



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

V Ng^{1*}, EE Rees¹, LR Lindsay¹, MA Drebot¹, T Brownstone^{1,2}, T Sadeghieh^{1,3}, SU Khan^{1,3}

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.

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

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



Affiliations

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

² École de santé publique Dalla Lana, Université de Toronto, Toronto (Ontario)

³ Département de médecine des populations, Université de Guelph, Guelph (Ontario)

*Correspondance:
victoria.ng@canada.ca



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'invasion 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^a</i>	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^b</i> , <i>An. marajoara</i> , <i>An. nuneztovari</i> , <i>An. pseudopunctipennis</i> , <i>An. quadrimaculatus^b</i>	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. serpentii</i> , <i>An. superpictus</i>	Europe et Moyen-Orient	Malaria	(4)
	<i>An. arabiensis</i> , <i>An. funestus^c</i> , <i>An. gambiae^c</i> , <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>) ^c	(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^d</i> , <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. sundanicus</i>	Asie du Sud-Est et Pacifique	Malaria Malaria et filariose lymphatique (<i>B.timori</i>) ^d	(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)

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

^a Espèces récemment établies au Canada (20)

^b Espèces établies au Canada (19)

^c Espèces (*An. funestus* et *An. gambiae*) qui transmettent la malaria et la filariose lymphatique (*W. bancrofti*)

^d Espèces (*An. barbirostris*) qui transmettent la malaria et la filariose lymphatique (*B. timori*)



APERÇU

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 éclusions 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'adoucira 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

Abbreviations : 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) 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 propice 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 influeront 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 réplication des agents pathogènes présents dans les moustiques peut être ralenti (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

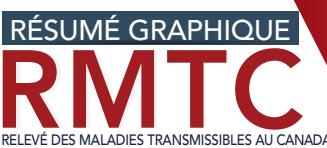
SUK — Recherche, rédaction : révision et édition

Conflit d'intérêts

Aucun.

Financement

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



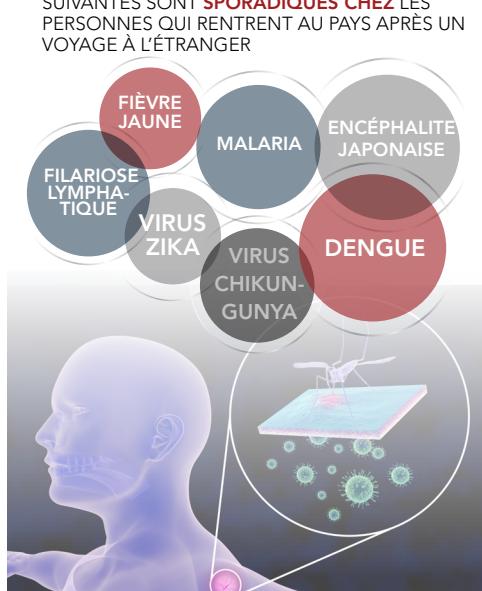
RÉSUMÉ GRAPHIQUE
RMTC
RELEVÉ DES MALADIES TRANSMISSIBLES AU CANADA

CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET LE RISQUE ACCRU DES MALADIES EXOTIQUE TRANSMISES PAR DES MOUSTIQUES

QUELLES MALADIES

À L'HEURE ACTUELLE, LES CAS DE MALADIES SUIVANTES SONT **SPORADIQUES CHEZ** LES PERSONNES QUI RENTRENT AU PAYS APRÈS UN VOYAGE À L'ÉTRANGER

- FIÈVRE JAUNE
- MALARIA
- ENCÉPHALITE JAPONAISE
- FILARIOSE LYMPHATIQUE
- VIRUS ZIKA
- VIRUS CHIKUNGUNYA
- DENGUE



QUELS MOUSTIQUES

CESES ESPÈCES POURRAIENT S'ÉTABLIR SI ELLES ENTRAIENT AU CANADA ET QU'ELLES Y TROUVAIENT UN **ÉCOSYSTÈME FAVORABLE**

- *AEDES ALBOPICTUS*
- *AEDES AEGYPTI*
- *ANOPHELES SPECIES*
- *CULEX SPECIES*



LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

TEMPÉRATURE
ET LA VARIABILITÉ DES PRÉCIPITATIONS
L'HUMIDITÉ
PHÉNOMÈNES MÉTÉOROLOGIQUES EXTRÊMES

DES ÉCOSYSTÈMES FAVORABLES AUX ESPÈCES DE MOUSTIQUES EXOTIQUES POURRAIENT SE FORMER DANS DES RÉGIONS DU SUD DU CANADA



Citation : 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

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



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 Organisation: 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/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, Crelle 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, Koroivueta 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
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, Vinclette 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, Vinclette 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
 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
 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, Sacchett 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, Komninkakis 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-Mundeke 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, Andriguetti 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. Septfons A, Leparc-Goffart I, Couturier E, Franke F, Deniau J, Balestier A, Guinard A, Heuzé G, Liebert AH, Mailles A, Ndong JR, Poujol I, Raguet 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, Leparc-Goffart I, L'Ambert G, Cochet A, Prat C, Foulongne V, Ferre JB, Catelinois O, Flusin O, Tchernonog E, Moussion IE, Wiegandt A, Septfons 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. Bouri 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. Baqui 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, Leparc-Goffart I. Preliminary report of an autochthonous chikungunya outbreak in France, July to September 2017. *Euro Surveill* 2017 Sep;22(39). [DOI](#) [PubMed](#)