). La maladie de Lyme se manifeste généralement par un érythème migrant et des symptômes non spécifiques, comme la fatigue, la fièvre, les maux de tête et les douleurs musculaires et articulaires. Si elle n'est pas traitée, elle peut évoluer en maladie multisystémique. La maladie de Lyme est rarement fatale, mais des décès liés à la cardite de Lyme ont récemment été déclarés (36).

### Anaplasmose

L'anaplasmose est causée par la bactérie *Anaplasma phagocytophilum*, qui est transmise par *I. scapularis* dans l'est et le centre du Canada (37) et par *I. pacificus* en Colombie-Britannique. Des cas chez des humains et des animaux ont été déclarés dans la plupart des provinces où les tiques sont présentes (38). Sur le plan clinique, une personne peut avoir une infection asymptomatique par *A. phagocytophilum*, mais les cas se manifestant par des symptômes non spécifiques (p. ex. fièvre, maux de tête et douleurs musculaires) sont plus fréquents. Le taux de létalité est inférieur à 1 % (39).

### Babésiose

La babésiose est causée par *Babesia microti*, un protozoaire pseudo-paludique qui cause des symptômes semblables à ceux de la maladie de Lyme. Jusqu'à présent, c'est seulement au Manitoba que des cas chez l'humain ont été déclarés (9), mais l'agent pathogène a été détecté dans les tiques *I. scapularis* au Manitoba, en Ontario, au Québec et au Nouveau-Brunswick (40). Le taux de létalité aux États-Unis est de 2 à 5 % (39).



## Virus Powassan

Le virus Powassan a été détecté pour la première fois à Powassan, en Ontario. De nombreuses espèces de tiques peuvent être porteuses de ce virus. Le tableau clinique de l'infection par le virus Powassan peut varier grandement d'un cas à l'autre : l'infection peut être asymptomatique ou entraîner une encéphalite fatale (taux de létalité de 10 %) (41). La transmission de nombreux agents pathogènes associés aux tiques exige que celles-ci soient nourries longtemps, mais le virus Powassan peut être transmis au cours des 15 à 30 minutes suivant la fixation de la tique (42). Deux lignées ont été identifiées dans des tiques vectrices : la lignée I a été identifiée dans des tiques *Ixodes* en Ontario, au Québec, au Nouveau-Brunswick et à l'Île-du-Prince-Édouard, et la lignée II a été identifiée dans des tiques *I. scapularis* au Manitoba, en Ontario et en Nouvelle-Écosse (7).

## Fièvre récurrente causée par *Borrelia Miyamotoi*

*Borrelia miyamotoi* a été identifié pour la première fois en 2013 au Canada et est présent dans les tiques *I. scapularis* et *I. pacificus* (10). Les manifestations de la fièvre récurrente causée par *Borrelia miyamotoi* sont semblables à celles de la maladie de Lyme, mais cette maladie ne cause pas d'éruptions cutanées. Bien que ce soit rare, elle peut causer la méningo-encéphalite.

## Maladies transmises par les tiques plus rares, mais pouvant se propager

Les espèces de tiques *Dermacentor* sont répandues et peuvent transmettre la bactérie *Rickettsia rickettsii*, qui cause la fièvre pourprée des montagnes Rocheuses. En général, une fièvre, des maux de tête intenses, une myalgie, des nausées et des éruptions cutanées peuvent se manifester de 5 à 10 jours après l'infection. Le taux de létalité estimé tourne autour de 5 à 10 % (39,43). D'autres espèces de rickettsies associées à la fièvre pourprée peuvent être transmises par les tiques *Dermacentor* au Canada.

Le virus de la fièvre à tiques du Colorado se trouve actuellement dans certains des États de l'ouest des États-Unis. Quelques cas ont aussi été déclarés en Saskatchewan et en Alberta. Ce virus est transmis par une tique répandue dans l'ouest du Canada : *Dermacentor andersoni* (ou tique d'Anderson). D'autres espèces de *Borrelia* présentes dans les États du nord-ouest et du Midwest des États-Unis se sont propagées en Colombie-Britannique et en Ontario, où quelques cas ont été observés. Certaines espèces de *Ehrlichia* ont été observées dans le sud-est et le centre-sud des États-Unis, mais aucun cas d'infection humaine n'a encore été détecté au Canada.

**Le Tableau 1** offre un aperçu des agents pathogènes connus chez l'humain qui sont associés à diverses espèces de tiques au Canada et des agents pathogènes des États-Unis qui pourraient

se propager vers le nord, au Canada, en raison des changements climatiques. Il précise également l'année de l'identification des agents pathogènes comme causes de maladies transmises par les tiques, les principales espèces d'hôtes réservoirs, leur répartition géographique actuelle ou passée et s'ils ont été détectés chez les tiques, les humains ou d'autres animaux.

## Stratégies de santé publique et cliniques

Une des principales activités de santé publique en ce qui a trait aux maladies transmises par les tiques est la surveillance. La détection des tiques, la déclaration de cas chez les humains et la mise à jour de données sur le risque global d'exposition des humains aux tiques et aux agents pathogènes dont elles sont porteuses sont nécessaires à l'élaboration des interventions de soins cliniques et de santé publique (45). À l'heure actuelle, les programmes de surveillance active et passive des tiques au Canada visent surtout *I. scapularis*, vecteur principal de la maladie de Lyme. Les efforts de surveillance sont axés sur les régions où la maladie de Lyme n'existait pas auparavant ou celles où elle n'a peut-être pas été reconnue. Une surveillance à plus grande échelle s'imposera au fur et à mesure que d'autres maladies transmises par les tiques se propageront.

Une fois que les régions à risque seront identifiées, les stratégies visant à informer et à sensibiliser les personnes qui courent un risque d'exposition élevé au sujet des dangers et de la prévention se révéleront essentielles pour prévenir efficacement la maladie. En raison des changements récents touchant les régions où sévissent les tiques et donc les agents pathogènes dont elles sont porteuses, ces stratégies seront particulièrement importantes chez les nouvelles populations à risque, car la conscience et la perception du risque sont actuellement faibles (46-48).

Les professionnels de la santé jouent un rôle important dans la sensibilisation à la prévention en informant leurs patients des mesures qu'ils peuvent prendre pour réduire leur exposition aux tiques vectrices quand ils sont en voyage, au Canada comme à l'étranger. Les stratégies de prévention du risque comprennent la prise de mesures de protection individuelle et l'examen systématique de la peau pour y déceler d'éventuelles tiques après l'exposition dans les régions où le risque est élevé. Les cliniciens jouent également un rôle essentiel dans la détection précoce dans la mesure où ce sont eux qui obtiennent la confirmation du laboratoire et prennent ces maladies en charge. Les efforts de santé publique comprennent la surveillance, les modifications de l'environnement et les stratégies de gestion des tiques et des animaux hôtes.



Tableau 1 : Agents pathogènes transmis par les tiques qui sont présents ou qui pourraient se propager au Canada

Agent pathogène	Année d'ID	Principales tiques vectrices	Principales espèces d'hôtes réservoirs	Répartition géographique <sup>a</sup>		Déclaration obligatoire à l'échelle nationale	Détection au Canada		
				Canada	États-Unis		Tique	Humain	Animal
<i>Anaplasma phagocytophilum</i>	1994	<i>Ixodes scapularis</i> , <i>Ixodes pacificus</i>	Rongeurs	C.-B., Alb., Sask., Man., Ont., Qc, N.-B., T.-N.-L., N.-É., Î.-P.-É.	États du Nord du Midwest et du Nord- Est	Non	Oui	Oui	Oui
<i>Babesia microti</i>	1970	<i>Ixodes scapularis</i>	Souris	Man., Ont., Qc, N.-B., N.-É.	États du Nord-Est et du Nord du Midwest	Non	Oui	Oui	Oui
<i>Borrelia burgdorferi</i>	1982	<i>Ixodes scapularis</i> , <i>Ixodes pacificus</i>	Rongeurs	C.-B., Alb., Sask., Man., Ont., Qc, N.-B., T.-N.-L., N.-É., Î.-P.-É.	États du Nord-Est et du Nord du Midwest	Oui	Oui	Oui	Oui
<i>Borrelia hermsii</i>	1935	<i>Ornithodoros hermsi</i>	Rongeurs et lapins	C.-B.	États de l'Ouest	Non	---	Oui	---
<i>Borrelia mayonii</i> / agent pathogène semblable à <i>Borrelia mayonii</i>	2014	<i>Ixodes scapularis</i> / <i>Ixodes angustus</i>	Rongeurs	Ont., C.-B.	États du Nord du Midwest : Minnesota et Wisconsin	Non	Oui	---	Oui
<i>Borrelia miyamotoi</i>	2013	<i>Ixodes scapularis</i> , <i>Ixodes pacificus</i>	Souris	C.-B., Alb., Man., Ont., Qc, N.-B., T.-N.-L., N.-É., Î.-P.-É.	États du Nord du Midwest et du Nord-Est et États du centre du littoral de l'Atlantique	Non	Oui	Non	---
Virus de la fièvre à tiques du Colorado	1946	<i>Dermacentor andersoni</i>	Spermophile à mante dorée, chevreuils, souris et lapins	Sask., Alb.	États de l'Ouest : Colorado, Utah, Montana, Wyoming	Non	Non	Oui	---
<i>Ehrlichia chaffeensis</i>	1987	<i>Amblyomma americanum</i>	Cerf de Virginie	---	États du Sud-Est et du Centre-Sud	Non	Non	Non	---
<i>Ehrlichia ewingii</i>	1999	<i>Amblyomma americanum</i>	Cerf de Virginie	---	États du Sud-Est et du Centre-Sud	Non	---	---	---
Agent semblable à <i>Ehrlichia muris</i>	2011	<i>Ixodes scapularis</i> / <i>Ixodes muris</i>	Souris	Man.	États du Nord du Midwest	Non	Oui	---	---
<i>Francisella tularensis</i>	1924	<i>Dermacentor variabilis</i> , <i>Dermacentor andersoni</i> , <i>Amblyomma americanum</i>	Lapins, lièvres et rongeurs	<b>Partout au Canada</b>	Tous les États	Oui	Oui	Oui	Oui
Virus Heartland	2012	<i>Amblyomma americanum</i>	Cerf de Virginie	---	Midwest et États du Sud	Non	Non	---	---
Lignée I du virus Powassan	1963	<i>Ixodes cookei</i> , <i>Ixodes marxi</i> , <i>Ixodes spinipalpis</i>	Mammifères des régions boisées de petite taille ou de taille moyenne (marmotte commune)	Ont., Qc, N.-B., Î.-P.-É.	États du Nord-Est et région des Grands Lacs	Non	Oui	Oui	Oui
Lignée II du virus Powassan	2001	<i>Ixodes scapularis</i> , <i>Dermacentor andersoni</i>	Souris	Man., Ont., N.-É.	États du Nord-Est et du Nord du Midwest	Non	Oui	---	---
<i>Rickettsia rickettsii</i>	1909	<i>Dermacentor variabilis</i> , <i>Dermacentor andersoni</i> , <i>Rhipicephalus sanguineus</i>	Divers mammifères sauvages incluant des rongeurs	C.-B., Alb., Sask., Ont., N.-É.	États de l'Est, du Centre, de l'Ouest et du Sud-Ouest	Non	Oui <sup>b</sup>	Oui <sup>b</sup>	Oui

Abbreviations : Alb., Alberta; C.-B., Colombie-Britannique; Î.-P.-É., Île-du-Prince-Édouard; Man., Manitoba; N.-É., Nouvelle-Écosse; N.-B., Nouveau-Brunswick; Ont., Ontario; Qc, Québec; Sask., Saskatchewan; T.-N.-L., Terre-Neuve et Labrador

Adapté de Paddock et al., 2016 (44)

<sup>a</sup> Canada : Les provinces où la transmission endémique est un fait connu sont en gras. Concernant les provinces qui ne sont pas en gras, les cycles de transmission locaux d'agents pathogènes n'ont pas été clairement définis ou des infections ont été détectées chez des tiques adventices, des humains ou des animaux. États-Unis : États où l'incidence de cas chez les humains était la plus élevée

<sup>b</sup> Selon des enquêtes menées par le passé sur les tiques au Canada et non des enquêtes récentes. Les cas de fièvre pourprée des montagnes Rocheuses chez les humains ont également été déclarés dans le passé. Des cas récents de fièvre pourprée associée aux rickettsies ont été documentés, mais ils sont rares

(-) indique qu'aucune donnée n'est disponible ou qu'aucune étude n'a été menée sur le sujet



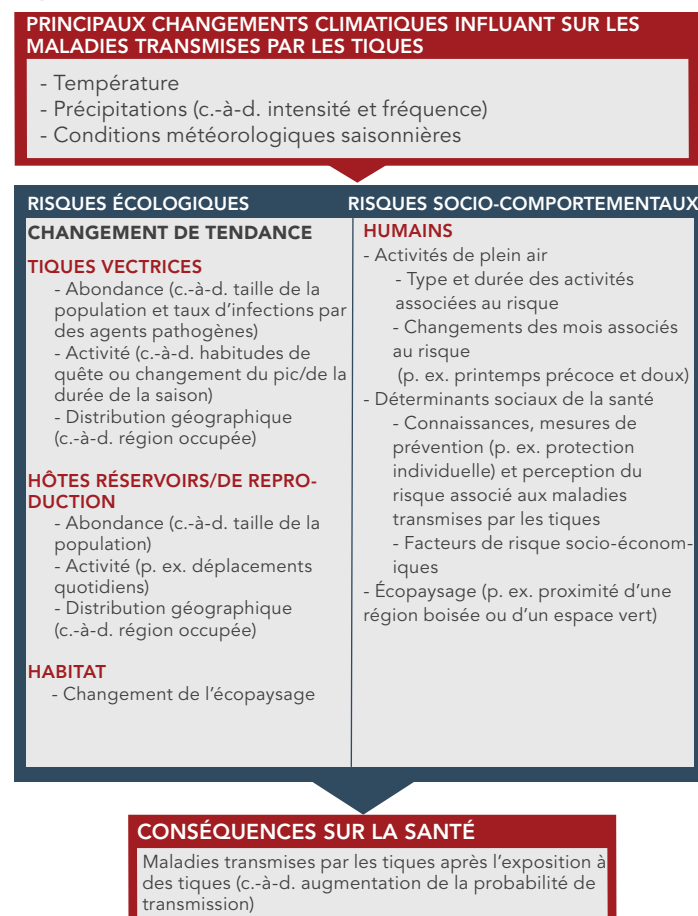
Accroître la capacité d'intervention et la sensibilisation à la situation est important. Pour la plupart des maladies transmises par les tiques, le diagnostic précoce et la mise en route rapide du traitement sont les meilleurs moyens de réduire les conséquences cliniques graves. À l'heure actuelle, tous les cas ne seraient pas détectés, déclarés ou confirmés. Les symptômes sont souvent les mêmes d'une maladie transmise par les tiques à l'autre (p. ex. fièvre, maux de tête, myalgie et arthralgie). En prévision d'une augmentation des types de maladies transmises par les tiques au Canada, les cliniciens doivent être conscients que si un patient présente des symptômes évocateurs de la maladie de Lyme, mais qu'il obtient un résultat négatif au dépistage de cette maladie, il est peut-être quand même atteint d'une maladie transmise par les tiques. D'autres épreuves de laboratoire pourraient être indiquées. L'absence d'une éruption cutanée ou d'un érythème migrant ne devrait pas exclure la possibilité d'une maladie transmise par les tiques.

## Discussion

Au Canada, le processus d'émergence et de propagation des tiques et des maladies transmises par les tiques devrait se poursuivre là où le climat, la température et les habitats sont favorables aux tiques et au cycle de transmission des agents pathogènes dont elles sont porteuses. Il est toutefois important de noter que le lien entre les maladies transmises par les tiques et le climat n'est pas linéaire. Il existe des facteurs de risque modifiables qui agiront sur l'incidence des maladies transmises par les tiques au Canada. Ces facteurs de risque modifiables comprennent des facteurs environnementaux et humains. Les modifications de l'environnement ont un effet non négligeable. Selon une des études menées, ramasser les feuilles (détritus et feuilles mortes) donne lieu à une réduction de 72 à 100 % du nombre de tiques (49). Au Canada, l'adoption de mesures de prévention personnelle des piqûres de tiques est proportionnelle aux connaissances sur la maladie de Lyme et à la perception du risque associé à cette maladie (47,48). D'autres facteurs doivent toutefois être pris en considération. La croissance de la population humaine, les déplacements, les habitudes, l'économie et les politiques sont également associés à une variation du taux d'exposition des humains aux tiques et au risque de transmission de maladies transmises par les tiques (15,16,50). Parallèlement à l'évolution rapide des facteurs socio-économiques, les changements climatiques et autres changements environnementaux incitent à voir l'augmentation de l'incidence et de la transmission des maladies transmises par les tiques comme un problème socio-écologique complexe qui n'est pas seulement le fait de ces changements et de quantifier leur contribution relative au fardeau global de la maladie.

Les principaux moteurs de changements climatiques et les facteurs socio-comportementaux qui entrent en jeu et déterminent les conséquences des maladies transmises par les tiques sur la santé sont présentés dans la **Figure 2**. Un des défis à relever sera de reconnaître que l'augmentation de l'incidence et la dispersion géographique des maladies transmises par les tiques constituent un problème socio-écologique complexe. Ce défi sera également l'occasion d'élaborer de nouvelles stratégies d'intervention. Quelques études ont été menées sur les facteurs de risque socio-comportementaux chez l'humain qui sont associés aux maladies transmises par les tiques dans le contexte de l'adaptation aux changements climatiques (46–48,50). D'autres études sociologiques devront toutefois être menées. Des études psycho-comportementales seront également nécessaires pour déterminer si le fait de savoir que les changements climatiques entraîneront une augmentation des tiques et des maladies transmises par les tiques peut être un facteur de motivation. Enfin, il sera important d'observer les facteurs de résilience ou la capacité d'adaptation des individus ou des communautés à risque pour réduire au minimum le risque de maladies transmises par les tiques.

**Figure 2 : Principaux changements climatiques, facteurs écologiques et risques socio-comportementaux qui influent sur l'acquisition des maladies transmises par les tiques**



Adapté de Beard et al., 2016 (50)



## Conclusion

En raison de l'expansion de la dispersion géographique des espèces de tiques vectrices et des maladies dont elles sont porteuses, la cible des cliniciens et des autorités de santé publique est toujours en mouvement. Le lien manifeste avec les changements climatiques est une occasion d'accroître la motivation d'agir en matière de maladies transmises par les tiques au Canada. Les efforts liés à la gestion des changements climatiques seront de plus en plus intenses, mais étant donné qu'il s'agit d'un défi socio-écologique complexe, il est également souhaitable d'agir sur les facteurs de risque modifiables des maladies transmises par les tiques au Canada.

