

Novembre 2022

# Répercussions du changement climatique au Canada sur les vecteurs du virus du Nil occidental

Leah Rosenkrantz, Ph. D.  
Centre de collaboration nationale en santé environnementale



National Collaborating Centre  
for Environmental Health

Centre de collaboration nationale  
en santé environnementale

[ccnse.ca](http://ccnse.ca)

## Messages clés

- Au Canada, la distribution potentielle des espèces *Culex pipiens*, *Culex restuans*, *Culex tarsalis* et *Aedes albopictus*, vectrices du virus du Nil occidental (VNO), devrait prendre de l'ampleur avec le changement climatique.
- Les effets du changement climatique, dont le réchauffement moyen annuel, les extrêmes chauds et les sécheresses, augmenteront probablement l'abondance de moustiques et la transmission des maladies, entre autres en accélérant leur reproduction et la réplication virale. D'autres phénomènes, comme les pluies abondantes, auront des conséquences variées selon les espèces de moustique et leur habitat.
- Des efforts proactifs de surveillance et de lutte contre le VNO seront indispensables pour réduire le risque actuel et projeté pour les scénarios climatiques futurs.

## Introduction

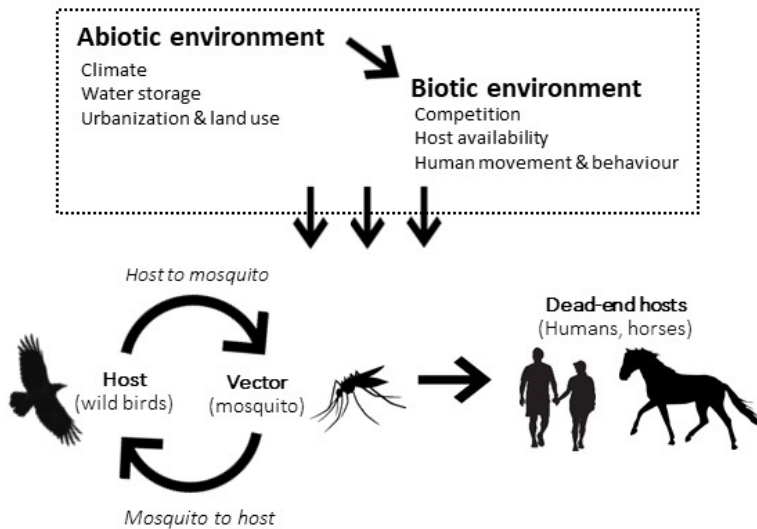
Le virus du Nil occidental (VNO) est apparu au Canada en 2002 et est devenu endémique dans de nombreuses régions, jusqu'à devenir la maladie transmise par les moustiques la plus fréquente. Sa prévalence chez l'humain varie fortement selon les années; la plupart des cas surviennent en été et au début de l'automne<sup>1</sup>. La maladie est asymptomatique dans la majorité (70 à 80 %) des cas, mais peut entraîner des symptômes légers à graves et, dans de rares cas, le décès<sup>2</sup>. Les symptômes les plus fréquents sont la fièvre, les douleurs musculaires et la fatigue. Dans les cas de maladie grave, ou *maladie neuro-invasive*, une raideur de la nuque, une désorientation, des convulsions et une paralysie sont possibles. Le VNO affecte peu la population canadienne, mais sa prévalence risque d'augmenter avec les répercussions du changement climatique sur la distribution des moustiques vecteurs et sur la dynamique de la transmission de la maladie<sup>1,3-9</sup>. Ces répercussions sont déjà à l'origine de nouvelles populations de moustiques et d'une évolution de la maladie<sup>10, 11</sup>. La poursuite du réchauffement planétaire devrait s'accompagner d'une augmentation des infections tout au long du 21<sup>e</sup> siècle; une étude anticipe d'ailleurs que les cas de maladie neuro-invasive à VNO auront presque doublé aux États-Unis en 2050<sup>3</sup>. En outre, de nouvelles espèces vectrices du VNO et d'autres maladies à transmission vectorielle profiteront sûrement de la mondialisation et du changement climatique pour coloniser le Canada<sup>12, 13</sup>.

Le virus perdure à l'intérieur d'un cycle oiseaux/moustiques, la transmission étant fortement influencée par des facteurs abiotiques (p. ex., le climat, le stockage d'eau, l'urbanisation et l'aménagement du territoire) et par des facteurs biotiques (p. ex., la compétition, la disponibilité des hôtes, les



déplacements des humains) (figure 1). Les principaux hôtes réservoirs du VNO sont les oiseaux, mais les moustiques vecteurs peuvent aussi transmettre le virus aux humains et à d'autres mammifères, qui sont des culs-de-sac épidémiologiques, c'est-à-dire que leur virémie est insuffisante pour transmettre le virus.

**Figure 1. VNO : Cycle de transmission et influence des facteurs abiotiques et biotiques**



Plus de 65 espèces de moustiques vecteurs du virus du Nil occidental ont été répertoriées dans le monde<sup>14</sup>. Au Canada, les vecteurs prédominants sont *Culex (Cx) pipiens*, *Cx restuans* et *Cx tarsalis*<sup>11,14-16</sup>, qui ont joué un rôle de taille dans le succès invasif du virus dans le pays. *Cx pipiens* et *Cx restuans*, principaux vecteurs dans l'est du pays, sont bien adaptés à l'environnement urbain. Comme ils sont difficiles à distinguer, on les désigne souvent par un nom commun, *Culex pipiens-restuans*. À l'inverse, *Cx tarsalis*, vecteur dominant dans les Prairies et l'ouest du pays, préfère les prairies et les régions agricoles. Une autre espèce, *Aedes (Ae.) albopictus*, présente au Canada depuis seulement 2016, a été observée uniquement dans le sud-ouest de l'Ontario pour le moment et, tout comme *Cx pipiens-restuans*, préfère les environnements urbains. En raison du changement climatique, ce vecteur compétent du VNO, et d'autres pathogènes, pourraient toutefois coloniser d'autres régions du Canada<sup>a</sup>.

De nombreux travaux ont analysé le lien entre les variables climatiques et les cas humains de VNO, la prévalence de l'infection chez le moustique et l'abondance des vecteurs. Ces études corrélationnelles ont mené à des résultats divergents, soulignant la complexité des interactions virus-vecteur-hôte, qui varient notamment selon les espèces de moustiques et les régions du monde. Plusieurs modèles de distribution des espèces ont également été utilisés pour prédire l'influence du changement climatique sur l'expansion territoriale des principaux vecteurs du virus du Nil occidental<sup>17-22</sup>. Dans cette revue, nous synthétisons la distribution actuelle et projetée de *Cx pipiens*, *Cx restuans*, *Cx tarsalis* et *Ae. albopictus* au Canada et

<sup>a</sup> *Ae. Japonicus* est un autre vecteur compétent potentiel du VNO au Canada. Des recherches en cours ont fait état de sa capacité à transmettre le virus en laboratoire, et présument qu'il pourrait le propager dans l'environnement.

analysons les impacts potentiels du changement climatique sur de futures flambées du VNO chez l'humain. Des mesures de réponse pour les programmes municipaux de lutte contre les moustiques sont aussi proposées, y compris dans les régions où le VNO est susceptible de devenir endémique.

## Méthodologie

### Recherche documentaire

Nous avons fouillé les publications universitaires et parallèles au moyen des bases de données EBSCOhost (Medline, CINAHL, Academic Search Complete, ERIC), de Google Scholar et de Google pour y trouver des données concernant les quatre vecteurs confirmés du VNO (*Cx pipiens*, *Cx restuans*, *Cx tarsalis* et *Ae. albopictus*), le virus du Nil occidental et les répercussions du changement climatique. La date de publication des articles n'a fait l'objet d'aucune limite. Nous avons retenu les articles pertinents de langue anglaise, auxquels nous avons ajouté d'autres articles repérés à partir de ceux retenus ou qui en faisaient mention, ainsi qu'à partir de consultations d'experts. La liste complète des syntagmes de recherche et des résultats est disponible sur demande.

*Les études ont été retenues pour examen si elles rapportaient :*

- i. La distribution actuelle au Canada d'une ou plusieurs des quatre espèces de moustiques traitées dans cet article;
- ii. La distribution projetée d'une ou plusieurs de ces espèces au Canada en raison du changement climatique;
- iii. Les répercussions du changement climatique (températures plus élevées, hausse ou baisse des précipitations et événements météorologiques extrêmes) sur les cas humains d'infection par le VNO, au Canada ou ailleurs dans le monde.

Un article de revue publié en 2015 a examiné en profondeur les répercussions du changement climatique sur la transmission du VNO dans le contexte mondial<sup>1</sup> et deux revues ont analysé les déterminants et les facteurs de risque environnementaux des maladies transmises par les moustiques et transportées par les oiseaux au Canada<sup>4, 23</sup>. L'objectif de cette revue était de s'intéresser au VNO dans le contexte canadien, en synthétisant la distribution projetée des principaux moustiques vecteurs et en mettant à jour les synthèses précédentes sur les répercussions du changement climatique.

Toutes les études ont été évaluées par une même personne, et les résultats ont été synthétisés de façon narrative. La synthèse a ensuite été soumise à deux examens, l'un interne et l'autre externe.