CB — Conceptualisation, rédaction : rédaction de l'ébauche originale, examen et révision

AD — Rédaction : rédaction de l'ébauche originale, examen et révision

JK — Rédaction : rédaction de l'ébauche originale, examen et révision

HW — Rédaction : rédaction de l'ébauche originale, examen et révision

PL — Rédaction : rédaction de l'ébauche originale, examen et révision

LRL — Rédaction : rédaction de l'ébauche originale, examen et révision

## Conflit d'intérêts

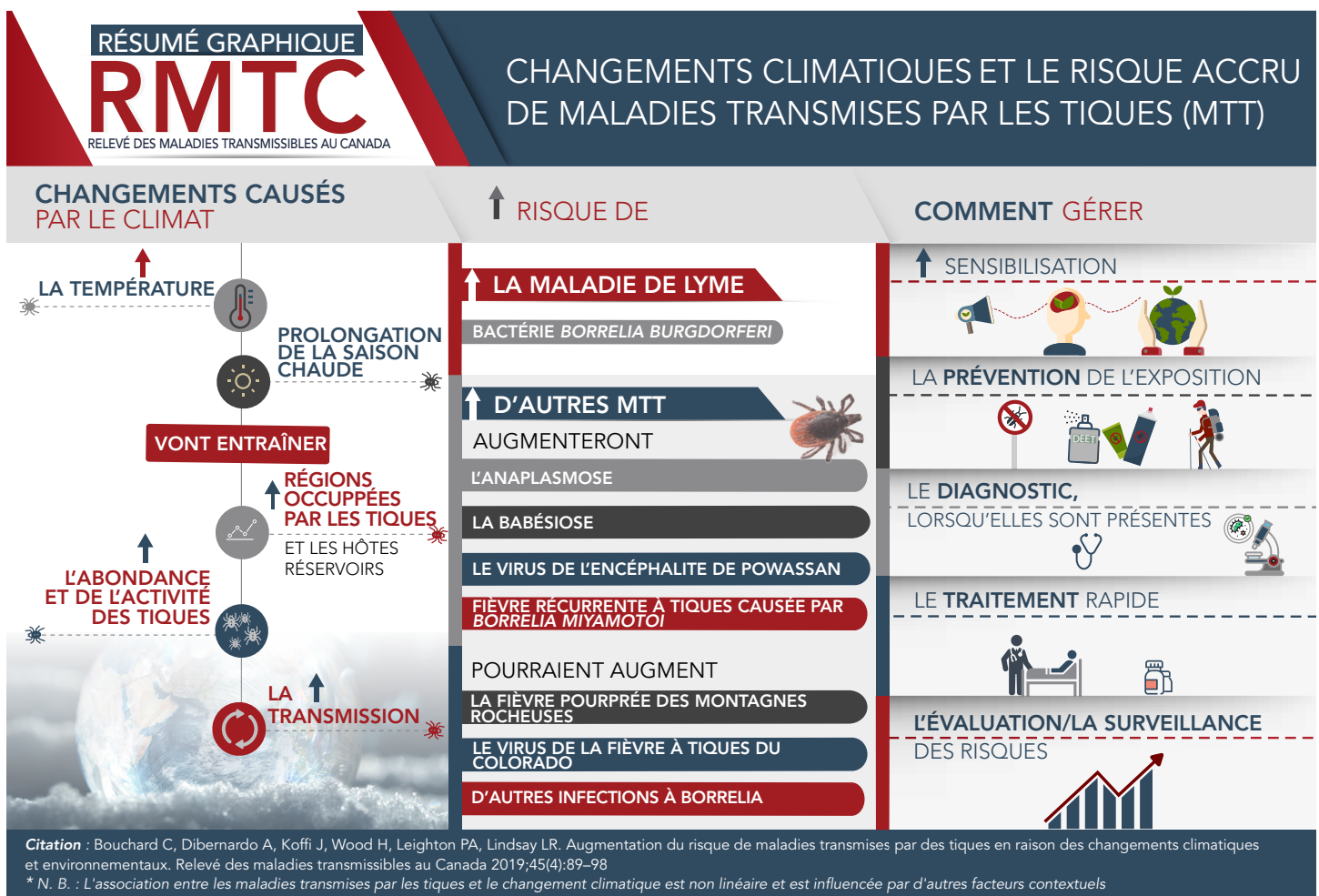
Aucun.

## Déclaration des auteurs

Les auteurs aimeraient remercier les réviseurs et le personnel de rédaction anonymes du Relevé des maladies transmissibles au Canada pour leurs suggestions utiles qui ont grandement amélioré la qualité de ce manuscrit.

## Financement

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







## Références

1. Sonenshine DE. Range expansion of tick disease vectors in North America: implications for spread of tick-borne disease. *Int J Environ Res Public Health* 2018 Mar;15(3):E478. [DOI PubMed](#)
2. Bouchard C, Leonard E, Koffi JK, Pelcat Y, Peregrine A, Chilton N, Rochon K, Lysyk T, Lindsay LR, Ogden NH. The increasing risk of Lyme disease in Canada. *Can Vet J* 2015 Jul;56(7):693–9. [PubMed](#)
3. Kilpatrick AM, Dobson AD, Levi T, Salkeld DJ, Swei A, Ginsberg HS, Kjemtrup A, Padgett KA, Jensen PM, Fish D, Ogden NH, Diuk-Wasser MA. Lyme disease ecology in a changing world: consensus, uncertainty and critical gaps for improving control. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 2017 Jun;372(1722):20160117. [DOI PubMed](#)
4. Werden L, Lindsay LR, Barker IK, Bowman J, Gonzales EK, Jardine CM. Prevalence of *Anaplasma phagocytophilum* and *Babesia microti* in *Ixodes scapularis* from a newly established Lyme disease endemic area, the Thousand Islands region of Ontario, Canada. *Vector Borne Zoonotic Dis* 2015 Oct;15(10):627–9. [DOI PubMed](#)
5. Ogden NH, Lindsay LR. Effects of climate and climate change on vectors and vector-borne diseases: ticks are different. *Trends Parasitol* 2016 Aug;32(8):646–56. [DOI PubMed](#)
6. Eisen RJ, Kugeler KJ, Eisen L, Beard CB, Paddock CD. Tick-borne zoonoses in the United States: persistent and emerging threats to human health. *ILAR J* 2017 Dec;58(3):319–35. [DOI PubMed](#)
7. Corrin T, Greig J, Harding S, Young I, Mascarenhas M, Waddell LA. Powassan virus, a scoping review of the global evidence. 2018;65(6):595–624. [DOI](#)
8. Gasmi S, Bouchard C, Ogden NH, Adam-Poupart A, Pelcat Y, Rees EE, Milord F, Leighton PA, Lindsay RL, Koffi JK, Thivierge K. Evidence for increasing densities and geographic ranges of tick species of public health significance other than *Ixodes scapularis* in Québec, Canada. *PLoS One* 2018 Aug;13(8):e0201924. [DOI PubMed](#)
9. Bullard JM, Ahsanuddin AN, Perry AM, Lindsay LR, Iranpour M, Dibernardo A, Van Caesele PG. The first case of locally acquired tick-borne *Babesia microti* infection in Canada. *Can J Infect Dis Med Microbiol* 2014 Nov-Dec;25(6):e87–9. [DOI PubMed](#)
10. Dibernardo A, Cote T, Ogden NH, Lindsay LR. The prevalence of *Borrelia miyamotoi* infection, and co-infections with other *Borrelia* spp. in *Ixodes scapularis* ticks collected in Canada. *Parasit Vectors* 2014 Apr;7:183. [DOI PubMed](#)
11. Ogden NH, Radojevic M, Wu X, Duvvuri VR, Leighton PA, Wu J. Estimated effects of projected climate change on the basic reproductive number of the Lyme disease vector *Ixodes scapularis*. *Environ Health Perspect* 2014 Jun;122(6):631–8. [DOI PubMed](#)
12. Ebi KL, Ogden NH, Semenza JC, Woodward A. Detecting and Attributing Health Burdens to Climate Change. *Environ Health Perspect* 2017 Aug;125(8):085004. [DOI PubMed](#)
13. Gasmi S, Ogden NH, Lindsay LR, Burns S, Fleming S, Badcock J, Hanan S, Gaulin C, Leblanc MA, Russell C, Nelder M, Hobbs L, Graham-Derham S, Lachance L, Scott AN, Galanis E, Koffi JK. Surveillance de la maladie de Lyme au Canada, de 2009 à 2015. Relevé des maladies transmissibles au Canada. 2017;43(10):219-25. [DOI](#)
14. Nelder MP, Wijayasri S, Russell CB, Johnson KO, Marchand-Austin A, Cronin K, Johnson S, Badiani T, Patel SN, Sider D. La poursuite de la progression de la maladie de Lyme en Ontario, Canada en 2017. Relevé des maladies transmissibles au Canada 2018;44(10):262-8. [DOI](#)
15. Randolph SE. [Faune, climat et politique: Causes possibles aux récents accroissements des zoonoses à tiques]. *Archives de Pédiatrie* 2004;11(10):1282–5. [DOI](#)
16. Randolph SE. Is expert opinion enough? A critical assessment of the evidence for potential impacts of climate change on tick-borne diseases. *Anim Health Res Rev* 2013 Dec;14(2):133–7. [DOI PubMed](#)
17. Warren, F.J. et D.S. Lemmen. « Synthèse », dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatives aux impacts et à l'adaptation*, F.J. Warren et D.S. Lemmen (éd.), Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario), 2014, pp. 1-18
18. Bouchard C, Beauchamp G, Nguon S, Trudel L, Milord F, Lindsay LR, Bélanger D, Ogden NH. Associations between *Ixodes scapularis* ticks and small mammal hosts in a newly endemic zone in southeastern Canada: implications for *Borrelia burgdorferi* transmission. *Ticks Tick Borne Dis* 2011 Dec;2(4):183–90. [DOI PubMed](#)
19. Brownstein JS, Holford TR, Fish D. Effect of climate change on Lyme disease risk in North America. *EcoHealth* 2005 Mar;2(1):38–46. [DOI PubMed](#)
20. Ogden NH, Barker IK, Francis CM, Heagy A, Lindsay LR, Hobson KA. How far north are migrant birds transporting the tick *Ixodes scapularis* in Canada? Insights from stable hydrogen isotope analyses of feathers. *Ticks Tick Borne Dis* 2015 Sep;6(6):715–20. [DOI PubMed](#)
21. Ogden NH, Bigras-Poulin M, O'Callaghan CJ, Barker IK, Lindsay LR, Maarouf A, Smoyer-Tomic KE, Waltner-Toews D, Charron D. A dynamic population model to investigate effects of climate on geographic range and seasonality of the tick *Ixodes scapularis*. *Int J Parasitol* 2005 Apr;35(4):375–89. [DOI PubMed](#)
22. Clow KM, Leighton PA, Ogden NH, Lindsay LR, Michel P, Pearl DL, Jardine CM. Northward range expansion of *Ixodes scapularis* evident over a short timescale in Ontario, Canada. *PLoS One* 2017 Dec;12(12):e0189393. [DOI PubMed](#)



23. Ogden NH, Bouchard C, Kurtenbach K, Margos G, Lindsay LR, Trudel L, Nguon S, Milord F. Active and passive surveillance and phylogenetic analysis of *Borrelia burgdorferi* elucidate the process of Lyme disease risk emergence in Canada. *Environ Health Perspect* 2010 Jul;118(7):909–14. [DOI PubMed](#)
24. Gilbert L, Aungier J, Tomkins JL. Climate of origin affects tick (*Ixodes ricinus*) host-seeking behavior in response to temperature: implications for resilience to climate change? *Ecol Evol* 2014 Apr;4(7):1186–98. [DOI PubMed](#)
25. Bouchard C, Beauchamp G, Leighton PA, Lindsay R, Bélanger D, Ogden NH. Does high biodiversity reduce the risk of Lyme disease invasion? *Parasit Vectors* 2013 Jul;6:195. [DOI PubMed](#)
26. Bouchard C, Leighton PA, Beauchamp G, Nguon S, Trudel L, Milord F, Lindsay LR, Bélanger D, Ogden NH. Harvested white-tailed deer as sentinel hosts for early establishing *Ixodes scapularis* populations and risk from vector-borne zoonoses in southeastern Canada. *J Med Entomol* 2013 Mar;50(2):384–93. [PubMed](#)
27. Levi T, Kilpatrick AM, Mangel M, Wilmers CC. Deer, predators, and the emergence of Lyme disease. *Proc Natl Acad Sci USA* 2012 Jul;109(27):10942–7. [DOI PubMed](#)
28. Roy-Dufresne E, Logan T, Simon JA, Chmura GL, Millien V. Poleward expansion of the white-footed mouse (*Peromyscus leucopus*) under climate change: implications for the spread of lyme disease. *PLoS One* 2013 Nov;8(11):e80724. [DOI PubMed](#)
29. Simon JA, Marrotte RR, Desrosiers N, Fiset J, Gaitan J, Gonzalez A, Koffi JK, Lapointe FJ, Leighton PA, Lindsay LR, Logan T, Milord F, Ogden NH, Rogic A, Roy-Dufresne E, Suter D, Tessier N, Millien V. Climate change and habitat fragmentation drive the occurrence of *Borrelia burgdorferi*, the agent of Lyme disease, at the northeastern limit of its distribution. *Evol Appl* 2014 Aug;7(7):750–64. [DOI PubMed](#)
30. Bacon RM, Kugeler KJ, Mead PS; Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Surveillance for Lyme disease—United States, 1992–2006. *MMWR Surveill Summ* 2008 Oct;57(10):1–9. [PubMed](#)
31. Parola P, Paddock CD. Travel and tick-borne diseases: lyme disease and beyond. *Travel Med Infect Dis* 2018 Nov - Dec;26:1–2. [DOI PubMed](#)
32. Estrada-Peña A, Ostfeld RS, Peterson AT, Poulin R, de la Fuente J. Effects of environmental change on zoonotic disease risk: an ecological primer. *Trends Parasitol* 2014 Apr;30(4):205–14. [DOI PubMed](#)
33. Lindsay LR, Barker IK, Surgeoner GA, McEwen SA, Gillespie TJ, Addison EM. Survival and development of the different life stages of *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae) held within four habitats on Long Point, Ontario, Canada. *J Med Entomol* 1998 May;35(3):189–99. [DOI PubMed](#)
34. Guerra M, Walker E, Jones C, Paskewitz S, Cortinas MR, Stancil A, Beck L, Bobo M, Kitron U. Predicting the risk of Lyme disease: habitat suitability for *Ixodes scapularis* in the north central United States. *Emerg Infect Dis* 2002 Mar;8(3):289–97. [PubMed](#)
35. Brownstein JS, Skelly DK, Holford TR, Fish D. Forest fragmentation predicts local scale heterogeneity of Lyme disease risk. *Oecologia* 2005 Dec;146(3):469–75. [DOI PubMed](#)
36. Kugeler KJ, Griffith KS, Gould LH, Kochanek K, Delorey MJ, Biggerstaff BJ, Mead PS. A review of death certificates listing Lyme disease as a cause of death in the United States. *Clin Infect Dis* 2011 Feb;52(3):364–7. [DOI PubMed](#)
37. Krakowetz CN, Dibernardo A, Lindsay LR, Chilton NB. Two *Anaplasma phagocytophilum* strains in *Ixodes scapularis* ticks, Canada. *Emerg Infect Dis* 2014 Dec;20(12):2064–7. [DOI PubMed](#)
38. Edginton S, Guan TH, Evans G, Srivastava S. Human granulocytic anaplasmosis acquired from a blacklegged tick in Ontario. *CMAJ* 2018 Mar;190(12):E363–6. [DOI PubMed](#)
39. Biggs HM, Behravesh CB, Bradley KK, Dahlgren FS, Drexler NA, Dumler JS, Folk SM, Kato CY, Lash RR, Levin ML, Massung RF, Nadelman RB, Nicholson WL, Paddock CD, Pritt BS, Traeger MS. Diagnosis and management of tickborne Rickettsial diseases: rocky Mountain spotted fever and other spotted fever group Rickettsioses, Ehrlichioses, and Anaplasmosis - United States. *MMWR Recomm Rep* 2016 May;65(2):1–44. [DOI PubMed](#)
40. O'Brien SF, Delage G, Scalia V, Lindsay R, Bernier F, Dubuc S, Germain M, Pilot G, Yi QL, Fearon MA. Seroprevalence of *Babesia microti* infection in Canadian blood donors. *Transfusion* 2016 Jan;56(1):237–43. [DOI PubMed](#)
41. Artsob H. 1988. Powassan encephalitis. Pp. 29–49 in T.P. Monath (ed.), *The arboviruses: epidemiology and ecology*, Vol. 4. CRC Press, Boca Raton, Florida.
42. Ebel GD, Kramer LD. Short report: duration of tick attachment required for transmission of powassan virus by deer ticks. *Am J Trop Med Hyg* 2004 Sep;71(3):268–71. [DOI PubMed](#)
43. Ogden NH, Artsob H, Margos G, Tsao J. (2014). Non-rickettsial tick-borne bacteria and the diseases they cause, in *Biology of Ticks*, Chapter 10, Vol. 2 2nd Edn. eds Sonenshine D. E., Roe R. M., editors. (New York, NY: Oxford University Press), 278–312.
44. Paddock CD, Lane RS, Staples JE, Labruna MB. Changing Paradigms for Tick-borne Diseases in the Americas. *Global Health Impacts of Vector-borne Diseases: Workshop Summary*. Washington (DC): National Academies Press (US); 2016. p. A8. [www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK390439/](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK390439/)
45. Beard CB. Prévention et contrôle de la maladie de Lyme: allons de l'avant. *Relevé des maladies transmissibles au Canada* 2014;40(5):97–100. [DOI](#)



46. Bouchard C, Aenishaenslin C, Rees EE, Koffi JK, Pelcat Y, Ripoché M, Milord F, Lindsay LR, Ogden NH, Leighton PA. Integrated social-behavioral and ecological risk maps to prioritize local public health responses to Lyme disease. *Environ Health Perspect* 2018 Apr;126(4):047008. DOI [PubMed](#)
47. Aenishaenslin C, Bouchard C, Koffi JK, Ogden NH. Exposure and preventive behaviours toward ticks and Lyme disease in Canada: results from a first national survey. *Ticks Tick Borne Dis* 2017 Jan;8(1):112–8. DOI [PubMed](#)
48. Aenishaenslin C, Bouchard C, Koffi JK, Pelcat Y, Ogden NH. Evidence of rapid changes in Lyme disease awareness in Canada. *Ticks Tick Borne Dis* 2016 Oct;7(6):1067–74. DOI [PubMed](#)
49. Schulze TL, Jordan RA, Hung RW. Suppression of subadult *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae) following removal of leaf litter. *J Med Entomol* 1995 Sep;32(5):730–3. DOI [PubMed](#)
50. Beard CB, Eisen RJ, Barker CM, Garofalo JF, Hahn M, Hayden M et al. The Impacts of Climate Change on Human Health in the United States: A Scientific Assessment. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, 2016. Chapter 5, Vectorborne Diseases; p.129–56. DOI [PubMed](#)



# Augmentation du risque de maladies endémiques au Canada transmises par des moustiques en raison du changement climatique

A Ludwig<sup>1\*</sup>, H Zheng<sup>2</sup>, L Vrbova<sup>3</sup>, MA Drebot<sup>4</sup>, M Iranpour<sup>4</sup>, LR Lindsay<sup>4</sup>

## Résumé

Il existe actuellement plus de 80 espèces de moustiques endémiques au Canada, bien que seulement quelques-unes d'entre elles soient porteuses d'agents pathogènes pouvant provoquer des maladies chez les humains. Le virus du Nil occidental, le virus de l'encéphalite équine de l'Est et les virus du sérotype Californie (incluant les virus Jamestown Canyon et Snowshoe hare) sont des virus transmis par des moustiques ayant provoqué des infections chez les humains en Amérique du Nord, y compris au Canada. Au cours des 20 dernières années, l'incidence de la plupart de ces maladies endémiques transmises par des moustiques a augmenté d'environ 10 % au Canada, en grande partie en raison du changement climatique. On s'attend à ce que le cycle de vie des moustiques et les modes de transmission des virus subissent les effets de changement climatique, ce qui entraînera une augmentation de l'étendue et de l'abondance locale de plusieurs espèces importantes de moustiques. Des études en laboratoire et des travaux de modélisation mathématique suggèrent que l'augmentation des températures ambiantes, les changements dans les précipitations et les phénomènes météorologiques extrêmes associés au changement climatique continueront probablement de favoriser l'expansion de la population de moustiques vecteurs et la présence de maladies transmises par des moustiques, augmentant ainsi la durée des saisons de transmission et entraînant des épidémies de ces maladies. De plus, les cycles de transmission des maladies endémiques transmises par des moustiques au Canada sont complexes, car ils englobent de multiples hôtes réservoirs (oiseaux et mammifères), de multiples agents pathogènes et de multiples espèces de moustiques sensibles au changement climatique et aux autres changements environnementaux. Par conséquent, il est difficile de prévoir les tendances émergentes possibles. Les incertitudes quant aux changements prévus mettent en évidence la nécessité de poursuivre (et d'accroître) la surveillance et la recherche afin d'assurer une évaluation opportune et exacte des risques pour la santé publique des Canadiens.

**Citation proposée :** Ludwig A, Zheng H, Vrbova L, Drebot MA, Iranpour M, Lindsay LR. Augmentation du risque de maladies endémiques transmises par des moustiques au Canada en raison du changement climatique. *Relevé des maladies transmissibles au Canada* 2019;45(4):99–107. <https://doi.org/10.14745/ccdr.v45i04a03f>

**Mots clés :** Canada, changement climatique, encéphalite équine de l'Est, endémie, maladies transmises par des moustiques, virus du Nil occidental, virus du sérotype Californie

## Introduction

Le rapport du Groupe d'experts intergouvernemental des Nations Unies sur l'évolution du climat indique que les maladies transmises par des moustiques sont les maladies infectieuses les plus sensibles au changement climatique (1). Le Canada a déjà connu des changements climatiques, et les tendances observées sont notamment le réchauffement, l'augmentation des périodes de chaleur extrême et de pluies abondantes, et la diminution du nombre de jours de gel (2). Ces changements devraient s'intensifier au cours des prochaines décennies, jusqu'à ce que les émissions de gaz à effet de serre commencent à diminuer à l'échelle mondiale.

On s'attend à ce que les changements climatiques influent sur la flore et la faune du Canada de façon prévisible et imprévisible. Dans la faune susceptible d'être touchée par le changement climatique se trouvent diverses espèces de moustiques. En plus d'être considérées comme une nuisance en raison de leurs piqûres, quelques espèces peuvent également transmettre des organismes pathogènes infectieux.

Le présent document porte sur les moustiques endémiques au Canada et sur les maladies dont ils peuvent être vecteurs, soit les maladies endémiques transmises par des moustiques.

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



## Affiliations

<sup>1</sup> Laboratoire national de microbiologie, Agence de la santé publique du Canada, Saint-Hyacinthe (Québec)

<sup>2</sup> Centre des maladies infectieuses d'origine alimentaire et environnementale Agence de la santé publique du Canada, Ottawa (Ontario)

<sup>3</sup> Centre des maladies infectieuses d'origine alimentaire, environnementale et zoonotique, Agence de la santé publique du Canada, Toronto (Ontario)

<sup>4</sup> Laboratoire national de microbiologie, Agence de la santé publique du Canada, Winnipeg (Manitoba)

**\*Correspondance:**  
[antoinette.ludwig@canada.ca](mailto:antoinette.ludwig@canada.ca)



Ces maladies se distinguent des maladies exotiques transmises par des moustiques qu'on peut contracter à l'extérieur du Canada, quoique ces dernières pourraient apparaître au Canada dans l'avenir (3). L'infection par le virus du Nil occidental est la maladie endémique transmise par des moustiques la plus importante au Canada sur le plan médical. Les autres maladies endémiques transmises par des moustiques comprennent le virus de l'encéphalite équine de l'Est (virus EEE) et deux virus du séro-groupe Californie : le virus Jamestown Canyon et le virus Snowshoe hare (4–8). Toutes ces maladies sont transmises par des arbovirus endémiques (acronyme d'ARthropod-BORne virus, qui désigne tout virus transmis par un vecteur arthropode). Les arthropodes comprennent les moustiques, les tiques et les mouches noires. Le présent document porte seulement sur les moustiques. Les arthropodes vecteurs sont des espèces à sang froid et sont donc particulièrement sensibles aux facteurs climatiques.

Cette étude vise à donner une vue d'ensemble des moustiques observés au Canada, à résumer comment le changement climatique peut accroître le risque de maladies endémiques transmises par des moustiques, à discuter de telles maladies causées par des moustiques susceptibles de se multiplier en milieux urbain et rural et à déterminer ce qui peut être fait pour réduire ces risques.

## Espèces de moustiques endémiques au Canada

Les quatre principaux arbovirus endémiques au Canada (le virus du Nil occidental, le virus EEE, le virus Jamestown Canyon et le virus Snowshoe hare) sont tous transmis par des piqûres de moustiques femelles infectés par des agents pathogènes contractés d'hôtes réservoirs mammifères ou aviaires bien précis (9). Les principaux moustiques vecteurs du virus du Nil occidental sont le *Culex pipiens* et le *Cx. restuans* dans l'Est du Canada et le *Cx. tarsalis* dans l'Ouest du Canada (10). Le principal vecteur du virus EEE est le *Culiseta melanura* (11,12) et les principaux vecteurs des virus du séro-groupe Californie sont une variété d'espèces de moustiques de catégories autres que le *Culex* (p.ex., les espèces *Aedes*, *Culiseta* et *Anopheles*) (13–15). Les virus Jamestown Canyon et Snowshoe hare font partie du séro-groupe Californie. Les réservoirs de ces pathogènes varient selon les espèces de moustiques; par exemple, le principal réservoir animal du virus Jamestown Canyon est le cerf de Virginie (16), tandis que celui du virus Snowshoe hare est (sans surprise) le lièvre d'Amérique et d'autres petits mammifères (8). Les humains sont des hôtes accidentels ou «terminaux» des arbovirus endémiques, ce qui signifie que bien qu'ils puissent être infectés, ils ne peuvent pas transmettre ces virus efficacement aux moustiques qui se nourrissent de leur sang en raison d'une virémie faible et transitoire (4,10). Les arbovirus peuvent aussi parfois être transmis à la suite d'une transfusion sanguine ou d'une greffe de tissu (17,18).

En plus de ces moustiques traditionnellement endémiques, de nombreuses autres espèces ont été introduites au Canada au cours des dernières décennies. Dans les années 1970, un examen exhaustif des insectes et des arachnides du Canada a révélé qu'il y avait 74 espèces de moustiques (19). Au cours des 40 années qui ont suivi, six espèces ont été déclarées comme nouvellement établies au Canada : *Ochlerotatus ventrovittis*; *Oc. japonicus*; *Cx. salinarius*; *Cx. erraticus*; *An. perplexens*; et *An. crucians* [(20), et données non publiées de M. Iranpour]. De plus, dix espèces ont étendu leur territoire au Canada : *Uranotaenia sapphirina*; *Cs. melanura*; *Cs. minnesotae*; *Cx. tarsalis*; *Oc. sticticus*; *Oc. spencerii*; *Oc. dorsalis*; *Oc. nigromaculis*; *Oc. campestris*; et *Oc. cataphylla* (21). Ainsi, on trouve maintenant environ 80 espèces de moustiques au Canada.

Récemment, des espèces envahissantes du type *Aedes* ont été observées dans le sud de l'Ontario et du Québec. L'espèce *Aedes albopictus* a été détectée en faible nombre dans certaines parties du comté de Windsor-Essex, dans le sud de l'Ontario, en 2016, 2017 et 2018 (22). La détection répétée de cette espèce sur un certain nombre de sites de collecte suggère que cette espèce est en voie de devenir endémique dans cette partie du Canada. Des spécimens d'*Ae. aegypti* ont également été prélevés sur certains de ces mêmes sites à Windsor en Ontario, en 2016 et 2017, et sur un seul site dans le sud du Québec, en 2017. Bien que ces deux souches d'*Aedes* soient bien reconnues pour transmettre des maladies exotiques dont les agents sont des moustiques non indigènes du Canada (3), elles peuvent aussi être un vecteur de maladies transmises par des moustiques déjà endémiques au Canada, dont le virus du Nil occidental.

## Le changement climatique accroîtra les risques de maladies endémiques transmises par des moustiques

Les principaux aspects du changement climatique qui ont des effets sur les moustiques endémiques sont les hausses de température et les fluctuations des précipitations. Des précipitations plus abondantes augmentent généralement l'étendue potentielle des sites de ponte et des gîtes larvaires des moustiques dans l'environnement. Leur lien est souvent non linéaire. Les précipitations supérieures à la moyenne rendent généralement les moustiques plus abondants en leur donnant accès à plus d'eau stagnante, tandis que des précipitations excessives ou violentes peuvent lessiver et détruire les œufs, et chasser les larves vivant dans des habitats sélectionnés (23). Des températures élevées peuvent accélérer le développement des moustiques aux stades du cycle de vie où ils n'ont pas atteint la maturité, et ainsi, mener à des taux de reproduction plus élevés et à une augmentation exponentielle de leur population (24,25). Ces températures élevées réduisent la période d'incubation extrinsèque, de sorte que les moustiques qui ont contracté l'infection deviennent infectieux plus tôt; par exemple, les



éclosions d'infection par le virus du Nil occidental semblent se produire plus fréquemment au Canada lorsque les températures saisonnières sont supérieures à la moyenne, car ces conditions favorisent l'acquisition rapide du virus chez les moustiques vecteurs et prolongent la recherche d'hôtes par les moustiques femelles potentiellement infectés (26). Il a été signalé qu'en Corée et au Japon, la durée de la saison de transmission peut être prolongée de plusieurs mois lorsque les températures moyennes estivales augmentent d'aussi peu que de 5°C (27). Des changements dans les précipitations augmentent la disponibilité d'eau stagnante, où les moustiques pondent leurs œufs et où vivent les moustiques qui n'ont pas atteint la maturité. Par conséquent, ces changements ont une forte incidence sur la reproduction des moustiques (28,29).

L'incidence du changement climatique sur la transmission du virus du Nil occidental au Canada a fait l'objet de deux études, dont les conclusions sont similaires (30,31). Chen et ses collaborateurs (30) ont examiné la transmission du virus du Nil occidental dans les Prairies (où le *Cx. tarsalis* est le principal vecteur) et ont prévu une prolongation de l'activité saisonnière du *Cx. tarsalis* infecté par le virus du Nil occidental allant de trois mois (de juin à août) à cinq mois (de mai à septembre), d'ici les années 2080. Ces auteurs ont également prédit que le *Cx. tarsalis* et le virus du Nil occidental s'étendraient au nord. Hongoh et ses collaborateurs (31) ont modélisé la répartition potentielle des populations de *Cx. pipiens* dans l'Est du Canada et prédit une expansion similaire au nord pour ce vecteur du virus du Nil occidental.

Les oiseaux et certains mammifères constituent d'importants réservoirs pour le virus du Nil occidental et d'autres maladies transmises par des moustiques. Dans le cas du virus du Nil occidental, un vaste éventail d'espèces d'oiseaux sert d'hôtes, dont les corvidés (corneilles, geais et pies) et les passereaux (rouges-gorges, moineaux, pinsons et étourneaux) (10,32–34). Pour ce qui est des autres maladies transmises par des moustiques, des mammifères tels que les cerfs, les écureuils, les suisses et les lièvres, sont les hôtes réservoirs. Le changement climatique pourrait agir de plusieurs façons sur ces populations d'hôtes réservoirs, par exemple sur leur abondance et la répartition des espèces. Il est possible que le changement climatique puisse également avoir une incidence sur la santé individuelle et globale des hôtes réservoirs, car les virus les plus abondants pourraient aussi leur nuire directement.

Il est important de noter que la prolifération des moustiques et des maladies qu'ils transmettent peut également dépendre d'autres changements environnementaux, y compris les changements dans l'exploitation des terres, ainsi que les activités de lutte antivectorielle (35,36). La perte et la fragmentation de l'habitat (37) peuvent également avoir des conséquences sur les réservoirs des oiseaux et des mammifères (38).

## Maladies endémiques actuelles et émergentes transmises par des moustiques

Les diverses espèces de moustiques ont des caractéristiques différentes en ce qui concerne leurs habitats de prédilection et leur charge pathogène. En raison du changement climatique, la prévalence du virus du Nil occidental pourrait augmenter dans les zones urbaines et rurales, tandis que d'autres maladies transmises par des moustiques, comme le virus EEE et les virus du séro-groupe Californie, pourraient gagner en importance, particulièrement dans les zones rurales. Voici une brève description des maladies endémiques actuelles et émergentes transmises par des moustiques endémiques.

### Le virus du Nil occidental pourrait être à la hausse dans les régions rurales et urbaines

Le virus du Nil occidental est transmis par le *Cx. pipiens*, un moustique surtout urbain, et le *Cx. tarsalis*, un moustique surtout rural. Le changement climatique peut influencer sur les risques associés au virus du Nil occidental, en particulier dans les régions urbaines de l'Est et dans les régions rurales des Prairies. L'augmentation du nombre de moustiques, y compris ceux qui sont infectés par des maladies transmises par des moustiques, aura des répercussions plus importantes sur la santé publique dans les zones urbaines, car c'est là que réside la grande majorité des Canadiens. Les premiers symptômes du virus du Nil occidental sont notamment de la fièvre, des maux de tête, des éruptions cutanées, des nausées et des douleurs musculaires. La plupart des personnes touchées se rétablissent complètement, mais environ 1 % d'entre elles développent une maladie grave (méningite, encéphalite, paralysie flasque aiguë et poliomyélite). Les personnes âgées de plus de 70 ans qui souffrent de pathologies sous-jacentes et celles qui sont immunodéprimées courent un plus grand risque de contracter une maladie grave (39–42).

Depuis 2002, le nombre de cas déclarés de virus du Nil occidental chez l'humain a fluctué considérablement, passant de 1 481 cas en 2003 à cinq cas en 2010 et à 2 215 cas en 2007, ce qui peut être dû en partie aux variations météorologiques ayant une incidence sur la reproduction des moustiques et la transmission du virus, ainsi qu'aux variations dans la déclaration des manifestations (43). La variation géographique du nombre de cas déclarés de virus du Nil occidental chez l'humain a également été spectaculaire : en 2003 et 2007, la plupart des cas de virus du Nil occidental chez l'humain ont été déclarés dans les régions des Prairies (Alberta, Saskatchewan et Manitoba), mais en 2002, 2012 et 2018, la plupart des cas sont survenus en Ontario et au Québec (43). Cette variation géographique est probablement associée aux effets locaux des conditions météorologiques sur les différents vecteurs et sur la transmission du virus, ainsi qu'à une certaine variation dans la déclaration des manifestations (28,29, 44).



## Augmentation prévue des cas d'encéphalite équine de l'Est et de virus du séro groupe Californie dans les zones rurales

Le virus de l'encéphalite équine de l'Est est transmis par les moustiques de type *C. melanura* qui se reproduisent dans les marécages d'eau douce (11,12). Le réservoir de ce virus est constitué d'hôtes aviaires. L'encéphalite équine de l'Est peut être asymptomatique ou se présenter sous deux formes : systémique ou encéphalitique. Environ le tiers des personnes atteintes d'encéphalite en mourront (45). Un seul cas de virus EEE humain a été déclaré en Ontario en 2016 (43). L'encéphalite équine de l'Est a connu des éclosions sporadiques chez les chevaux (et les oiseaux exotiques) en Ontario depuis 1939 (46). Des éclosions atypiques importantes du virus EEE chez les chevaux ont été déclarées en Ontario, au Québec et en Nouvelle-Écosse en 2008, 2009 et 2010 (46).

Les virus du séro groupe Californie sont transmis par un certain nombre d'espèces de moustiques. Ils peuvent provoquer des maladies fébriles et neurologiques (47). Après la mise en œuvre de nouvelles méthodes d'analyse en 2005, plus de 200 cas probables et confirmés de virus du séro groupe Californie ont été déclarés à l'Agence de la santé publique du Canada ou à des laboratoires provinciaux de santé publique entre 2005 et 2014 (*données non publiées de M. Drebot*). Des cas ont été recensés dans toutes les provinces ainsi que dans les Territoires du Nord-Ouest et dans d'autres régions du Nord. De plus, des études de séroprévalence ont révélé des taux d'exposition allant de 20 à 40 % ou plus dans certaines régions du Canada. [(48–50) et *données non publiées de M. Drebot*]. Depuis 2015, de 20 à 40 cas d'infection chez l'humain ont été observés chaque année au Canada, à l'exception de 2017, alors que 122 cas avaient été déclarés (43). Cette augmentation spectaculaire peut être attribuable, du moins en partie, à l'amélioration du dépistage chez les personnes atteintes d'une maladie semblable à celle du virus du Nil occidental (les tests de dépistage du virus du Nil occidental étaient négatifs, de sorte que d'autres tests ont été demandés). D'après le Rapport de surveillance du virus du Nil occidental et autres arbovirus, il y a eu plus de 100 cas de virus Jamestown Canyon et Snowshoe hare au Québec en 2017 (*H. Zheng, H. Wood et M. Drebot, Rapport de surveillance du virus du Nil occidental et autres arbovirus transmis par les moustiques au Québec, rapport non publié*). Il est fort probable que les cas de virus du séro groupe Californie soient sous-diagnostiqués en raison du faible niveau de sensibilisation à ces pathogènes chez les médecins et les autres professionnels de la santé.