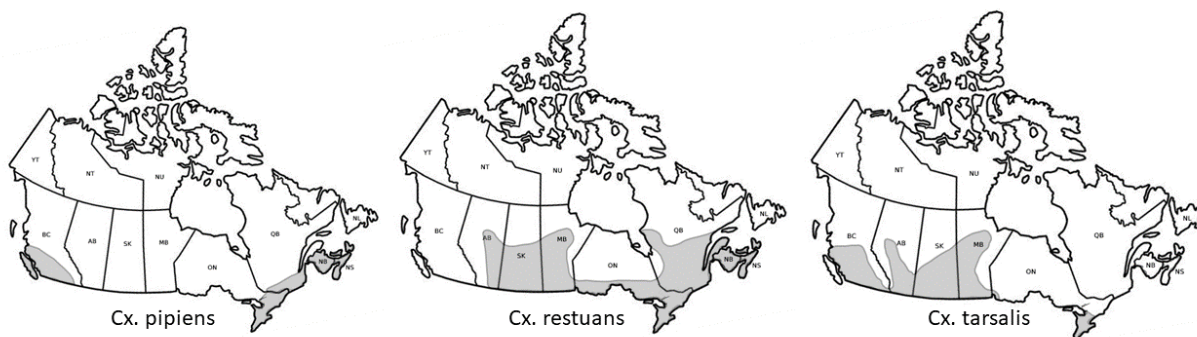


# Résultats

## Quelle est la distribution actuelle de *Cx pipiens*, *Cx restuans*, *Cx tarsalis* et *Ae. albopictus* au Canada?

Les moustiques vecteurs du VNO ne survivent qu'à des latitudes et à des altitudes aux hivers assez courts<sup>24</sup>. Pendant longtemps, les cartes de distribution par pays étaient périmées, de faible résolution et basées sur des relevés d'occurrence datant des années 1950<sup>24-26</sup>. En 2005, Richard Darsie Jr et Ronald Ward ont publié des cartes estimant la distribution de *Cx pipiens*, *Cx restuans* et *Cx tarsalis* (figure 2). Leurs travaux ne mentionnent pas *Ae. albopictus*, qui a été introduite en Amérique du Nord en 1985, mais qui a été détectée au Canada pour la première fois en 2002 et ne s'y est que récemment implantée<sup>10</sup>.

Figure 2. Carte estimant la distribution de *Cx pipiens*, *Cx restuans* et *Cx tarsalis*



Adaptation de Darsie et Ward (2005)<sup>24</sup>

Plus récemment, des efforts ont été entrepris pour mettre ces informations à jour grâce aux avancées de l'écologie mathématique, qui offre plusieurs méthodes statistiques pour modéliser l'habitat des moustiques à partir des données de présence observées. Ces modèles exploitent généralement les données de surveillance des moustiques et les covariables environnementales télédéteectées pour estimer la distribution sans échantillonnage systématique des espèces dans de larges zones.

Chen et ses collègues (2013) et Gorris et ses collègues (2021) ont mis au point deux modèles d'habitat de *Culex tarsalis*<sup>17, 27</sup>. L'aire géographique obtenue pour l'Alberta et la Saskatchewan est similaire à celle proposée par Darsie et Ward, tandis que ces études suggèrent que seul le sud-ouest du Manitoba serait

favorable à l'espèce, étant donné qu'il n'y a pas de prairies ailleurs. En outre, *Cx tarsalis* a également été recensé dans les Territoires du Nord-Ouest, et au Yukon pour la première fois<sup>28, 29</sup>.

Deux modèles de l'habitat de *Cx pipiens* ont été développés par Hongoh et ses collègues (2012) et par Gorris et ses collègues (2021)<sup>18, 27</sup>. Les résultats de ces études correspondent à la distribution proposée par Darsie et Ward, avec toutefois d'autres habitats potentiels dans le nord de l'Ontario (le long de la frontière du Manitoba) et au sud de l'Alberta et de la Saskatchewan. L'habitat modélisé dans ces deux provinces est toutefois moins étendu dans l'étude de Hongoh et ses collègues (2012). Gorris et ses collègues (2021) ont en outre repéré des habitats favorables à *Cx pipiens* au sud du Manitoba, mais pas Hongoh et ses collègues (2012)<sup>27</sup>. *Cx pipiens* a aussi été observé à Winnipeg (Manitoba)<sup>b</sup> et à Valemout et Prince George au nord de la Colombie-Britannique<sup>30</sup>, des zones censées être trop au nord selon les prédictions, mais on soupçonne que ces moustiques sont capables de survivre à l'hiver dans des structures d'origine humaine ou animale (p. ex., des terriers).

Gorris et ses collègues (2021) ont publié le seul modèle de l'habitat de *Cx restuans*<sup>27</sup>, qui identifie des zones très favorables au sud de l'Ontario et du Québec, se recoupant avec les travaux de Darsie et Ward. Très peu d'habitats favorables sont projetés dans les Prairies, ce qui correspond aux résultats de Darsie et Ward; cette région devrait rester inhospitalière. D'autres recherches sont nécessaires pour confirmer l'habitat potentiel de cette espèce.