## Intervention clinique et de santé publique actuelle

En l'absence de vaccins ou de traitements particuliers, la réduction de l'habitat des moustiques, la réduction des piqûres de moustiques, les tests précoces et précis de détection des

maladies transmises par des moustiques chez les humains et la surveillance continue sont au cœur de l'intervention clinique et de santé publique.

## Mesures préventives: prévenir les infections en évitant les piqûres de moustiques

Il n'existe pas de vaccin ni de traitement particulier contre le virus du Nil occidental, le virus EEE ou le virus du séro groupe Californie, de sorte que la prévention des piqûres de moustiques infectieux est la clé pour les maîtriser (43). On peut réduire les piqûres en se couvrant la peau (par exemple, en portant des pantalons longs et des chemises amples à manches longues) ou en utilisant un insectifuge contenant les produits chimiques *N,N*-diéthyl-3-méthylbenzamide (DEET) ou icaridine (51). Il est également important de réduire la superficie de l'habitat des moustiques près des habitations, principalement en éliminant l'eau stagnante. Les municipalités, souvent en collaboration avec les gouvernements provinciaux, ont financé des programmes de réduction des moustiques conçus pour diminuer la taille des populations de moustiques nuisibles et vecteurs. La portée de ces programmes varie énormément à travers le Canada, mais elle comprend habituellement la réduction à la source (élimination de l'eau stagnante), l'application de larvicides dans l'eau stagnante et, moins fréquemment, des traitements de pulvérisation aérienne ou de végétaux contenant des produits conçus pour tuer les moustiques adultes.

## Diagnostic précoce et dépistage des arbovirus

La détection précoce des maladies transmises par des moustiques est importante pour éviter des complications potentiellement graves. Le diagnostic des infections par les arbovirus peut comporter des difficultés, car initialement, les patients présentent souvent des symptômes non spécifiques. Le diagnostic des maladies transmises par des moustiques doit être confirmé par des épreuves de laboratoire. Le Laboratoire national de microbiologie (Winnipeg) est le laboratoire de référence pour les tests de dépistage des virus EEE et du séro groupe Californie et pour le dépistage du virus du Nil occidental dans les provinces où sa prévalence est faible (Terre-Neuve-et-Labrador, Île-du-Prince-Édouard, Nouvelle-Écosse et Nouveau-Brunswick). Les provinces où le nombre de cas de virus du Nil occidental est le plus élevé effectuent leurs propres tests.

## Surveillance

L'Organisation mondiale de la Santé a souligné l'importance d'identifier et de surveiller diverses populations de vecteurs dans le cadre de la surveillance mondiale, y compris les moustiques qui peuvent transporter et transmettre des arbovirus, car il est plus opportun de surveiller les risques chez les populations de moustiques que d'attendre l'apparition de cas chez l'humain (52).

À l'heure actuelle, la surveillance des arbovirus varie quelque peu d'une province ou d'un territoire à l'autre au Canada et les efforts ont été concentrés en grande partie dans les Prairies, en Ontario et au Québec, où l'incidence de la maladie est



généralement plus élevée. Dans le cas du virus du Nil occidental, la surveillance des moustiques consiste à compter les différentes espèces de moustiques et à calculer le taux d'infectiosité des espèces porteuses du virus du Nil occidental. Cette approche de surveillance doit s'étendre à d'autres zones géographiques et à d'autres maladies transmises par des moustiques qui font l'objet d'une surveillance. Ce faisant, il est possible de suivre l'évolution des frontières du virus du Nil occidental et de détecter l'émergence de moustiques infectés par le virus EEE, le virus Jamestown Canyon, le virus Snowshoe hare et d'autres virus, afin d'éclairer les décisions sur les mesures de santé publique.

Étant donné que le virus du Nil occidental est actuellement une maladie à déclaration obligatoire au Canada, la surveillance comprend l'incidence des infections chez l'humain, y compris la détection de la présence du virus du Nil occidental dans les dons de sang (tous les dons sont soumis à des tests de dépistage d'un large éventail de maladies et de pathogènes). De plus, les tendances en matière de mortalité et de morbidité chez les populations d'oiseaux sauvages, les chevaux et d'autres animaux domestiques font l'objet d'une surveillance. Ces données sont recueillies par les provinces et les territoires aux fins d'intervention par ces administrations, mais l'information recueillie dans le cadre de la surveillance est également transmise à l'Agence de la santé publique du Canada, qui en fait la synthèse et l'analyse afin de dresser un tableau national et de le transmettre aux partenaires provinciaux et territoriaux chaque semaine (43).

Étant donné que les infections par les virus EEE, Jamestown Canyon et du séro groupe Californie ne sont pas actuellement des maladies à déclaration obligatoire partout au Canada, il n'existe aucun programme national de surveillance de leur présence chez les moustiques, les réservoirs ou les humains. Néanmoins, le Laboratoire national de microbiologie a effectué des tests de dépistage de ces arbovirus chez des patients qui présentaient des symptômes compatibles avec des infections à arbovirus, ce qui a permis de détecter des cas d'infection par le virus Jamestown Canyon et le virus Snowshoe hare (8,43). Il a également effectué des études de séroprévalence pour d'autres virus de type *Orthobunyavirus*, comme le virus de Cache Valley. Le virus de Cache Valley peut causer des maladies neurologiques chez l'humain et le bétail (53), et des cas de maladie symptomatique ont été associés à des sérologies positives chez des patients du Manitoba, de la Saskatchewan et de l'Alberta (*données non publiées de M. Drebot*).

## Discussion

Le changement climatique influera sans aucun doute sur la propagation des virus par des moustiques endémiques dans l'avenir, en raison de l'augmentation du nombre et des types d'espèces endémiques (y compris celles qui sont associées aux arbovirus) et l'apparition de nouvelles espèces (et de pathogènes associés) au Canada. Il est difficile de prévoir la

façon dont les maladies transmises par des moustiques réagiront au changement climatique : les moustiques, les réservoirs et l'environnement réagissent différemment au changement climatique (54,55). Cela signifie que même un changement climatique modéré peut entraîner une forte augmentation de la transmission des arbovirus (1,56).

De plus, chaque maladie transmise par des moustiques possède des cycles de transmission, des réservoirs et des vecteurs uniques. Ces derniers peuvent n'exister que dans certaines régions du Canada, de sorte que les changements dans la prévalence des maladies transmises par des moustiques seront différents d'une région, d'un paysage ou d'un habitat à l'autre. On s'attend à ce que la prévalence du virus du Nil occidental augmente dans les régions rurales et urbaines et que celle des autres arbovirus actuellement endémiques (c.-à-d. les virus EEE et du séro groupe Californie) augmente dans les régions rurales.

Il est nécessaire d'examiner plus à fond les répercussions possibles du changement climatique sur le virus du Nil occidental, le virus EEE et les virus du séro groupe Californie au Canada. Idéalement, ces études devraient considérer et modéliser chaque cycle de transmission dans son ensemble, et non se concentrer sur un seul aspect, par exemple, la densité de moustiques ou la dynamique des populations de réservoirs. Il sera important d'accroître notre capacité de surveillance, non seulement de l'expansion des arbovirus existants dans de nouvelles zones géographiques, mais aussi de l'apparition de nouveaux arbovirus, et de mener des recherches pour mieux comprendre la dynamique changeante et potentiellement croissante de la transmission des arbovirus.

Le portrait des espèces de moustiques endémiques au Canada est en constante évolution, et ces changements dans les espèces de moustiques (type, répartition et activité) sont exacerbés par le changement climatique; les cliniciens et les professionnels de la santé publique devront prendre conscience des répercussions que ces changements peuvent avoir sur les maladies transmises par des moustiques au Canada. Nous prévoyons que le nombre moyen de cas augmentera, parallèlement à une augmentation du nombre de types d'arbovirus endémiques, d'une manière relativement sporadique et imprévisible. Les professionnels de la santé publique de première ligne ainsi que les laboratoires d'épreuves et de surveillance devront faire preuve d'une vigilance accrue.

## Conclusion

On s'attend à ce que le changement climatique ait des effets importants sur les populations endémiques de moustiques au Canada et, de ce fait, sur les maladies transmises par des moustiques, comme le virus du Nil occidental, le virus EEE et les virus du séro groupe Californie. Les maladies transmises par des moustiques possèdent des cycles de transmission complexes, englobant de multiples hôtes réservoirs (oiseaux et mammifères), et parfois, de multiples espèces de moustiques, pouvant tous être sensibles de façon différente aux changements climatiques





et environnementaux. Comme le virus du Nil occidental est une maladie à déclaration obligatoire, il existe des données sur la prévalence de la maladie et sur son évolution au fil du temps, mais on en sait beaucoup moins sur le virus EEE et les virus du sérotype Californie. Leur déclaration et leur traitement sont complexes, car les symptômes des maladies transmises par des moustiques peuvent être assez imprécis. L'apparition sporadique de certaines maladies transmises par des moustiques a entravé la mise en œuvre de tests diagnostiques pour certains arbovirus à l'échelle provinciale. Ainsi, la centralisation des tests (au Laboratoire national de microbiologie) est plus rentable pour certains arbovirus.

Les changements prévus chez les moustiques et dans les maladies transmises par des moustiques causés par le changement climatique font ressortir la nécessité de poursuivre la surveillance et la recherche afin d'assurer une évaluation opportune et exacte des risques pour la santé publique des Canadiens. Les professionnels de la santé publique et les cliniciens doivent sensibiliser la population canadienne à cet important risque pour la santé publique et faire preuve de

vigilance quant à l'émergence et à la propagation de nouvelles souches de moustiques et de nouvelles maladies transmises par des moustiques.

## Déclaration des auteurs

- AL — Auteur principal
- HZ — Corédacteur et réviseur des ébauches
- LV — Corédacteur et réviseur des ébauches
- MAD — Corédacteur et réviseur des ébauches
- LRL — Corédacteur et réviseur des ébauches
- MI — Corédacteur et réviseur des ébauches

## Conflit d'intérêts

Aucun.

## Financement

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

# RÉSUMÉ GRAPHIQUE

# RMTC

RELEVÉ DES MALADIES TRANSMISSIBLES AU CANADA

## CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET LE RISQUE ACCRU DES MALADIES ENDÉMIQUES TRANSMISES PAR DES MOUSTIQUES (METM)

### CE QUI SE PASSE

- ↑ TEMPÉRATURE
- ↑ ET VARIABILITÉ DES PRÉCIPITATIONS
- VONT ENTRAÎNER**
- ↑ L'ÉTENDUE ET DE LA DENSITÉ DES MOUSTIQUES
- À MOINS DE PRÉCIPITATION EXCESSIVE
- CHANGEMENTS DE L'ÉTENDUE ET DE LA DENSITÉ DES HÔTES
- ↑ DES PHÉNOMÈNES D'AMPLIFICATION
- ÉTENDUE, DURÉE, FRÉQUENCE
- ÉPIDÉMIES
- VARIATION ANNUELLE DU NOMBRE DE CAS

### ↑ RISQUE DE

**VIRUS DU NIL OCCIDENTAL**

- ↑ URBAINES
- ↑ RURALE

**D'AUTRES METMs**

PRINCIPALEMENT RURALE

virus de l'encéphalite équine de l'Est

virus Jamestown Canyon

virus Snowshoe hare

ET AUTRES (virus de Cache Valley, etc.)

### COMMENT GÉRER

- ↑ SENSIBILISATION
- LA PRÉVENTION DE L'EXPOSITION
- LE DIAGNOSTIC, LORSQU'ELLES SONT PRÉSENTES
- LE TRAITEMENT RAPIDE
- L'ÉVALUATION/LA SURVEILLANCE DES RISQUES

**Citation :** Ludwig A, Zheng H, Vrbova L, Drebot MA, Iranpour M, Lindsay LR Augmentation du risque de maladies endémiques transmises par des moustiques au Canada en raison du changement climatique Relevé des maladies transmissibles au Canada. 2019;45(4):99–107

\* N. B. : L'association entre les maladies endémiques transmises par des moustiques et le changement climatique est non linéaire et est influencée par d'autres facteurs contextuels



## Références

1. Smith KR, Woodward A, Campbell-Lendrum D, Chadee DD, Honda Y, Liu Q, Olwoch JM, Revich B, Sauerborn R. 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 (WG11AR5). Cambridge (UK) and New York (NY): Cambridge University Press; 2014. Chapter 11, Human health: impacts, adaptation, and co-benefits; pp. 709-54. [www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap11\\_FINAL.pdf](http://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap11_FINAL.pdf)
2. Romero-Lankao P, Smith JB, Davidson DJ, Diffenbaugh NS, Kinney PL, Kirshen P, Kovacs P, Villers Ruiz L. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (WG11AR5). Cambridge (UK) and New York (NY): Cambridge University Press; 2014. Chapter 26, North America; pp. 1439-98. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>
3. Ng V, Rees EE, Lindsay LR, Drebot MA, Brownstone T, Sadeghieh T, Khan SU. Les changements climatiques pourraient-ils entraîner la propagation de maladies exotiques transmises par les moustiques au Canada ? Relevé des maladies transmissibles au Canada 2019;45(4):108-18. DOI
4. Kulkarni MA, Berrang-Ford L, Buck PA, Drebot MA, Lindsay LR, Ogden NH. Major emerging vector-borne zoonotic diseases of public health importance in Canada. *Emerg Microbes Infect* 2015 Jun;4(6):e33. PubMed
5. Rocheleau JP, Michel P, Lindsay LR, Drebot M, Dibernardo A, Ogden NH, Fortin A, Arsenault J. Risk factors associated with seropositivity to California serogroup viruses in humans and pet dogs, Quebec, Canada. *Epidemiol Infect* 2018 Jul;146(9):1167-76. DOI PubMed
6. Zheng H, Drebot MA, Coulthart MB. Le virus du Nil occidental au Canada : un virus en évolution permanente, mais présent pour de bon. Relevé des maladies transmissibles au Canada 2014;40(10):199-204. DOI
7. Patriquin G, Drebot M, Cole T, Lindsay R, Schleichauf E, Johnston BL, Dimitrova K, Traykova-Andonova M, Mask A, Haldane D, Hatchette TF High seroprevalence of Jamestown Canyon virus among deer and humans, Nova Scotia, Canada. *Emerg Infect Dis* 2018 Jan;24(1):118-21. DOI PubMed
8. Drebot MA. Bunyavirus transmis par les moustiques émergents au Canada. Relevé des maladies transmissibles au Canada 2015;41(6):133-41. DOI
9. Grubaugh ND, Ebel GD. Dynamics of West Nile virus evolution in mosquito vectors. *Curr Opin Virol* 2016 Dec;21:132-8. DOI PubMed
10. Kramer LD, Styer LM, Ebel GD. A global perspective on the epidemiology of West Nile virus. *Annu Rev Entomol* 2008;53:61-81. DOI PubMed
11. Armstrong PM, Andreadis TG. Eastern equine encephalitis virus in mosquitoes and their role as bridge vectors. *Emerg Infect Dis* 2010 Dec;16(12):1869-74. DOI PubMed
12. Molaei G, Andreadis TG, Armstrong PM, Anderson JF, Vossbrinck CR. Host feeding patterns of Culex mosquitoes and West Nile virus transmission, northeastern United States. *Emerg Infect Dis* 2006 Mar;12(3):468-74. DOI PubMed
13. LeDuc JW. Epidemiology and ecology of the California serogroup viruses. *Am J Trop Med Hyg* 1987 Nov;37(3 Suppl):60S-8S. DOI PubMed
14. Pastula DM, Hoang Johnson DK, White JL, Dupuis AP 2nd, Fischer M, Staples JE. Jamestown Canyon Virus Disease in the United States-2000-2013. *Am J Trop Med Hyg* 2015 Aug;93(2):384-9. DOI PubMed
15. Webster D, Dimitrova K, Holloway K, Makowski K, Safronetz D, Drebot MA. California Serogroup Virus Infection Associated with Encephalitis and Cognitive Decline, Canada, 2015. *Emerg Infect Dis* 2017 Aug;23(8):1423-4. DOI PubMed
16. Andreadis TG, Anderson JF, Armstrong PM, Main AJ. Isolations of Jamestown Canyon virus (Bunyaviridae: Orthobunyavirus) from field-collected mosquitoes (Diptera: Culicidae) in Connecticut, USA: a ten-year analysis, 1997-2006. *Vector Borne Zoonotic Dis* 2008 Apr;8(2):175-88. DOI PubMed
17. Agence de la santé publique du Canada. Fiche technique santé-sécurité: agents pathogènes - Virus du Nil occidental (VNO). Ottawa (ON): ASPC 2018. [www.phac-aspc.gc.ca/lab-bio/res/psds-ftss/wnv-vno-fra.php](http://www.phac-aspc.gc.ca/lab-bio/res/psds-ftss/wnv-vno-fra.php)
18. Fonseca K, Prince GD, Bratvold J, Fox JD, Pybus M, Preksaitis JK, Tilley P. West Nile virus infection and conjunctival exposure. *Emerg Infect Dis* 2005 Oct;11(10):1648-9. DOI PubMed
19. Wood DM, Dang PT, Ellis RA. The Insects and Arachnids of Canada. Part 6: The Mosquitoes of Canada Diptera: Culicidae. Publication 1686. Ottawa (ON) : Biosystematics Research Institute, Research Branch, Agriculture Canada; 2012. [https://issuu.com/agropec/docs/insects\\_and\\_arachnids\\_part\\_6](https://issuu.com/agropec/docs/insects_and_arachnids_part_6)
20. Giordano BV, Gasparotto A, Hunter FF. A checklist of the 67 mosquito species of Ontario, Canada. *J Am Mosq Control Assoc* 2015 Mar;31(1):101-3. DOI PubMed
21. Iranpour M, Lindsay LR, Dibernardo A. Culiseta melanura (Diptera: Culicidae), a new record for the Manitoba mosquito fauna. *Proc Entomol Soc Manitoba*. 2009;5:21-5. [https://home.cc.umanitoba.ca/~fieldspg/pdf/Iranpour\\_et\\_al\\_2009.pdf](https://home.cc.umanitoba.ca/~fieldspg/pdf/Iranpour_et_al_2009.pdf)
22. June CB. 5, 2018. [www.cbc.ca/news/canada/windsor/mosquito-trap-captures-known-carriers-zika-virus-1.4693081](http://www.cbc.ca/news/canada/windsor/mosquito-trap-captures-known-carriers-zika-virus-1.4693081)
23. Clements AN. The Biology of Mosquitoes, Vol 1, Development, Nutrition and Reproduction. CABI Publishing; 1992. 532 p. [www.cabi.org/bookshop/book/9780851993744](http://www.cabi.org/bookshop/book/9780851993744)
24. Alto BW, Juliano SA. Temperature effects on the dynamics of Aedes albopictus (Diptera: Culicidae) populations in