Enfin, plusieurs modèles de l'habitat de l'espèce *Ae. albopictus* ont aussi été mis au point<sup>19-22,31,32</sup>. La côte de la Colombie-Britannique, dont l'île de Vancouver<sup>19-22</sup>, le sud-ouest de l'Ontario<sup>19,20,22,31,32</sup>, le sud du Québec<sup>19,21,32</sup> et le sud du Nouveau-Brunswick<sup>19,21,22,32</sup> figurent à chaque fois dans les régions favorables. Quelques études proposent aussi des zones de la Nouvelle-Écosse<sup>21</sup>, du sud de Terre-Neuve-et-Labrador<sup>21</sup>, du sud-est de l'Ontario<sup>19, 32</sup> et du sud-ouest de l'Alberta<sup>22</sup>. Pour le moment, *Ae. albopictus* a été détecté uniquement au sud-ouest de l'Ontario, mais des échantillons prélevés à Seattle, soit à environ 150 kilomètres de la frontière canadienne, suggèrent que le risque n'est pas restreint au sud-ouest de l'Ontario<sup>10</sup>.

## **Quelles sont les répercussions du changement climatique au Canada sur la distribution future des espèces *Cx pipiens*, *Cx restuans*, *Cx tarsalis* et *Ae. albopictus*?**

---

<sup>b</sup> Échange de courriels avec A. Sarkar, Ph. D., Université Memorial, St. John's (T.-N.-L.), 4 octobre 2022.

De multiples sources de données établissent avec une quasi-certitude que le climat canadien s'est réchauffé et que ce phénomène va se poursuivre si les émissions de gaz à effet de serre mondiale continuent à un rythme soutenu<sup>33, 34</sup>. Les modèles climatiques prévoient une hausse des températures moyennes annuelles et saisonnières dans tout le pays, avec un changement prononcé dans le nord, en particulier en hiver<sup>33</sup>. Le nombre annuel de journées chaudes devrait augmenter, en particulier en Ontario. À mesure que la température augmente, il continuera d'y avoir un changement entre la neige et la pluie au printemps et à l'automne. Il y a un degré de confiance moyen que les précipitations annuelles et hivernales augmenteront partout au Canada, avec une variation plus importante dans le Nord<sup>33</sup>. On prévoit aussi une augmentation des précipitations extrêmes quotidiennes. Toutefois, on prévoit que les précipitations estivales diminueront dans le sud du Canada, avec un degré de confiance moins élevé que pour les précipitations moyennes annuelles. L'intensité et la fréquence des journées à précipitations abondantes ont très probablement augmenté dans la majorité des États-Unis depuis le milieu du 20<sup>e</sup> siècle, mais cette tendance n'a pas été observée au Canada<sup>33</sup>. Néanmoins, des événements d'inondations récents sur la côte du Pacifique ont été associés à l'intensification des rivières atmosphériques.

Ces variations des températures et des précipitations sont des prédicteurs importants de la distribution des espèces *Cx pipiens*, *Cx restuans*, *Cx tarsalis* et *Ae. albopictus*<sup>28,32,33</sup>. Des données attestent déjà de l'évolution de leur aire de distribution, ce qui accroît le risque d'émergence du virus dans de nouvelles régions. Le réchauffement des températures annuelles et saisonnières étend et continuera d'étendre l'aire géographique favorable à la survie et à la reproduction des moustiques<sup>1,9,35</sup>. Le rôle des précipitations est plus nuancé et varie selon les espèces. Plus de précipitations, c'est plus d'eau stagnante pour la reproduction, mais les pluies abondantes peuvent également diluer les substances nutritives essentielles à la survie des larves ou vidanger les fossés et les canaux de drainage servant de lieux de reproduction<sup>36, 37</sup>. Pendant les périodes pauvres en précipitations ou de sécheresse, l'eau stagnante peut s'enrichir en matières organiques nécessaires aux larves, ce qui a déjà entraîné la prolifération massive de certaines espèces de moustiques, comme *Cx pipiens*, l'année suivante<sup>38, 39</sup>.

Pour prédire l'expansion territoriale de ces quatre espèces de moustiques, des modèles prenant en compte les conséquences du changement climatique sur l'adéquation de l'habitat sont utilisés. Cela dit, peu de recherches sont menées dans ce domaine; seules quelques études ont examiné les effets du changement climatique sur les vecteurs du VNO au Canada<sup>17-22</sup>. Il existe un seul modèle de l'habitat de *Cx tarsalis* et *Cx pipiens* au pays, et quatre pour *Ae. albopictus*, dont deux à l'échelle du monde entier et deux à l'échelle des États-Unis et du Canada. Ces six modèles ont été élaborés avec tout un éventail de méthodes. Les études les plus récentes ont utilisé les profils représentatifs d'évolution de concentration (RCP) du cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), tandis que les études les plus anciennes se sont basées sur les scénarios d'émissions du troisième et du quatrième rapport d'évaluation du GIEC (annexe A). Plusieurs modèles de circulation générale (MCG) et modèles de circulation régionale ont servi à construire ces scénarios (tableau A1).

Aucune étude n'a cherché à déterminer l'incidence du changement climatique sur l'habitat potentiel de *Cx restuans*.

L'habitat de *Cx tarsalis* dans les provinces des Prairies a été modélisé par Chen et ses collègues (2013) selon différentes conditions climatiques futures (froides et humides, intermédiaires, ou chaudes et sèches) et à trois périodes (les années 2020, de 2010 à 2039; les années 2050, de 2040 à 2069; et les années 2080, de 2070 à 2099)<sup>17</sup>. À l'exception du scénario froid et humide des années 2020, on prévoit que *Cx tarsalis* se propagera vers le nord dans l'ensemble des scénarios et des périodes. Dans le scénario intermédiaire, la distribution géographique devrait être multipliée par 1,3 dans les années 2020, par 1,6 dans les années 2050 et par 1,9 dans les années 2080. Les conditions climatiques au nord des Prairies (jusqu'au 60<sup>e</sup> parallèle) devraient être de plus en plus favorables dans les scénarios climatiques futurs, mais la dispersion de l'espèce sera fortement restreinte par l'absence de plaines.

L'habitat de *Cx pipiens* a été modélisé par Hongoh et ses collègues pour tout le Canada, à l'exception de la Colombie-Britannique et des Territoires, dans un scénario de réchauffement climatique modéré (1 à 2,2 °C) et dans un scénario extrême (2 à 5,4 °C) pour les années 2020 (2011–2040), 2050 (2041–2070) et 2080 (2071–2100)<sup>18</sup>. Dans le scénario modéré, l'expansion de la surface de distribution potentielle concerne initialement le sud de l'Ontario, une partie du sud du Québec, et une partie des provinces maritimes (Nouveau-Brunswick, Nouvelle-Écosse, Île-du-Prince-Édouard) ainsi que Terre-Neuve-et-Labrador. D'ici 2050, l'expansion se poursuivrait plus au nord et à l'ouest pour atteindre le centre de l'Ontario, le sud du Québec, et une plus grande région du Nouveau-Brunswick et de Terre-Neuve. Puis, à l'horizon 2080, une surface croissante du centre de l'Ontario, la majeure partie du sud du Québec et la quasi-totalité des provinces maritimes, à l'exception du Labrador, seraient favorables à *Cx pipiens*. Par rapport aux distributions projetées, la surface favorable serait multipliée par 1,5 dans les années 2020, et par 2,5 dans les années 2050 et par 5 dans les années 2080. Le scénario extrême envisage une expansion territoriale aux provinces Maritimes, à Terre-Neuve-et-Labrador et à une partie du sud de l'Alberta dans les années 2020, qui se poursuivrait dans ces mêmes régions dans les années 2050 et 2080 à un rythme bien plus faible que celui anticipé pour le scénario modéré.

Quatre études ont modélisé l'habitat d'*Ae. albopictus* selon des scénarios climatiques futurs, dont deux à l'échelle mondiale<sup>21, 22</sup>. Les cartes de faible résolution obtenues n'offrent qu'une vue très générale des variations de la distribution au Canada, qui indique une expansion à l'ouest de la Colombie-Britannique et au sud de l'Ontario, ainsi qu'une colonisation du sud de l'Alberta, du sud du Québec, du Nouveau-Brunswick, de la Nouvelle-Écosse, de Terre-Neuve et du sud du Labrador.

La dispersion potentielle d'*Ae. albopictus* est examinée plus en détail par les deux études portant sur les États-Unis et le Canada. Ogden et ses collègues (2014) ont modélisé son habitat dans les années 2050 et 2080 dans un scénario de réchauffement climatique modéré et un scénario extrême en utilisant trois indicateurs climatiques de la survie de l'espèce : 1) les conditions d'hivernage; 2) les conditions



d'hivernage associées à la température de l'air annuelle; et 3) un indice des précipitations et de l'adéquation de la température de l'air<sup>19</sup>. D'après ces deux premiers indicateurs, les deux scénarios d'émissions entraîneraient une expansion modeste d'environ 500 km vers le nord sur la côte de la Colombie-Britannique vers 2050. Avec l'indice des précipitations et de la température, l'expansion à l'horizon 2050 remonterait encore plus au nord pour envahir environ 600 à 1 000 km de la côte de la Colombie-Britannique et du sud-est du Canada, si le réchauffement est modéré, et, dans le scénario extrême, atteindrait certaines parties du nord des Prairies et les contreforts du sud des Rocheuses. Les prédictions courent jusqu'à l'année 2100 dans un autre modèle de l'habitat d'*Ae. albopictus* réalisé par Khan et ses collègues (2020), sans indicateurs climatiques, selon un scénario de réchauffement climatique modéré et un scénario extrême. L'expansion prévue concerne aussi le sud-est du pays avec un réchauffement modéré et la côte de la Colombie-Britannique si le réchauffement est extrême<sup>20</sup>.