- the laboratory. *J Med Entomol* 2001 Jul;38(4):548–56. [DOI PubMed](#)
25. Semenza JC, Suk JE, Estevez V, Ebi KL, Lindgren E. Mapping climate change vulnerabilities to infectious diseases in Europe. *Environ Health Perspect* 2012 Mar;120(3):385–92. [DOI PubMed](#)
  26. Mallya S, Sander B, Roy-Gagnon MH, Taljaard M, Jolly A, Kulkarni MA. Factors associated with human West Nile virus infection in Ontario: a generalized linear mixed modelling approach. *BMC Infect Dis* 2018 Mar;18(1):141. [DOI PubMed](#)
  27. Lee SH, Nam KW, Jeong JY, Yoo SJ, Koh YS, Lee S, Heo ST, Seong SY, Lee KH. The effects of climate change and globalization on mosquito vectors: evidence from Jeju Island, South Korea on the potential for Asian tiger mosquito (*Aedes albopictus*) influxes and survival from Vietnam rather than Japan. *PLoS One* 2013 Jul;8(7):e68512. [DOI PubMed](#)
  28. Wang J, Ogden NH, Zhu H. The impact of weather conditions on *Culex pipiens* and *Culex restuans* (Diptera: Culicidae) abundance: a case study in Peel Region. *J Med Entomol* 2011 Mar;48(2):468–75. [DOI](#)
  29. Yoo EH, Chen D, Diao C, Russell C. The Effects of Weather and Environmental Factors on West Nile Virus Mosquito Abundance in Greater Toronto Area. *Earth Interact* 2016;20(3):1–22. [DOI](#)
  30. Chen CC, Jenkins E, Epp T, Waldner C, Curry PS, Soos C. Climate change and West Nile virus in a highly endemic region of North America. *Int J Environ Res Public Health* 2013 Jul;10(7):3052–71. [DOI PubMed](#)
  31. Hongoh V, Berrang-Ford L, Scott ME, Lindsay LR. Expanding geographical distribution of the mosquito, *Culex pipiens*, in Canada under climate change. *Appl Geogr* 2012;33(1):53–62. [DOI](#)
  32. Reisen WK. Ecology of West Nile virus in North America. *Viruses* 2013 Sep;5(9):2079–105. [DOI PubMed](#)
  33. Ludwig A, Bigras-Poulin M, Michel P, Bélanger D. Risk factors associated with West Nile virus mortality in American Crow populations in Southern Quebec. *J Wildl Dis* 2010 Jan;46(1):195–208. [DOI](#)
  34. Kilpatrick AM, Kramer LD, Jones MJ, Marra PP, Daszak P. West Nile virus epidemics in North America are driven by shifts in mosquito feeding behavior. *PLoS Biol* 2006 Apr;4(4):e82. [DOI PubMed](#)
  35. Lafferty KD. The ecology of climate change and infectious diseases. *Ecology* 2009 Apr;90(4):888–900. [DOI PubMed](#)
  36. Wilson K. Climate change and the spread of infectious ideas. *Ecology* 2009 Apr;90(4):901–2. [DOI PubMed](#)
  37. Ressources naturelles Canada. *Vivre avec les changements climatiques au Canada : perspectives des secteurs relatifs aux impacts et à l'adaptation*. Warren FJ, Lemmen DS, editors. Ottawa (ON) : Gouvernement du Canada; 2014. 286 p. <https://www.mcan.gc.ca/environnement/ressources/publications/impacts-adaptation/rapports/evaluations/2014/16310>
  38. Berteaux D, Stenseth NC. Measuring, understanding and projecting the effects of large-scale climatic variability on mammals. *Clim Res* 2006;32(2):95–7.
  39. Petersen LR, Carson PJ, Biggerstaff BJ, Custer B, Borchardt SM, Busch MP. Estimated cumulative incidence of West Nile virus infection in US adults, 1999–2010. *Epidemiol Infect* 2013 Mar;141(3):591–5. [DOI PubMed](#)
  40. Petersen LR, Braut AC, Nasci RS. West Nile virus: review of the literature. *JAMA* 2013 Jul;310(3):308–15. [DOI PubMed](#)
  41. Sejvar JJ. Clinical manifestations and outcomes of West Nile virus infection. *Viruses* 2014 Feb;6(2):606–23. [DOI PubMed](#)
  42. Badawi A, Velummailum R, Ryoo SG, Senthinathan A, Yaghoubi S, Vasileva D, Ostermeier E, Plishka M, Soosaipillai M, Arora P. Prevalence of chronic comorbidities in dengue fever and West Nile virus: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One* 2018 Jul;13(7):e0200200. [DOI PubMed](#)
  43. Agence de la santé publique du Canada. Surveillance du virus du Nil occidental. Ottawa (ON) : ASPC; 2018 <https://www.canada.ca/fr/sante-publique/services/maladies/virus-nil-occidental/surveillance-virus-nil-occidental.html>
  44. Ripoche M, Campagna C, Ludwig A, Ogden NH, Leighton PA. 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). *J Med Entomol* 2019 Feb; [DOI PubMed](#)
  45. Centers for Disease Control and Prevention. Eastern Equine Encephalitis. Symptoms and Treatment. [www.cdc.gov/easternequineencephalitis/tech/symptoms.html](http://www.cdc.gov/easternequineencephalitis/tech/symptoms.html)
  46. Chénier S, Côté G, Vanderstock J, Macieira S, Laperle A, Hélie P. An eastern equine encephalomyelitis (EEE) outbreak in Quebec in the fall of 2008. *Can Vet J* 2010 Sep;184(9):1011–5. [PubMed](#)
  47. Webster D, Dimitrova K, Holloway K, Makowski K, Safronetz D, Drebot MA. California serogroup virus infection associated with encephalitis and cognitive decline, Canada, 2015. *Emerg Infect Dis* 2017 Aug;23(8):1423–4. [DOI PubMed](#)
  48. Patriquin G, Drebot M, Cole T, Lindsay R, Schleihauf E, Johnston BL, Dimitrova K, Traykova-Andonova M, Mask A, Haldane D, Hachette TF. High Seroprevalence of Jamestown Canyon Virus among Deer and Humans, Nova Scotia, Canada. *Emerg Infect Dis* 2018 Jan;24(1):118–21. [DOI PubMed](#)
  49. Rocheleau JP, Michel P, Lindsay LR, Drebot M, Dibbernardo A, Ogden NH, Fortin A, Arseneault J. Emerging arboviruses in Quebec, Canada: assessing public health risk by serology



in humans, horses and pet dogs. *Epidemiol Infect* 2017 Oct;145(14):2940–8. DOI PubMed

50. Sampasa-Kanyinga H, Lévesque B, Anassour-Laouan-Sidi E, Côté S, Serhir B, Ward BJ, Libman MD, Drebot MA, Makowski K, Dimitrova K, Ndao M, Dewailly E. Zoonotic infections in communities of the James Bay Cree territory: an overview of seroprevalence. *Can J Infect Dis Med Microbiol* 2013;24(2):79–84. DOI PubMed
51. Agence de la santé publique du Canada. Prévention du virus du Nil occidental. Ottawa (ON) : ASPC; 2016. <https://www.canada.ca/fr/sante-publique/services/maladies/virus-nil-occidental/prevention-virus-nil-occidental.html>
52. World Health Organization. A global brief on vector-borne diseases. Geneva (CH): WHO; 2014. [www.who.int/campaigns/world-health-day/2014/global-brief/en/](http://www.who.int/campaigns/world-health-day/2014/global-brief/en/)
53. Uehlinger FD, Wilkins W, Godson DL, Drebot MA. Seroprevalence of Cache Valley virus and related viruses in sheep and other livestock from Saskatchewan, Canada. *Can Vet J* 2018 Apr;59(4):413–8. PubMed
54. Brown HE, Young A, Lega J, Andreadis TG, Schurich J, Comrie A. Projection of Climate Change Influences on U.S. West Nile Virus Vectors. *Earth Interact* 2015 Dec;19(18):18. DOI PubMed
55. Faust CL, McCallum HI, Bloomfield LS, Gottdenker NL, Gillespie TR, Torney CJ, Dobson AP, Plowright RK. Pathogen spillover during land conversion. *Ecol Lett* 2018 Apr;21(4):471–83. DOI PubMed
56. Iranpour M, Turell MJ, Lindsay LR. Potential for Canadian mosquitoes to transmit Rift Valley fever virus. *J Am Mosq Control Assoc* 2011 Dec;27(4):363–9. DOI PubMed



# Les changements climatiques pourraient-ils entraîner la propagation de maladies exotiques transmises par les moustiques au Canada?

V Ng<sup>1\*</sup>, EE Rees<sup>1</sup>, LR Lindsay<sup>1</sup>, MA Drebot<sup>1</sup>, T Brownstone<sup>1,2</sup>, T Sadeghieh<sup>1,3</sup>, SU Khan<sup>1,3</sup>

## Résumé

Seule une portion restreinte des 3 500 espèces de moustiques du monde porte et transmet les maladies transmises par les moustiques qui causent environ un demi-million de décès chaque année à l'échelle mondiale. Les maladies transmises par les moustiques qui sont les plus courantes, comme la malaria et la dengue, ne sont pas établies au Canada en partie à cause de notre climat relativement rigoureux. Cette situation pourrait toutefois évoluer en raison des changements climatiques. Les moustiques indigènes du Canada pourraient être infectés par de nouveaux agents pathogènes et migrer vers de nouvelles régions du Canada. Par ailleurs, de nouvelles espèces de moustiques pourraient arriver au Canada en provenance d'autres pays, et ces espèces exotiques pourraient être porteuses de maladies exotiques transmises par les moustiques. Le nombre important de voyages internationaux, y compris vers des destinations où sévissent des maladies exotiques transmises par les moustiques, entraînera une augmentation du nombre de cas de maladies transmises par les moustiques contractées à l'étranger. Les changements climatiques pourraient causer l'établissement de populations de moustiques exotiques au Canada. Les moustiques exotiques du genre *Aedes* se trouvent déjà dans une région restreinte du Canada, mais jusqu'à présent, rien n'indique qu'ils sont porteurs d'une maladie exotique transmise par les moustiques (ou d'une maladie déjà endémique). Le risque accru de transmission des maladies transmises par les moustiques ou d'introduction de maladies exotiques transmises par les moustiques exigera une réponse rigoureuse de la part des cliniciens et des autorités de santé publique. Les cliniciens devront toujours se tenir au courant des dernières tendances pour promouvoir les stratégies de prévention des piqûres de moustiques, connaître les épreuves de laboratoire nécessaires à la détection précoce et savoir quand déclarer les résultats de ces épreuves aux autorités de santé publique. Les efforts des autorités de santé publique devront être concentrés sur la surveillance active en continu, la sensibilisation du public et des professionnels de la santé et le contrôle des populations de moustiques. Les Canadiens doivent être conscients du risque d'acquisition de maladies exotiques transmises par les moustiques quand ils voyagent à l'étranger et du fait qu'ils pourraient permettre l'introduction de maladies exotiques transmises par les moustiques au Canada lors de leur retour.

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



## Affiliations

<sup>1</sup> Laboratoire national de microbiologie, Agence de la santé publique du Canada, Guelph (Ontario), Saint-Hyacinthe (Québec) et Winnipeg (Manitoba)

<sup>2</sup> École de santé publique Dalla Lana, Université de Toronto, Toronto (Ontario)

<sup>3</sup> Département de médecine des populations, Université de Guelph, Guelph (Ontario)

\*Correspondance:  
[victoria.ng@canada.ca](mailto:victoria.ng@canada.ca)

**Citation proposée :** Ng V, Rees EE, Lindsay LR, Drebot MA, Brownstone T, Sadeghieh T, Khan SU. Les changements climatiques pourraient-ils entraîner la propagation de maladies exotiques transmises par les moustiques au Canada? *Relevé des maladies transmissibles au Canada* 2019;45(4):108–18.

<https://doi.org/10.14745/ccdr.v45i04a04f>

**Mots clés :** *Aedes albopictus*, anophèles, Canada, changements climatiques, maladies transmises par les moustiques, moustiques *Culex* vecteurs exotiques, voyages internationaux

## Introduction

Les moustiques causent près d'un million de décès chaque année par la transmission d'un éventail de maladies transmises par les moustiques (1). La majorité de telles maladies, y compris la malaria, la dengue, le virus Chikungunya et le virus Zika, sont transmises aux humains par des moustiques qui ne sont pas établis au Canada (2–4). La plupart des principaux vecteurs sont les moustiques du genre *Aedes* ou du genre *Anopheles*. Ces

moustiques ne vivent pas au Canada parce que notre climat froid et nos hivers particulièrement rigoureux les empêchent de s'y établir. En revanche, les moustiques indigènes du Canada, dont *Culex pipiens*, *Cx. restuans* et *Cx. tarsalis*, qui sont les principaux vecteurs du virus du Nil occidental au Canada, peuvent survivre tout l'hiver en entrant en diapause, et le seuil de température pour leur développement est en général inférieur à celui



des espèces tropicales/subtropicales (5). Pour ces raisons, les maladies transmises par des moustiques exotiques sont seulement contractées à l'étranger, alors que les maladies transmises par des moustiques endémiques sont contractées à l'étranger et au Canada au cours des mois chauds (6–10).

Il est bien connu que les maladies transmises par les moustiques sont sensibles au climat et que les conditions climatiques fixent les limites géographiques et la saisonnalité de la transmission, comme l'illustre la répartition saisonnière distincte et souvent prévisible des maladies transmises par les moustiques (11). Une des questions qu'on entend souvent concerne l'éventuel effet des changements climatiques sur l'émergence et l'établissement des maladies exotiques transmises par les moustiques au Canada. Les objectifs de cet article sont de préciser ce qui suit : les moustiques exotiques porteurs d'agents pathogènes à l'origine de maladies humaines; les cas de maladies exotiques transmises par les moustiques contractées à l'étranger qui ont été déclarés au Canada; les changements climatiques susceptibles de créer des écosystèmes au Canada qui seraient favorables à la survie des moustiques exotiques et à la transmission de maladies exotiques transmises par les moustiques; les voies possibles d'introduction des maladies exotiques transmises par les moustiques au Canada par suite des changements climatiques; le résumé du rôle des cliniciens et des autorités de santé publique.

### Moustiques exotiques porteurs d'agents pathogènes à l'origine de maladies humaines

Environ 3 500 espèces de moustiques sont répertoriées dans le monde, mais seulement quelques-uns d'entre eux peuvent porter et transmettre des agents pathogènes qui causent des maladies chez les humains. Les moustiques du genre *Aedes* sont les plus prolifiques lorsqu'il s'agit de porter et de transmettre des maladies exotiques aux humains. Ces moustiques, et particulièrement *Ae. aegypti* et *Ae. albopictus*, peuvent transmettre plus de 20 pathogènes capables d'infecter les humains, comme la dengue, le virus Chikungunya, le virus Zika et la fièvre jaune (12,13). *Aedes aegypti* et *Ae. albopictus* sont plus largement répartis à l'échelle mondiale que toutes les autres espèces de moustiques connues pour transmettre des maladies aux humains (2,3). Leur portée collective est très importante : chaque année de 1952 à 2017, le nombre total de pays/territoires qui ont déclaré des cas de transmission autochtone par des moustiques de la dengue, du virus Chikungunya, du virus Zika et de la fièvre jaune a été estimé à 111, 106, 85 et 43, respectivement (14). En raison de leur comportement très anthropophile, *Ae. aegypti* et *Ae. albopictus* sont deux des espèces de moustiques les plus importantes au monde sur le plan médical (15).

Le genre *Anopheles* porte et transmet également des agents pathogènes qui causent des maladies importantes chez l'humain, dont la malaria et la filariose lymphatique (Tableau 1). À ce jour, jusqu'à 41 espèces d'anophèles ont été identifiées comme vecteurs de la malaria (4), et trois d'entre elles sont également porteuses de parasites causant la filariose lymphatique (12). Chaque vecteur exerce une domination géographique distincte et coexiste avec plusieurs espèces dans les régions tropicales et subtropicales du monde entier (4,16). Ces espèces sont responsables de la transmission autochtone de la malaria dans 87 pays, mais la plupart des cas sont concentrés en Afrique et en Inde (17). Parallèlement à la malaria, 70 pays d'Afrique subsaharienne, d'Asie du Sud-Est et des îles du Pacifique déclarent également des cas de transmission de filariose lymphatique (18). Parmi les porteurs de maladies exotiques les plus courants au Canada, seuls deux moustiques sont établis ici (Tableau 1) : *An. freeborni* et *An. quadrimaculatus*, les principaux vecteurs de la malaria. De plus, *Ae. albopictus*, un des principaux vecteurs de la dengue, du virus Chikungunya, du virus Zika et de la fièvre jaune, semble avoir émergé et s'être établi dans une région très restreinte du sud-ouest de l'Ontario en 2017 (19,20). *Culex* et *Mansonia* sont d'autres espèces de moustiques porteurs de maladies exotiques au Canada. Les maladies que portent ces moustiques comprennent la filariose lymphatique, l'encéphalite japonaise, la fièvre de la vallée du Rift et l'encéphalite de Murray Valley (12).