Bien que ces six études démontrent les répercussions du changement climatique sur la distribution de ces trois vecteurs, les prédictions restent incomplètes. Sont notamment absents les effets du changement sur les interactions hôtes-vecteurs, les espèces prédatrices, les espèces concurrentes, ou encore la capacité d'adaptation potentielle des moustiques. De futurs modèles prenant en compte la façon dont ces facteurs affecteront l'écologie du VNO et la distribution des espèces vectrices sont nécessaires.

## **Quelles seront les répercussions du changement climatique sur d'éventuelles flambées de VNO au Canada?**

En plus de la propagation géographique, les événements ou tendances induits par le changement climatique peuvent affecter les interactions complexes entre les moustiques, les virus et les hôtes permettant la transmission du virus du Nil occidental. Ces cycles ont été très étudiés, mais varient selon les espèces de moustiques et leur stade de développement et peuvent être influencés par de nombreux facteurs environnementaux tels que l'aménagement du territoire, les microclimats, la topographie, les sols, l'infrastructure et la densité humaine. Par conséquent, les études arrivent souvent à des conclusions distinctes sur les effets de la température, des précipitations et de l'humidité relative. Cette section synthétise les données probantes sur l'incidence du réchauffement annuel et saisonnier, des chaleurs extrêmes, de la sécheresse et des fortes précipitations sur les cas humains de VNO.

### *Réchauffement annuel et saisonnier*

Les températures très froides des régions les plus nordiques restreignent généralement la propagation du VNO, mais de nombreuses données montrent une corrélation entre les températures annuelles et saisonnières supérieures à la moyenne dans ces régions et des variations significatives de l'abondance saisonnière des vecteurs propageant ces maladies au nord<sup>40, 41</sup>. La saison d'activité du VNO au Canada court généralement de mai à septembre, mais le réchauffement saisonnier en dehors de cette période permet aux populations de moustiques et aux niveaux d'agents pathogènes de se développer plus tôt

dans l'année, ce qui prolonge la saison de transmission. Par exemple, les hivers plus chauds et plus courts favorisent la survie des moustiques<sup>42, 43</sup>, tandis que les printemps plus chauds permettent aux populations de moustiques et aux niveaux de pathogènes de se développer plus rapidement et d'être plus prévalents<sup>44-46</sup>. Les hivers et les printemps plus chauds que la moyenne ont été associés à des éclosions de VNO chez l'humain aux États-Unis et en Europe, et, plus localement, dans l'État de New York, au Connecticut et en Ontario<sup>13,43,47-50</sup>. La hausse des températures hivernales peut aussi influencer sur la migration, la reproduction et la mortalité globale des oiseaux<sup>51, 52</sup>, et potentiellement affecter le cycle de transmission du virus.

Les températures estivales supérieures à la normale de 2002 à 2004 ont été associées à des épidémies de VNO. Les minimums saisonniers ont ainsi été établis comme des prédictors des cas humains<sup>46,47,53</sup>. Certaines études suggèrent que des températures estivales très élevées entraînent la mortalité des moustiques et donc une régulation « naturelle » de l'amplification du virus, mais, d'après Chen et ses collègues, il est peu probable que les températures estivales moyennes des Prairies canadiennes atteignent ce seuil. Le réchauffement saisonnier risque donc fortement de conduire à un taux supérieur d'émergence des vecteurs sans pour autant augmenter leur mortalité<sup>17</sup>.

Enfin, pour l'automne, Hahn et ses collègues (2015) ont montré une augmentation légère mais significative de l'incidence du VNO aux États-Unis à chaque écart-type supérieur de la température automnale, ce qui suggère une prolongation de la saison du VNO. Dans le Haut-Midwest et dans la région des Rocheuses du Nord et des Plaines, le risque de contracter le virus entre octobre et décembre a même presque doublé<sup>54</sup>. Toutefois, une étude de Shocket et ses collègues (2020) suggère que le comportement humain pourrait compenser partiellement les effets projetés de l'augmentation de la température sur les moustiques et les hôtes<sup>40</sup> : après la rentrée scolaire et quand le nombre d'heures d'ensoleillement diminue, les personnes ont tendance à se couvrir plus et à passer moins de temps à l'extérieur, réduisant les occasions de piqûres<sup>40</sup>.

### *Chaleur accablante*

Les critères de [chaleur accablante](#) varient selon les régions, mais, de manière générale, il s'agit de températures d'été beaucoup plus chaudes ou humides que la moyenne. Plusieurs mécanismes biologiques contribuent à la corrélation entre la chaleur accablante et l'augmentation de l'incidence du VNO. Pour les espèces des genres *Culex* et *Aedes*, des températures élevées augmentent l'abondance des moustiques et accélèrent leur développement, tout en amplifiant rapidement la répllication virale chez les moustiques<sup>46, 55</sup>. Ces effets affectent directement la probabilité que les moustiques parviennent à l'âge adulte et augmentent leurs capacités à infecter d'autres hôtes, ce qui accroît le risque de propagation de la maladie<sup>56-60</sup>. Néanmoins, une température trop élevée (supérieure à 35 °C) peut nuire aux moustiques en freinant largement leur développement et en réduisant leur survie, surtout si ces températures persistent plusieurs jours<sup>61</sup>. Cet effet inhibiteur peut toutefois être atténué par la date de la vague de chaleur : Jia et ses collègues (2019) ont découvert que les vagues de chaleur survenant à la fin du mois de

juillet étaient moins délétères pour les populations de moustiques que celles se produisant plus tôt ou plus tard dans la saison, ce qui suggère que les moustiques sont capables de s'adapter progressivement à une chaleur estivale plus intense<sup>61</sup>.

Les périodes de canicule ont aussi été associées à des flambées de VNO dans le monde entier<sup>58,62-64</sup>, avec un délai d'apparition des flambées qui semble suivre un gradient latitudinal. Ainsi, les pays du Sud aux climats plus chauds subissent généralement une éclosion du VNO assez immédiate, tandis que l'éclosion survient environ quatre semaines plus tard dans les pays du Nord aux climats plus froids en raison d'un effet retardateur<sup>63</sup> démontré par de nombreuses études d'Amérique du Nord<sup>46,65-67</sup>. Par exemple, aux États-Unis, Soverow et ses collègues (2009) ont établi une corrélation significative entre les températures maximales hebdomadaires et l'incidence des cas humains dans la même semaine et les trois suivantes<sup>68</sup>. Quand la température hebdomadaire moyenne augmentait de 5 °C, le nombre de cas déclarés augmentait ainsi de 32 à 50 %<sup>68</sup>. Au Canada, Chen et ses collègues (2013) ont fait état d'un lien significatif entre des températures supérieures à la moyenne pour les mois de juin, juillet et août et l'incidence du VNO chez l'humain un mois plus tard<sup>17</sup>.

Enfin, la corrélation entre la chaleur accablante et l'incidence du VNO diffère entre les zones rurales et les zones urbaines, où le risque de transmission existant est multiplié par les îlots de chaleur urbains qui font augmenter la température<sup>60</sup>. Si rien n'est fait pour contrer ce phénomène, de nombreuses flambées de VNO vont continuer à se produire dans les villes du monde entier.

### *Sécheresse*

La [sécheresse](#) a été associée à une hausse de la prévalence du VNO dans le monde entier par de nombreuses publications<sup>3,66,69-77</sup>. Aux États-Unis, une vaste étude nationale a conclu que la sécheresse, et non les températures pendant la saison du virus et les mois d'hiver, était le facteur climatique primaire de la hausse des épidémies de VNO<sup>3</sup>. Cependant, le lien entre la sécheresse et le VNO varie fortement selon les espèces vectrices affectées, la composition de la couverture terrestre et l'enchaînement des périodes de sécheresse et de précipitations précédant la saison de transmission du VNO<sup>78, 79</sup>.

Par exemple, l'espèce *Cx pipiens-restuans*, principale vectrice du VNO à l'est des États-Unis et du Canada (au nord du 36<sup>e</sup> parallèle) s'épanouit en période de sécheresse, car l'assèchement des lieux de reproduction y multiplie la teneur en matières organiques<sup>71</sup>. Les pluies abondantes peuvent nuire à ces moustiques en vidangeant les puisards, lieux de ponte fréquents, et en diluant les matières organiques dans d'autres lieux de reproduction potentiels<sup>36,80,81</sup>. Il a aussi été démontré que l'espèce pouvait retenir ses œufs pendant la sécheresse pour prendre le temps de situer les rares sources d'eau favorables à la ponte, généralement en lien avec les populations humaines et des oiseaux hôtes du virus (p. ex., les bains d'oiseaux, les étangs de jardin, etc.)<sup>82</sup>. À l'inverse, *Cx tarsalis*, principal vecteur du VNO à l'ouest des États-Unis et du Canada, préfère se reproduire dans de l'eau contenant moins de matières organiques<sup>71</sup>. Par conséquent, sa population diminue en cas de sécheresse, étant donné que les habitats de

reproduction se raréfient<sup>64, 83</sup>. Quant à *Ae. Albopictus*, étant donné que ses larves peuvent s'épanouir dans de toutes petites poches d'eau d'origine naturelle ou humaine (p. ex., des bacs en plastique mis au rebut), elle est peu affectée par la sécheresse. En effet, ces sources d'eau sont très répandues, en particulier dans les zones urbaines, et les œufs des espèces se reproduisant dans des récipients sont capables de retarder leur éclosion pendant une sécheresse jusqu'à être submergés<sup>84, 85</sup>.