### Maladies exotiques transmises par les moustiques a contractées à l'étranger

Les voyages à l'étranger sont très courants. Tous les mois de 2014 à 2018, environ 4,75 millions de résidents canadiens sont revenus de l'étranger, dont 3,77 millions (82 %) des États-Unis et 985 000 (21 %) d'un autre pays (26). Les destinations les plus courantes à l'extérieur des États-Unis sont le Mexique, l'Europe de l'Ouest et les Caraïbes (y compris Cuba, la République dominicaine et les Bahamas) (27). Il n'est donc pas surprenant que les résidents canadiens rentrent souvent au pays avec des maladies exotiques sporadiques transmises par les moustiques contractées à l'étranger, les plus courantes étant la malaria et la dengue (9,28,29). Chaque année, environ 500 cas de malaria contractées à l'étranger sont déclarés par des voyageurs rentrés au pays (30). La dengue n'est pas une maladie à déclaration obligatoire au Canada, mais le Laboratoire national de microbiologie a observé plus de 250 cas de cette maladie de 2012 à 2017, et un nombre considérable de cas additionnels a été documenté par des laboratoires de santé publique provinciaux au cours de la même période (*données non publiées, Michael Drebot, Laboratoire national de microbiologie de Winnipeg, Canada*). La dengue est actuellement considérée comme l'une des maladies transmises par les moustiques les plus critiques du monde. Les Canadiens sont concernés compte tenu de l'augmentation de 30 fois de l'incidence mondiale de cette maladie au cours des 50 dernières années (31,32). L'incursion récente du virus Chikungunya et du virus Zika dans



**Tableau 1 : Vecteurs courants de maladies exotiques transmises par les moustiques aux humains et principales maladies dont ils sont porteurs**

Genre de moustique	Espèce ou complexe d'espèces de moustique	Répartition mondiale	Principale(s) maladie(s) portée(s)	Références
Aedes	<i>Ae. aegypti</i>	Amérique du Nord et Amérique du Sud, Moyen-Orient, Afrique, Inde/Asie occidentale, et Asie du Sud-Est et Pacifique	Virus Chikungunya, dengue, fièvre jaune et virus Zika	(2,3,14)
	<i>Ae. albopictus</i> <sup>a</sup>	Amérique du Nord et Amérique du Sud, Europe et Moyen-Orient, Afrique, Inde/Asie occidentale, et Asie du Sud-Est et Pacifique	Virus Chikungunya, dengue et virus Zika (à un moindre degré que <i>Ae.aegypti</i> )	(2,3,14,20)
	<i>Ae. polynesiensis</i>	Îles du Pacifique Sud	Filariose lymphatique ( <i>W. bancrofti</i> ) et dengue	(12)
	<i>Ae. scapularis</i>	Amérique du Nord et Amérique du Sud	Filariose lymphatique ( <i>W.bancrofti</i> )	(12)
	<i>Ae. pseudoscutellaris</i>	Îles du Pacifique Sud	Filariose lymphatique ( <i>W.bancrofti</i> ) et dengue	(12,21,22)
Anopheles	<i>An. albimanus</i> , <i>An. albitarsis</i> , <i>An. aquasalis</i> , <i>An. darlingi</i> , <i>An. freeborni</i> <sup>b</sup> , <i>An. marajoara</i> , <i>An. nuneztovari</i> , <i>An. pseudopunctipennis</i> , <i>An. quadrimaculatus</i> <sup>b</sup>	Amérique du Nord et Amérique du Sud	Malaria	(4,19)
	<i>An. atroparvus</i> , <i>An. labranchiae</i> , <i>An. messeae</i> , <i>An. sacharovi</i> , <i>An. sergentii</i> , <i>An. superpictus</i>	Europe et Moyen-Orient	Malaria	(4)
	<i>An. arabiensis</i> , <i>An. funestus</i> <sup>c</sup> , <i>An. gambiae</i> <sup>c</sup> , <i>An. melas</i> , <i>An. merus</i> , <i>An. moucheti</i> , <i>An. nili</i>	Afrique	Malaria Malaria et filariose lymphatique ( <i>W.bancrofti</i> ) <sup>c</sup>	(4,12,23)
	<i>An. culicifacies</i> , <i>An. stephensi</i> , <i>An. fluviatilis</i>	Inde/Asie occidentale	Malaria	(4)
	<i>An. aconitus</i> , <i>An. annularis</i> , <i>An. balabacensis</i> , <i>An. barbirostris</i> <sup>d</sup> , <i>An. culicifacies</i> , <i>An. dirus</i> , <i>An. farauti</i> , <i>An. flavirostris</i> , <i>An. fluviatilis</i> , <i>An. koliensis</i> , <i>An. lesteri</i> , <i>An. leucosphyrus/latens</i> , <i>An. maculatus</i> , <i>An. minimus</i> , <i>An. punctulatus</i> , <i>An. sinensis</i> , <i>An. stephensi</i> , <i>An. subpictus</i> , <i>An. sundaicus</i>	Asie du Sud-Est et Pacifique	Malaria Malaria et filariose lymphatique ( <i>B.timori</i> ) <sup>d</sup>	(4,12)
Culex	<i>Cx. tritaeniorhynchus</i>	Asie du Sud-Est et Pacifique, Afrique et Moyen-Orient	Encéphalite japonaise, fièvre de la vallée du Rift et virus de l'encéphalite de Murray Valley	(24,25)
	<i>Cx. quinquefasciatus</i>	Amérique du Nord, Amérique centrale et Amérique du Sud, et Asie du Sud-Est	Filariose lymphatique ( <i>W. bancrofti</i> )	(12,23)
Mansonia	Diverses espèces	Asie et Pacifique	Filariose lymphatique ( <i>B. malayi</i> )	(12,23)

Abréviations : Ae., *Aedes*; An., *Anopheles*; B., *Brugia*; Cx., *Culex*; W., *Wuchereria*

<sup>a</sup> Espèces récemment établies au Canada (20)

<sup>b</sup> Espèces établies au Canada (19)

<sup>c</sup> Espèces (*An. funestus* et *An. gambiae*) qui transmettent la malaria et la filariose lymphatique (*W. bancrofti*)

<sup>d</sup> Espèces (*An. barbirostris*) qui transmettent la malaria et la filariose lymphatique (*B. timori*)



l'hémisphère ouest et l'épidémie subséquente dans les Caraïbes et les Amériques révèlent le potentiel de transmission important et rapide des maladies exotiques transmises par les moustiques au sein des importantes populations vulnérables (33,34). Les maladies transmises par les moustiques étant présentes aux quatre coins de la planète, y compris dans les pays fréquentés par les voyageurs du Canada, des centaines de résidents canadiens sont rentrés au pays avec une infection par le virus Chikungunya ou par le virus Zika contractées à l'étranger de 2013 à 2017 (7,8,10,35). Les autres maladies transmises par les moustiques qui concernent les voyageurs qui rentrent de l'étranger comprennent la fièvre jaune, l'encéphalite japonaise et la filariose lymphatique. Les éclosions récentes de fièvre jaune au Brésil et dans certains coins d'Afrique sont une menace pour les résidents canadiens qui voyagent dans ces régions (36–38). Le nombre de cas confirmés chez les voyageurs qui rentrent au pays demeure toutefois faible (14 cas de 2008 à 2016) (30), peut-être en raison du vaccin très efficace contre la fièvre jaune qui est recommandé aux voyageurs canadiens (39,40). Le nombre de cas d'encéphalite japonaise et de filariose lymphatique acquis à l'étranger n'est pas connu puisque la déclaration de ces maladies n'est pas obligatoire au Canada, mais il doit être considérable étant donné l'incidence annuelle élevée de ces maladies dans le monde (1). Chaque année, les maladies exotiques transmises par les moustiques causent collectivement des milliers d'infections contractées à l'étranger chez des voyageurs qui rentrent au pays.

### **Les changements climatiques pourraient entraîner la création d'écosystèmes pour les moustiques exotiques**

Toutes les régions du Canada devraient connaître des changements climatiques, mais l'impact de ces changements variera d'une région à l'autre. Les répercussions les plus importantes pourraient s'observer dans le Nord (41). Un réchauffement planétaire d'environ 2 °C s'accompagnerait d'un adoucissement des températures, d'une hausse des précipitations et de l'humidité, et d'une augmentation de la fréquence des épisodes de chaleur et de précipitations extrêmes. Conséquemment, les hivers devraient être plus doux et plus courts, et les étés, plus chauds et plus longs. Un réchauffement planétaire d'environ 4 °C est très susceptible d'entraîner des changements encore plus notables, soit des épisodes de chaleur extrême, des précipitations extrêmes quotidiennes et une hausse additionnelle des précipitations annuelles dans la plupart des régions du Canada, mais particulièrement dans le Nord (41). Ces changements climatiques pourraient favoriser l'émergence et la transmission de maladies exotiques transmises par les moustiques au Canada de diverses façons. L'adoucissement des températures, l'augmentation de l'humidité et la hausse des précipitations favoriseront le cycle de vie des moustiques exotiques en facilitant le développement et la survie des larves et en prolongeant la vie des moustiques adultes, ce qui entraînera une augmentation de la population globale (42–45).

Les changements climatiques devraient également agir sur la transmission des maladies par le biais de plusieurs mécanismes :

- Réduction du temps nécessaire au développement des œufs chez les moustiques femelles adultes récemment nourris ayant pour conséquence la diminution de l'intervalle entre les repas de sang et la hausse de la fréquence des repas (42,43,46)
- Réduction de la durée de la période d'incubation extrinsèque et donc du temps nécessaire aux moustiques pour devenir porteurs d'infections (42,43,45–48)
- Augmentation de la durée de vie des moustiques donnant lieu à un plus grand nombre de piqûres par des individus porteurs d'infections (44)

Alors que le temps s'adoucit et que l'humidité et les précipitations augmenteront au Canada, le climat d'un plus grand nombre de régions deviendra favorable à l'établissement de certains moustiques exotiques actuellement limités aux régions tropicales et subtropicales (3,49,50). De plus, quand les hivers seront plus courts et les étés plus longs, la durée des périodes où le climat convient à la transmission des maladies augmentera, ce qui permettra la transmission autochtone des maladies exotiques transmises par les moustiques au cours de périodes de durée limitée dans certaines régions du Canada (49). En ce qui a trait aux maladies exotiques transmises par les moustiques qui sont des zoonoses et dont la transmission requiert un réservoir animal qui est présent au Canada (p. ex. l'encéphalite japonaise), les changements climatiques pourraient également agir sur ces réservoirs, entre autres en maintenant et en appuyant l'expansion des habitats naturels et en prolongeant la période de disponibilité de la nourriture, ce qui augmenterait la taille de la population (51,52). Les phénomènes météorologiques extrêmes, comme les sécheresses et les canicules, pourraient faire en sorte que les hôtes réservoirs partis à la recherche de sources d'eau soient plus présents dans les sites de reproduction de moustiques (53–55).

### **Introduction d'agents pathogènes à l'origine de maladies exotiques transmises par les moustiques au Canada**

Pour que les maladies exotiques transmises par les moustiques émergent, il faut un moustique vecteur compétent, un hôte réservoir adéquat (s'il y a lieu) et un habitat convenable pour accueillir le pathogène exotique. Même si les changements climatiques peuvent créer de nouveaux habitats pour les moustiques et les hôtes réservoirs, le pathogène doit être introduit au Canada par des moustiques infectés, des humains virémiques, des réservoirs virémiques ou ces trois sources à la fois (56,57). L'introduction d'agents pathogènes peut être locale ou mondiale.

L'introduction locale peut se produire lorsque des moustiques/réservoirs/humains migrent sur de courtes distances d'une région





endémique avoisinante vers une région du Canada. Les maladies exotiques transmises par les moustiques qui peuvent émerger par l'introduction locale comprennent le virus de l'encéphalite de Saint-Louis et le virus de l'encéphalite de La Crosse parce que leurs vecteurs sont déjà présents au Canada et sont endémiques aux États-Unis (58–60). Si les changements climatiques influencent ou entraînent l'augmentation de l'abondance saisonnière et l'expansion de la population de moustiques vecteurs précis (p. ex. *Ae. triseriatus*), le risque de propagation de ces agents pathogènes dans d'autres régions du pays sera accru. L'émergence de maladies exotiques transmises par les moustiques contractées localement est probable, et l'endémie de ces maladies est très probable au fil du temps.

L'introduction internationale peut se produire lorsque des moustiques/réservoirs/humains migrent sur de longues distances (voyages à l'étranger, migration ou commerce/transport de biens) d'une région endémique éloignée vers le Canada. Il existe deux scénarios d'introduction internationale dans lesquels les vecteurs sont soit présents, soit absents au Canada (**Tableau 2**). Quand le vecteur est présent, les changements climatiques augmenteront probablement le nombre de cas de maladies exotiques transmises par les moustiques contractées à l'étranger en amplifiant le cycle de transmission naturel et la probabilité du contact entre vecteurs/réservoirs/humains dans le pays d'origine. Ils permettront probablement aussi la transmission autochtone durable à court terme au Canada (comme observé dans la transmission du virus Chikungunya et du virus Zika ailleurs)

**Tableau 2 : Trois voies d'introduction d'agents pathogènes exotiques transmis par les moustiques au Canada**

Points à considérer	Migration locale	Migration internationale, vecteur(s) présent(s)	Migration internationale, vecteur(s) absent(s)
Propagation causée par la migration locale ou internationale	Migration sur de courtes distances à l'échelle locale	Migration sur de longues distances à l'échelle mondiale	Migration sur de longues distances à l'échelle mondiale
Mode de propagation géographique au Canada	Migrations naturelles et régulières des vecteurs/réservoirs/humains de régions endémiques voisines	Voyages internationaux, commerce/transport et migration de vecteurs/réservoirs/humains d'une région endémique éloignée	Voyages internationaux, commerce/transport et migration de vecteurs/réservoirs/humains d'une région endémique éloignée
Agent pathogène	Présence dans une région endémique voisine (à savoir un État américain limitrophe), mais pas au Canada	Présence dans une région endémique éloignée, mais pas au Canada	Présence dans une région endémique éloignée, mais pas au Canada
Présence de moustiques vecteurs	Oui	Oui	Non
Impact des changements climatiques sur l'émergence	Amplification du cycle de transmission naturel et augmentation de la probabilité du contact entre vecteurs/réservoirs/humains au Canada	Amplification du cycle de transmission naturel et augmentation de la probabilité du contact entre vecteurs/réservoirs/humains au Canada et dans le pays d'origine Les agents pathogènes doivent être importés au Canada par des moustiques infectés ou des humains/réservoirs virémiques (situation essentiellement favorisée par la migration internationale et partiellement favorisée par les changements climatiques)	Amplification du cycle de transmission naturel et augmentation de la probabilité du contact entre vecteurs/réservoirs/humains au Canada et dans le pays d'origine Les agents pathogènes doivent être importés au Canada par des moustiques infectés ou des humains/réservoirs virémiques (situation essentiellement favorisée par la migration internationale et partiellement favorisée par les changements climatiques)
Tableau actuel de la maladie au Canada	Cas acquis aux États-Unis	Cas acquis aux États-Unis et ailleurs dans le monde	Cas acquis aux États-Unis et ailleurs dans le monde
Maladies pouvant émerger au Canada en raison des changements climatiques	Virus de l'encéphalite de Saint-Louis et virus de l'encéphalite de La Crosse par le biais de populations établies de <i>Cx. tarsalis/pipiens/restuans</i> (encéphalite de Saint-Louis) et de <i>Ae. triseriatus</i> (encéphalite de La Crosse) (73)	Virus Chikungunya par le biais de la propagation de <i>Ae. albopictus</i> au Canada (20) ou malaria par le biais de populations établies de <i>An. freeborni</i> et de <i>An. quadrimaculatus</i> (19)	Encéphalite japonaise, fièvre de la vallée du Rift et autres maladies exotiques transmises par les moustiques quand aucun vecteur compétent naturel n'est présent au Canada (Tableau 1)
Maladies dont l'émergence est anticipée au Canada en raison des changements climatiques	Cas acquis localement Probabilité importante d'endémie au fil du temps	Augmentation du nombre de cas acquis à l'étranger Cas autochtones ou éclosions de cas autochtones de courte durée transmis par des populations de vecteurs émergentes ou établies Probabilité d'endémie au fil du temps	Augmentation du nombre de cas acquis à l'étranger sans augmentation des cas de transmission locale par des moustiques

Abréviations : *Ae.*, *Aedes*; *An.*, *Anopheles*; *Cx.*, *Culex*



(61–66) et peut-être même l'endémie au fil du temps (comme dans le cas du virus du Nil occidental) (6,67–69). La malaria et le virus Chikungunya font partie des maladies qui pourraient émerger selon ce scénario parce que des populations de vecteurs de ces maladies déjà établies ou ayant émergé depuis peu sont présents au Canada (19,20). Quand le vecteur est absent et que les restrictions imposées par la niche écologique des vecteurs peuvent prévenir l'établissement, même en présence de changements climatiques, l'impact de ces changements se limitera à l'augmentation du nombre de cas acquis à l'étranger sans augmentation des cas de transmission locale par des moustiques. Bien que certains types de migration internationale soient liés aux changements climatiques [(p. ex. les réfugiés climatiques (70) et l'évolution des habitudes de voyage (71))], la plupart ne le sont pas. Or, les migrations internationales sont en hausse, (72) et les Canadiens sont de grands voyageurs (26). Par conséquent, même sans changements climatiques, les migrations internationales continueront de favoriser la propagation des maladies exotiques transmises par les moustiques au Canada.

## Rôle des cliniciens et des autorités de santé publique

Le risque d'introduction de maladies exotiques transmises par les moustiques au Canada et de maladies exotiques transmises par les moustiques contractées au Canada ou à l'étranger par des résidents canadiens est appelé à augmenter en raison des changements climatiques. La vigilance des cliniciens et des autorités de santé publique est donc essentielle. Les cliniciens doivent se tenir au courant des dernières tendances en matière de maladies exotiques transmises par les moustiques, promouvoir les stratégies de prévention des piqûres de moustiques chez les voyageurs, connaître les épreuves de laboratoire nécessaires à la détection précoce et déclarer les maladies à déclaration obligatoire aux autorités de santé publique. Les professionnels de la santé publique doivent se concentrer sur les efforts de surveillance active en continu des moustiques et des agents pathogènes exotiques, la sensibilisation du public et des professionnels au sujet des maladies exotiques transmises par les moustiques et le contrôle des populations de moustiques, dont la prévention des piqûres. Les voyageurs canadiens doivent être mieux informés sur le risque d'acquisition de maladies transmises par des moustiques quand ils voyagent à l'étranger et sur le fait qu'ils pourraient permettre l'introduction de maladies exotiques transmises par des moustiques au Canada. Pour s'informer, ils peuvent consulter le personnel des cliniques du voyageur de leur région ou les sections sur la santé et la sécurité des voyageurs du site Web du gouvernement ([voyage.gc.ca](http://voyage.gc.ca)) avant de quitter le pays.

## Discussion

Les maladies exotiques transmises par les moustiques les plus courantes au Canada sont la malaria, la dengue, le virus Chikungunya et le virus Zika (7–10,28,29). Les moustiques

exotiques qui sont porteurs de ces maladies et qui les transmettent aux humains sont du genre *Anopheles* et du genre *Aedes* (12). À l'heure actuelle, la plupart de ces moustiques ne sont pas présents au Canada, mais la présence de *An. freeborni* et de *An. quadrimaculatus* (principaux vecteurs de la malaria) est généralisée. De petites populations de *Ae. aegypti* et de *Ae. albopictus* (vecteurs principaux de la dengue, du virus Chikungunya, du virus Zika et de la fièvre jaune) ont été introduites dans certaines régions du Canada, et des populations de *Ae. albopictus* se sont récemment établies dans une région très restreinte du Canada (19,20).

Les changements climatiques devraient créer des habitats propices aux moustiques exotiques et endémiques et pour leurs hôtes réservoirs en plus d'étendre la superficie des habitats qui l'étaient déjà (3,42,50–52,74,75) et de permettre l'établissement de maladies exotiques transmises par les moustiques. Des changements physiologiques chez les moustiques pourront augmenter leur espérance de vie et leur capacité de transmettre des maladies aux humains (42–48). Parallèlement, une prolongation des périodes où le climat convient à la transmission des maladies (49,76) pourrait s'observer simultanément au Canada et dans des pays où des maladies exotiques transmises par les moustiques sont déjà en circulation. Les changements climatiques auront également un impact sur la migration des vecteurs/réservoirs/humains et influenceront donc sur l'introduction de maladies exotiques transmises par les moustiques au Canada (70,71).

Le lien entre le climat et les maladies transmises par les moustiques n'est pas linéaire. Par exemple, quand la température dépasse un certain seuil, l'espérance de vie des moustiques peut être réduite et la réplique des agents pathogènes présents dans les moustiques peut être ralentie (77,78). Les changements climatiques peuvent donc avoir des effets contraires sur la transmission de la maladie, par exemple en soutenant les hôtes réservoirs tout en réduisant l'espérance de vie des agents pathogènes et des moustiques. D'autres facteurs auront un impact important sur l'émergence des maladies exotiques transmises par les moustiques, notamment les changements démographiques (immigration et croissance de la population) (79–82), l'augmentation de la mobilité et de l'interconnectivité (79–81,83), l'urbanisation et l'utilisation des terres (79,80,82), et certains facteurs socioéconomiques (79–82,84,85). Parmi ces facteurs, certains seront également influencés par les changements climatiques.

Bien que le risque à court terme d'incursion et d'établissement au Canada de maladies exotiques transmises par les moustiques favorisé ou exacerbé par les changements climatiques soit très faible (49), il est bel et bien réel. L'établissement d'une nouvelle maladie transmise par les moustiques, le virus du Nil occidental, s'est déjà vu (6,67,69,86,87). La malaria est particulièrement préoccupante puisqu'elle a déjà été endémique au Canada (88), un cas autochtone soupçonné ayant été déclaré en 1996 (89) et la présence de deux vecteurs dominants étant généralisée au Canada (19). Les maladies exotiques transmises par les



moustiques par *Ae. albopictus* sont également préoccupantes en raison de l'incursion récente de cette espèce dans les régions tempérées qui sont semblables sur le plan climatique à certaines régions du Canada (61,64,65,90) et du fait que *Ae. albopictus* semble s'être établi dans une région restreinte du Canada (20). L'expansion de la présence de cette espèce au Canada devra être surveillée de près.

## Conclusion

L'impact exact des changements climatiques sur l'émergence des maladies exotiques transmises par les moustiques au Canada est difficile à quantifier, mais le nombre de cas acquis à l'étranger devrait augmenter, tout comme la probabilité des éclosions autochtones de courte durée des maladies exotiques transmises par les moustiques et le risque d'endémie de maladies exotiques transmises par les moustiques, particulièrement si les vecteurs sont déjà présents au Canada. Finalement, les changements climatiques sont associés à un risque d'établissement de moustiques exotiques et de maladies exotiques transmises par les moustiques au Canada, surtout les maladies transmises par les moustiques *Aedes albopictus*. Certaines de ces répercussions peuvent être atténuées grâce à l'adoption de mesures cliniques et de santé publique, dont la sensibilisation au phénomène et le recours à des stratégies de prévention des piqûres de moustiques, la détection précoce et l'intervention rapide, la surveillance active en continu et le contrôle des populations

de moustiques. Les Canadiens doivent être conscients des maladies exotiques transmises par les moustiques qu'ils risquent d'attraper à l'étranger puisque ce risque ne fera qu'augmenter avec les changements climatiques. En outre, les Canadiens qui rentrent au pays peuvent servir de voie d'introduction pour les maladies exotiques transmises par les moustiques. Sensibiliser cette population à ce risque est donc d'autant plus urgent.

## Déclaration des auteurs

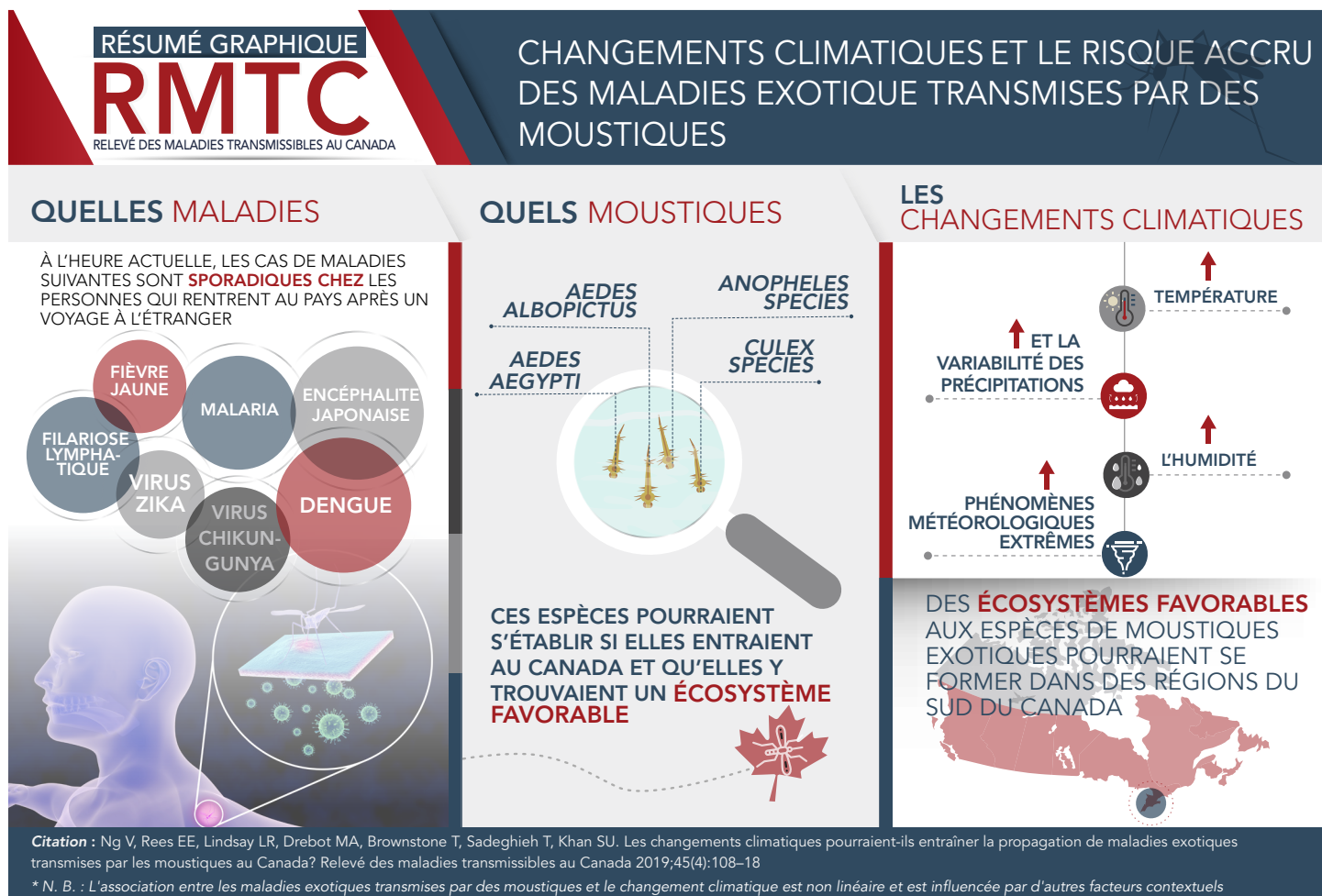
VN — Conceptualisation, recherche, rédaction de la version préliminaire, supervision et administration du projet  
EER — Rédaction : révision et édition  
LRL — Rédaction : révision et édition  
MAD — Rédaction : révision et édition  
TB — Recherche, rédaction : révision et édition  
TS — Recherche, rédaction : révision et édition  
SUK — Recherche, rédaction : révision 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. Organisation mondiale de la Santé. Action mondiale pour lutter contre les vecteurs 2017–2030. Geneva: Organisation mondiale de la Santé; 2017. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. 2017. p. 64.
2. Kraemer MU, Sinka ME, Duda KA, Mylne A, Shearer FM, Brady OJ, Messina JP, Barker CM, Moore CG, Carvalho RG, Coelho GE, Van Bortel W, Hendrickx G, Schaffner F, Wint GR, Elyazar IR, Teng HJ, Hay SI. The global compendium of *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus* occurrence. *Sci Data* 2015 Jul;2:150035. [DOI PubMed](#)
3. Kamal M, Kenawy MA, Rady MH, Khaled AS, Samy AM. Mapping the global potential distributions of two arboviral vectors *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus* under changing climate. *PLoS One* 2018 Dec;13(12):e0210122. [DOI PubMed](#)
4. Sinka ME, Bangs MJ, Manguin S, Rubio-Palis Y, Chareonviriyaphap T, Coetzee M, Mbogo CM, Hemingway J, Patil AP, Temperley WH, Gething PW, Kabaria CW, Burkot TR, Harbach RE, Hay SI. A global map of dominant malaria vectors. *Parasit Vectors* 2012 Apr;5(1):69. [DOI PubMed](#)
5. Madder DJ, Surgeoner GA, Helson BV. Induction of diapause in *Culex pipiens* and *Culex restuans* (Diptera: Culicidae) in southern Ontario. *Can Entomol* 1983;115(8):877–83. [DOI](#)
6. Giordano BV, Kaur S, Hunter FF. West Nile virus in Ontario, Canada: A twelve-year analysis of human case prevalence, mosquito surveillance, and climate data. *PLoS One* 2017 Aug;12(8):e0183568. [DOI PubMed](#)
7. Tataryn J, Vrbova L, Drebot M, Wood H, Payne E, Connors S, Geduld J, German M, Khan K, Buck PA. Cas d'infections à virus Zika au Canada liés à des voyages : octobre 2015 à juin 2017. Relevé des maladies transmissibles au Canada 2018;44(1):21–9. [DOI](#)
8. Boggild AK, Geduld J, Libman M, Yansouni CP, McCarthy AE, Hajek J, Ghesquiere W, Mirzanejad Y, Vincelette J, Kuhn S, Plourde PJ, Chakrabarti S, Freedman DO, Kain KC. Surveillance report of Zika virus among Canadian travellers returning from the Americas. *CMAJ* 2017 Mar;189(9):E334–40. [DOI PubMed](#)
9. Boggild AK, Geduld J, Libman M, Yansouni CP, McCarthy AE, Hajek J, Ghesquiere W, Vincelette J, Kuhn S, Freedman DO, Kain KC. Malaria in travellers returning or migrating to Canada: surveillance report from CanTravNet surveillance data, 2004–2014. *CMAJ Open* 2016 Jul 6;4(3):E352–8. <https://doi.org/10.9778/cmajo.20150115>. [PubMed](#)
10. Drebot MA, Holloway K, Zheng H, Ogden NH. Cas de chikungunya au Canada, 2014. Relevé des maladies transmissibles au Canada 2015;41(1):2–6. [DOI](#)
11. World Health Organization. Using climate to predict infectious disease epidemics. 2005, World Health Organization: Geneva. p. 54.
12. Edited by David L. Heymann. Control of Communicable Diseases Manual, 20th Edition. 20th ed. 2014: APHA Press. 729.
13. European Centre for Disease Control. *Aedes albopictus* - Factsheet for experts: Epidemiology and transmission of pathogens. 2016. <https://ecdc.europa.eu/en/disease-vectors/facts/mosquito-factsheets/aedes-albopictus>
14. Leta S, Beyene TJ, De Clercq EM, Amenu K, Kraemer MU, Revie CW. Global risk mapping for major diseases transmitted by *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*. *Int J Infect Dis* 2018 Feb;67:25–35. [DOI PubMed](#)
15. Ponlawat A, Harrington LC. Blood feeding patterns of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in Thailand. *J Med Entomol* 2005 Sep;42(5):844–9. [DOI PubMed](#)
16. Kiszewski A, Mellinger A, Spielman A, Malaney P, Sachs SE, Sachs J. A global index representing the stability of malaria transmission. *Am J Trop Med Hyg* 2004 May;70(5):486–98. [DOI PubMed](#)
17. Organisation mondiale de la Santé. Rapport sur le paludisme dans le monde 2018. 2018, Organisation mondiale de la Santé: Geneva.
18. Cano J, Rebollo MP, Golding N, Pullan RL, Crellen T, Soler A, Kelly-Hope LA, Lindsay SW, Hay SI, Bockarie MJ, Brooker SJ. The global distribution and transmission limits of lymphatic filariasis: past and present. *Parasit Vectors* 2014 Oct;7(1):466. [DOI PubMed](#)
19. Berrang-Ford L, Maclean JD, Gyorkos TW, Ford JD, Ogden NH. Climate change and malaria in Canada: a systems approach. *Interdiscip Perspect Infect Dis* 2009;2009:385487. [DOI PubMed](#)
20. Windsor-Essex County Health Unit. Windsor-Essex County Health Unit - *Aedes albopictus* mosquito: 2018 adult mosquito surveillance - *Ae. albopictus* mosquitoes identified. 2018. <https://www.wechu.org/z-health-topics/aedes-albopictus-mosquito>
21. Prakash G, Raju A, Koroivuetta J. DF/DHF and Its Control in Fiji. 2001, World Health Organization. p. 21–27.
22. Dutton TJ, Sinkins SP. Filarial susceptibility and effects of *Wolbachia* in *Aedes pseudoscutellaris* mosquitoes. *Med Vet Entomol* 2005 Mar;19(1):60–5. [DOI PubMed](#)
23. Centres for Disease Control and Prevention. Vectors of Lymphatic Filariasis. 2018. [https://www.cdc.gov/parasites/lymphaticfilariasis/gen\\_info/vectors.html](https://www.cdc.gov/parasites/lymphaticfilariasis/gen_info/vectors.html)
24. Longbottom J, Browne AJ, Pigott DM, Sinka ME, Golding N, Hay SI, Moyes CL, Shearer FM. Mapping the spatial distribution of the Japanese encephalitis vector, *Culex tritaeniorhynchus* Giles, 1901 (Diptera: Culicidae) within areas of Japanese encephalitis risk. *Parasit Vectors* 2017 Mar;10(1):148. [DOI PubMed](#)
25. Miller RH, Masuoka P, Klein TA, Kim HC, Somer T, Grieco J. Ecological niche modeling to estimate the distribution of Japanese encephalitis virus in Asia. *PLoS Negl Trop Dis* 2012;6(6):e1678. [DOI PubMed](#)
26. Statistique Canada. Tableau : 24-10-0041-01. Voyageurs internationaux entrant ou revenant au Canada selon le moyen de transport. 2019. <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=2410004101>
27. Statistique Canada. Tableau : 24-10-0037-01. Voyages effectués par les Canadiens vers les pays étrangers, 15



- principaux pays visités. 2019. <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/cv.action?pid=2410003701>
28. Boggild AK, Geduld J, Libman M, Ward BJ, McCarthy A, Hajek J, Ghesquiere W, Vincelette J, Kuhn S, Freedman DO, Kain KC. Infections contractées en voyage au Canada : réseau CanTravNet 2011-2012. Relevé des maladies transmissibles au Canada 2014;40(16):314–28. DOI
  29. Boggild AK, Geduld J, Libman M, Ward BJ, McCarthy AE, Doyle PW, Ghesquiere W, Vincelette J, Kuhn S, Freedman DO, Kain KC. Travel-acquired infections and illnesses in Canadians: surveillance report from CanTravNet surveillance data, 2009-2011. Open Med 2014 Feb;8(1):e20–32. PubMed
  30. Gouvernement du Canada. Nombre de cas signalés de maladies de 1924 à 2016 au Canada- maladies à déclaration obligatoire en direct. 2019. <http://maladies.canada.ca/declaration-obligatoire/graphiques?c=pl>
  31. World Health Organization. Dengue Control. 2019. <https://www.who.int/denguecontrol/disease/en/>
  32. Ebi KL, Nealon J. Dengue in a changing climate. Environ Res 2016 Nov;151:115–23. DOI PubMed
  33. Pan American Health Organization. Chikungunya: Data, Maps and Statistics. 2017. [https://www.paho.org/hq/index.php?option=com\\_topics&view=rdmore&cid=5927&item=chikungunya&type=statistics&Itemid=40931&lang=en](https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_topics&view=rdmore&cid=5927&item=chikungunya&type=statistics&Itemid=40931&lang=en)
  34. Pan American Health Organization. Zika cases and congenital syndrome associated with Zika virus reported by countries and territories in the Americas, 2015-2018. Cumulative cases. 2018. [https://www.paho.org/hq/index.php?option=com\\_docman&view=download&category\\_slug=cumulative-cases-pdf-8865&alias=43296-zika-cumulative-cases-4-january-2018-296&Itemid=270&lang=en](https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_docman&view=download&category_slug=cumulative-cases-pdf-8865&alias=43296-zika-cumulative-cases-4-january-2018-296&Itemid=270&lang=en)
  35. Ogden NH, Fazil A, Safronetz D, Drebot MA, Wallace J, Rees EE, Decock K, Ng V. Risk of travel-related cases of Zika virus infection is predicted by transmission intensity in outbreak-affected countries. Parasit Vectors 2017 Jan;10(1):41. DOI PubMed
  36. Faria NR, Kraemer MU, Hill SC, Goes de Jesus J, Aguiar RS, Iani FC, Xavier J, Quick J, du Plessis L, Dellicour S, Thézé J, Carvalho RD, Baele G, Wu CH, Silveira PP, Arruda MB, Pereira MA, Pereira GC, Lourenço J, Obolski U, Abade L, Vasylyeva TI, Giovanetti M, Yi D, Weiss DJ, Wint GR, Shearer FM, Funk S, Nikolay B, Fonseca V, Adelino TE, Oliveira MA, Silva MV, Sacchetto L, Figueiredo PO, Rezende IM, Mello EM, Said RF, Santos DA, Ferraz ML, Brito MG, Santana LF, Menezes MT, Brindeiro RM, Tanuri A, Dos Santos FC, Cunha MS, Nogueira JS, Rocco IM, da Costa AC, Komninkis SC, Azevedo V, Chieppe AO, Araujo ES, Mendonça MC, Dos Santos CC, Dos Santos CD, Mares-Guia AM, Nogueira RM, Sequeira PC, Abreu RG, Garcia MH, Abreu AL, Okumoto O, Kroon EG, de Albuquerque CF, Lewandowski K, Pullan ST, Carroll M, de Oliveira T, Sabino EC, Souza RP, Suchard MA, Lemey P, Trindade GS, Drumond BP, Filippis AM, Loman NJ, Cauchemez S, Alcantara LC, Pybus OG. Genomic and epidemiological monitoring of yellow fever virus transmission potential. Science 2018 Aug;361(6405):894–9. DOI PubMed
  37. Possas C, Lourenço-de-Oliveira R, Tauil PL, Pinheiro FP, Pissinatti A, Cunha RV, Freire M, Martins RM, Homma A. Yellow fever outbreak in Brazil: the puzzle of rapid viral spread and challenges for immunisation. Mem Inst Oswaldo Cruz 2018 Sep;113(10):e180278. DOI PubMed
  38. Kwagonza L, Masiira B, Kyobe-Bosa H, Kadobera D, Atuheire EB, Lubwama B, Kagirita A, Katushabe E, Kayiwa JT, Lutwama JJ, Ojwang JC, Makumbi I, Ario AR, Borchert J, Zhu BP. Outbreak of yellow fever in central and southwestern Uganda, February-may 2016. BMC Infect Dis 2018 Nov;18(1):548. DOI PubMed
  39. Ahuka-Mundeye S, Casey RM, Harris JB, Dixon MG, Nsele PM, Kizito GM, Umutesi G, Laven J, Paluku G, Gueye AS, Hyde TB, Sheria GK, Muyembe-Tanfum JJ, Staples JE. Immunogenicity of Fractional-Dose Vaccine during a Yellow Fever Outbreak - Preliminary Report. N Engl J Med 2018 Feb. DOI PubMed
  40. Gotuzzo E, Yactayo S, Córdova E. Efficacy and duration of immunity after yellow fever vaccination: systematic review on the need for a booster every 10 years. Am J Trop Med Hyg 2013 Sep;89(3):434–44. DOI PubMed
  41. Romero-Lankao P, Smith J, Davidson D, Diffenbaugh N, Kinney P, Kirshen P, Kovacs P, Villers Ruiz L. North America. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. 2014: Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. p. 1439-1498.
  42. Jetten TH, Focks DA. Potential changes in the distribution of dengue transmission under climate warming. Am J Trop Med Hyg 1997 Sep;57(3):285–97. DOI PubMed
  43. Reeves WC, Hardy JL, Reisen WK, Milby MM. Potential effect of global warming on mosquito-borne arboviruses. J Med Entomol 1994 May;31(3):323–32. DOI PubMed
  44. Yang HM, Macoris ML, Galvani KC, Andrighetti MT, Wanderley DM. Assessing the effects of temperature on the population of *Aedes aegypti*, the vector of dengue. Epidemiol Infect 2009 Aug;137(8):1188–202. DOI PubMed
  45. Paaijmans KP, Read AF, Thomas MB. Understanding the link between malaria risk and climate. Proc Natl Acad Sci USA 2009 Aug;106(33):13844–9. DOI PubMed
  46. Paaijmans KP, Cator LJ, Thomas MB. Temperature-dependent pre-bloodmeal period and temperature-driven asynchrony between parasite development and mosquito biting rate reduce malaria transmission intensity. PLoS One 2013;8(1):e55777. DOI PubMed
  47. Davis NC. The effect of various temperatures in modifying the extrinsic incubation period of the yellow fever virus in *Aedes aegypti*\*. Am J Epidemiol 1932;16(1):163–76. DOI
  48. Xiao FZ, Zhang Y, Deng YQ, He S, Xie HG, Zhou XN, Yan YS. The effect of temperature on the extrinsic incubation period and infection rate of dengue virus serotype 2 infection in *Aedes albopictus*. Arch Virol 2014 Nov;159(11):3053–7. DOI PubMed



49. Ng V, Fazil A, Gachon P, Deuymes G, Radojević M, Mascarenhas M, Garasia S, Johansson MA, Ogden NH. Assessment of the Probability of Autochthonous Transmission of Chikungunya Virus in Canada under Recent and Projected Climate Change. *Environ Health Perspect* 2017 Jun;125(6):067001. DOI PubMed
50. Ogden NH, Milka R, Caminade C, Gachon P. Recent and projected future climatic suitability of North America for the Asian tiger mosquito *Aedes albopictus*. *Parasit Vectors* 2014 Dec;7:532. DOI PubMed
51. Clement J, Vercauteren J, Verstraeten WW, Ducoffre G, Barrios JM, Vandamme AM, Maes P, Van Ranst M. Relating increasing hantavirus incidences to the changing climate: the mast connection. *Int J Health Geogr* 2009 Jan;8:1. DOI PubMed
52. Ng V, Dear K, Harley D, McMichael A. Analysis and prediction of Ross River virus transmission in New South Wales, Australia. *Vector Borne Zoonotic Dis* 2014 Jun;14(6):422–38. DOI PubMed
53. Harrigan RJ, Thomassen HA, Buermann W, Smith TB. A continental risk assessment of West Nile virus under climate change. *Glob Change Biol* 2014 Aug;20(8):2417–25. DOI PubMed
54. Shaman J, Day JF, Stieglitz M. Drought-induced amplification and epidemic transmission of West Nile virus in southern Florida. *J Med Entomol* 2005 Mar;42(2):134–41. DOI PubMed
55. Wang G, Minnis RB, Belant JL, Wax CL. Dry weather induces outbreaks of human West Nile virus infections. *BMC Infect Dis* 2010 Feb;10:38. DOI PubMed
56. Giladi M, Metzkor-Cotter E, Martin DA, Siegman-Igra Y, Korczyn AD, Rosso R, Berger SA, Campbell GL, Lanciotti RS. West Nile encephalitis in Israel, 1999: the New York connection. *Emerg Infect Dis* 2001 Jul-Aug;7(4):659–61. DOI PubMed
57. Lanciotti RS, Roehrig JT, Deubel V, Smith J, Parker M, Steele K, Crise B, Volpe KE, Crabtree MB, Scherret JH, Hall RA, MacKenzie JS, Cropp CB, Panigrahy B, Ostlund E, Schmitt B, Malkinson M, Banet C, Weissman J, Komar N, Savage HM, Stone W, McNamara T, Gubler DJ. Origin of the West Nile virus responsible for an outbreak of encephalitis in the northeastern United States. *Science* 1999 Dec;286(5448):2333–7. DOI PubMed
58. Giordano BV, Gasparotto A, Hunter FF. A checklist of the 67 mosquito species of Ontario, Canada. *J Am Mosq Control Assoc* 2015 Mar;31(1):101–3. DOI PubMed
59. Centres for Disease Control and Prevention. Saint Louis encephalitis: Epidemiology and Geographic Distribution. 2018 November 2, 2018]; <https://www.cdc.gov/sle/technical/epi.html>
60. Centres for Disease Control and Prevention. La Crosse encephalitis: Epidemiology and Geographic Distribution. 2018. <https://www.cdc.gov/lac/tech/epi.html>
61. Venturi G, Di Luca M, Fortuna C, Remoli ME, Riccardo F, Severini F, Toma L, Del Manso M, Benedetti E, Caporali MG, Amendola A, Fiorentini C, De Liberato C, Giammattei R, Romi R, Pezzotti P, Rezza G, Rizzo C. Detection of a chikungunya outbreak in Central Italy, August to September 2017. *Euro Surveill* 2017 Sep;22(39):17–00646. DOI PubMed
62. Septfonds A, Leparç-Goffart I, Couturier E, Franke F, Deniau J, Balestier A, Guinard A, Heuzé G, Liebert AH, Mailles A, Ndong JR, Poulou I, Raguét S, Rousseau C, Saidouni-Oulebsir A, Six C, Subiros M, Servas V, Terrien E, Tillaut H, Viriot D, Watrin M, Wyndels K, Noel H, Paty MC, De Valk H; Zika Surveillance Working Group in French departments and collectivities of the Americas. Travel-associated and autochthonous Zika virus infection in mainland France, 1 January to 15 July 2016. *Euro Surveill* 2016 Aug;21(32). DOI PubMed
63. Likos A, Griffin I, Bingham AM, Stanek D, Fischer M, White S, Hamilton J, Eisenstein L, Atrubin D, Mulay P, Scott B, Jenkins P, Fernandez D, Rico E, Gillis L, Jean R, Cone M, Blackmore C, McAllister J, Vasquez C, Rivera L, Philip C. Local Mosquito-Borne Transmission of Zika Virus - Miami-Dade and Broward Counties, Florida, June-August 2016. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* 2016 Sep;65(38):1032–8. DOI PubMed
64. Rezza G, Nicoletti L, Angelini R, Romi R, Finarelli AC, Panning M, Cordioli P, Fortuna C, Boros S, Magurano F, Silvi G, Angelini P, Dottori M, Ciufolini MG, Majori GC, Cassone A; CHIKV study group. Infection with chikungunya virus in Italy: an outbreak in a temperate region. *Lancet* 2007 Dec;370(9602):1840–6. DOI PubMed
65. Delisle E, Rousseau C, Broche B, Leparç-Goffart I, L'Ambert G, Cochet A, Prat C, Foulongne V, Ferre JB, Catelinois O, Flusin O, Tchernonog E, Moussion IE, Wiegandt A, Septfonds A, Mendy A, Moyano MB, Laporte L, Maurel J, Jourdain F, Reynes J, Paty MC, Golliot F. Chikungunya outbreak in Montpellier, France, September to October 2014. *Euro Surveill* 2015 Apr;20(17):21108. DOI PubMed
66. Bourri N, Sell TK, Franco C, Adalja AA, Henderson DA, Hynes NA. Return of epidemic dengue in the United States: implications for the public health practitioner. *Public Health Rep* 2012 May-Jun;127(3):259–66. DOI PubMed
67. Artsob H, Gubler DJ, Enria DA, Morales MA, Pupo M, Bunning ML, Dudley JP. West Nile Virus in the New World: trends in the spread and proliferation of West Nile Virus in the Western Hemisphere. *Zoonoses Public Health* 2009 Aug;56(6-7):357–69. DOI PubMed
68. Gubler DJ. The continuing spread of West Nile virus in the western hemisphere. *Clin Infect Dis* 2007 Oct;45(8):1039–46. DOI PubMed
69. Zheng H, Drebot MA, Coulthart MB. Le virus du Nil occidental au Canada : un virus en évolution permanente, mais présent pour de bon. *Relevé des maladies transmissibles au Canada* 2014;40(10):199–204. DOI
70. McMichael C, Barnett J, McMichael AJ. An ill wind? Climate change, migration, and health. *Environ Health Perspect* 2012 May;120(5):646–54. DOI PubMed
71. World Tourism Organization and United Nations Environment Programme. Climate Change and Tourism - Responding to Global Challenges. 2008, World Tourism Organization: Madrid, Spain. p. 269.



72. Findlater A, Bogoch II. Human Mobility and the Global Spread of Infectious Diseases: A Focus on Air Travel. *Trends Parasitol* 2018 Sep;34(9):772–83. [DOI PubMed](#)
73. Giordano BV, Turner KW, Hunter FF. Geospatial Analysis and Seasonal Distribution of West Nile Virus Vectors (Diptera: Culicidae) in Southern Ontario, Canada. *Int J Environ Res Public Health* 2018 Mar;15(4):E614. [DOI PubMed](#)
74. Ogden NH. Climate change and vector-borne diseases of public health significance. *FEMS Microbiol Lett* 2017 Oct;364(19). [DOI PubMed](#)
75. Rochlin I, Ninivaggi DV, Hutchinson ML, Farajollahi A. Climate change and range expansion of the Asian tiger mosquito (*Aedes albopictus*) in Northeastern USA: implications for public health practitioners. *PLoS One* 2013;8(4):e60874. [DOI PubMed](#)
76. Fischer D, Thomas SM, Suk JE, Sudre B, Hess A, Tjaden NB, Beierkuhnlein C, Semenza JC. Climate change effects on Chikungunya transmission in Europe: geospatial analysis of vector's climatic suitability and virus' temperature requirements. *Int J Health Geogr* 2013 Nov;12:51. [DOI PubMed](#)
77. Reisen WK. Effect of temperature on *Culex tarsalis* (Diptera: Culicidae) from the Coachella and San Joaquin Valleys of California. *J Med Entomol* 1995 Sep;32(5):636–45. [DOI PubMed](#)
78. Reisen WK, Fang Y, Martinez VM. Effects of temperature on the transmission of west nile virus by *Culex tarsalis* (Diptera: culicidae). *J Med Entomol* 2006 Mar;43(2):309–17. [DOI PubMed](#)
79. Kilpatrick AM, Randolph SE. Drivers, dynamics, and control of emerging vector-borne zoonotic diseases. *Lancet* 2012 Dec;380(9857):1946–55. [DOI PubMed](#)
80. Romeo-Aznar V, Paul R, Telle O, Pascual M. Mosquito-borne transmission in urban landscapes: the missing link between vector abundance and human density. *Proc Biol Sci* 2018 Aug;285(1884). [DOI PubMed](#)
81. Lindsey NP, Staples JE, Fischer M. Chikungunya Virus Disease among Travelers-United States, 2014-2016. *Am J Trop Med Hyg* 2018 Jan;98(1):192–7. [DOI PubMed](#)
82. Jones B, O'Neill B. Spatially explicit global population scenarios consistent with the Shared Socioeconomic Pathways. *Environ Res Lett* 2016;11(084003). [DOI](#)
83. Tatem AJ, Hay SI, Rogers DJ. Global traffic and disease vector dispersal. *Proc Natl Acad Sci USA* 2006 Apr;103(16):6242–7. [DOI PubMed](#)
84. Kc S, Lutz W. The human core of the shared socioeconomic pathways: population scenarios by age, sex and level of education for all countries to 2100. *Glob Environ Change* 2017 Jan;42:181–92. [DOI PubMed](#)
85. Moreno-Madriñán MJ, Turell M. History of Mosquitoborne Diseases in the United States and Implications for New Pathogens. *Emerg Infect Dis* 2018 May;24(5):821–6. [DOI PubMed](#)
86. Paz S. Climate change impacts on West Nile virus transmission in a global context. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 2015 Apr;370(1665):20130561. [DOI PubMed](#)
87. Reisen WK. Ecology of West Nile virus in North America. *Viruses* 2013 Sep;5(9):2079–105. [DOI PubMed](#)
88. Fallis AM. Malaria in the 18th and 19th centuries in Ontario. *Bull Can Hist Med* 1984;1(2):25–38. [DOI PubMed](#)
89. Baqi M, Gamble K, Keystone JS, Kain KC. Malaria: Probably locally acquired in Toronto, Ontario. *Can J Infect Dis* 1998 May;9(3):183–4. [DOI PubMed](#)
90. Calba C, Guerbois-Galla M, Franke F, Jeannin C, Auzet-Caillaud M, Grard G, Pigaglio L, Decoppet A, Weicherding J, Savaill MC, Munoz-Riviero M, Chaud P, Cadiou B, Ramalli L, Fournier P, Noël H, De Lamballerie X, Paty MC, Leparac-Goffart I. Preliminary report of an autochthonous chikungunya outbreak in France, July to September 2017. *Euro Surveill* 2017 Sep;22(39). [DOI PubMed](#)



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

BA Smith<sup>1\*</sup>, A Fazil<sup>1</sup>

## 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

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

## \*Correspondance:

[ben.smith@canada.ca](mailto: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

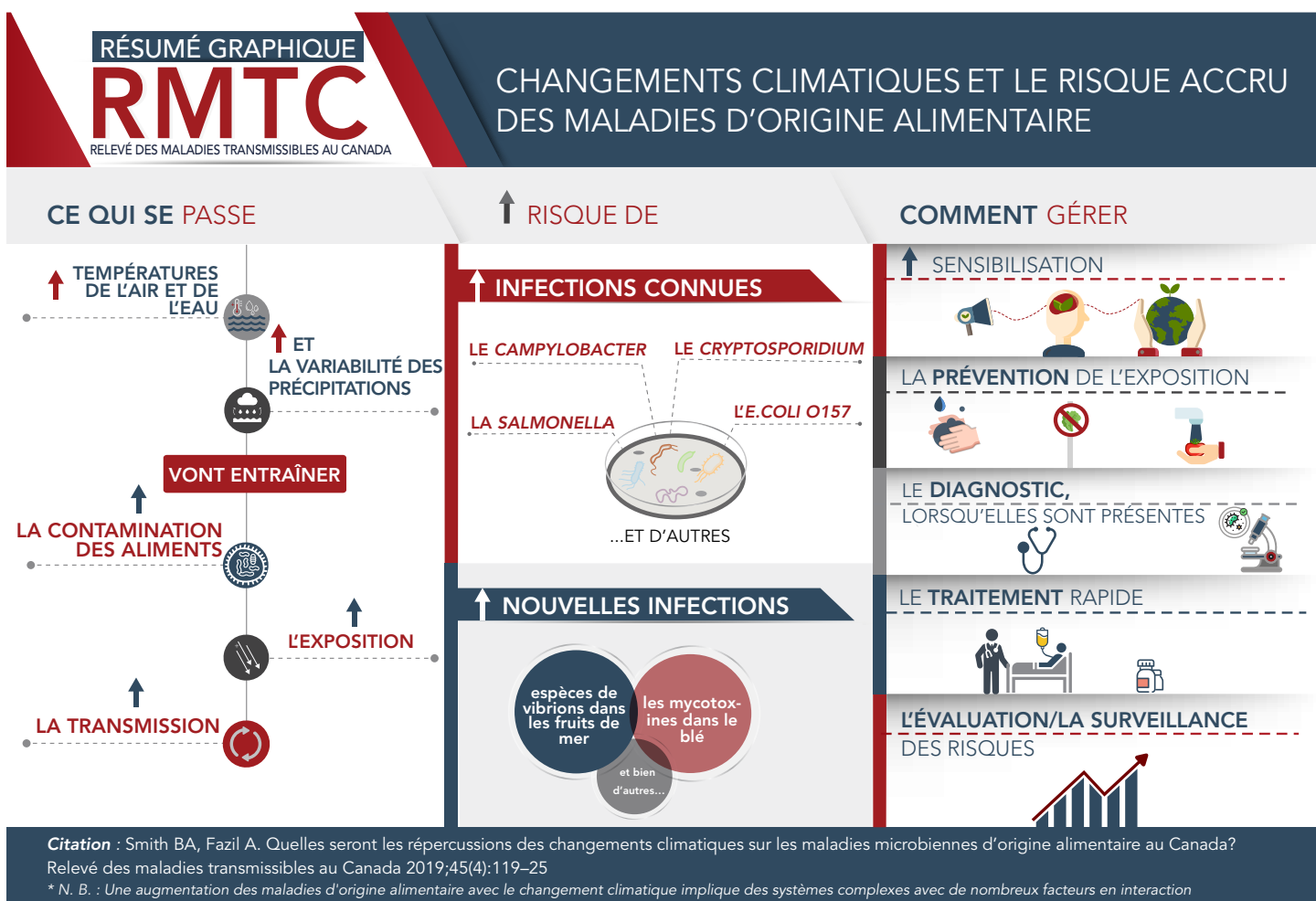
BAS — Conception, analyse et interprétation des données, rédaction et édition  
AF — Conception, rédaction et édition

### 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/](http://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/](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
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
8. Bradbear C, Friel S. Integrating climate change, food prices and population health. *Food Policy* 2013;43:56–66. DOI
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
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](http://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](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
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
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
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
16. Lake IR. Food-borne disease and climate change in the United Kingdom. *Environ Health* 2017 Dec;16 Suppl 1:117. DOI PubMed
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
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
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
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
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
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
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



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](http://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](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. Altekruze 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](#)



# RMTC

## RELEVÉ DES MALADIES TRANSMISSIBLES AU CANADA

Agence de la santé publique du Canada  
130, chemin Colonnade  
Indice de l'adresse 6503A  
Ottawa (Ontario) K1A 0K9  
[phac.ccdr-rmtc.aspc@canada.ca](mailto:phac.ccdr-rmtc.aspc@canada.ca)

Promouvoir et protéger la santé des Canadiens au moyen du leadership, de partenariats, de l'innovation et de la prise de mesures dans le domaine de la santé publique.

Agence de la santé publique du Canada  
Publication autorisée par la ministre de la Santé.

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

On peut aussi consulter cette publication en ligne :  
<https://www.canada.ca/rmtc>

Also available in English under the title:  
**Canada Communicable Disease Report**