Si la sécheresse peut augmenter ou diminuer l'abondance des moustiques selon les espèces, cette variation ne se reflète pas nécessairement sur les cas d'infection humaine en raison de l'intervention de plusieurs autres facteurs environnementaux tels que les espèces prédatrices et compétitrices et la couverture terrestre. Des chercheurs ayant étudié les zones humides naturelles au nord-ouest de la Pennsylvanie ont ainsi montré que les prédateurs limitent les populations de moustiques dans les zones humides permanentes (toujours gorgées d'eau), tout comme les espèces concurrentes adaptées aux conditions prévisibles des zones humides temporaires (assèchement annuel)<sup>38</sup>. Néanmoins, dans les zones humides semi-permanentes (assèchement uniquement en cas de sécheresse), les prédateurs et les concurrents des moustiques sont éliminés en cas d'assèchement, ce qui entraîne leur prolifération incontrôlée. Une autre étude portant sur le nord-est et le centre-ouest des États-Unis confirme ces résultats : la sécheresse a entraîné une différence de 300 % de l'incidence annuelle du VNO entre les comtés comportant une grande superficie de zones humides semi-permanentes et ceux en comportant moins<sup>76</sup>.

La sécheresse peut aussi affecter l'abondance et l'habitat des oiseaux hôtes. Ainsi, il existe une corrélation entre la sécheresse et la diminution de la population de certaines espèces d'oiseaux sauvages, ce qui accroît le risque d'amplification du virus dans le reste de la population<sup>86</sup>. La rareté de l'eau favorise la proximité entre les hôtes aviaires et les moustiques, qui s'agglutinent près des sources disponibles, intensifiant ainsi le cycle de transmission du virus<sup>87</sup>. Enfin, l'enchaînement des sécheresses et des précipitations peut également affecter l'incidence du virus chez l'humain. Dans l'exemple ci-dessus, des pluies après une sécheresse prolongée entraîneraient sûrement la dispersion des hôtes aviaires, ce qui augmenterait le risque d'infection de moustiques sains<sup>87</sup>. En outre, les précipitations suivant une sécheresse permettent la ponte des œufs des moustiques, ce qui génère une cohorte synchronisée de moustiques recherchant des hôtes et donc l'infection potentielle d'humains par des moustiques porteurs du virus<sup>88</sup>.

### *Pluies abondantes*

Les pluies abondantes correspondent à des quantités de pluie largement supérieure à la normale pour la région et la période de l'année. De manière générale, la pluie a deux influences majeures sur le cycle de vie des moustiques *Culex* et *Aedes*. Tout d'abord, la hausse de l'humidité entraînée par la pluie améliore leurs capacités de vol et de recherche d'hôtes. Ensuite, l'augmentation des pluies peut modifier la quantité et le type (présence de peu ou de beaucoup de nutriments) d'habitats aquatiques favorables à la reproduction et au développement des larves<sup>89, 90</sup>. Selon les espèces, ce phénomène peut augmenter

(*Cx tarsalis*) ou diminuer (*Cx pipiens*) l'abondance<sup>91-93</sup>, voire n'avoir aucun effet; quelques études ont ainsi conclu qu'il n'existait aucun lien entre les précipitations et l'abondance ultérieure de moustiques dans certaines régions<sup>92, 94</sup>. Le type d'habitat joue aussi sûrement un rôle de médiation. Dans les zones urbaines aux surfaces généralement plus imperméables, les pluies abondantes peuvent expulser les larves des sites de reproduction, tandis que, dans les zones rurales aux surfaces plus perméables, ces pluies peuvent offrir l'humidité nécessaire au développement de gîtes larvaires<sup>92</sup>.

Malgré ces tendances générales, il est difficile de discerner les répercussions des pluies abondantes sur le risque d'infection au VNO dans la littérature. Cela s'explique notamment par des différences interspécifiques, d'habitat et d'aménagement du territoire, décrites plus haut<sup>66,89,92</sup>, ainsi que par l'hétérogénéité des échelles temporelles et spatiales des études publiées<sup>66</sup> et par la variabilité induite par la fréquence, l'intensité et le moment des pluies<sup>90</sup>. Par exemple, des études examinant l'incidence des fortes pluies sur les cas de VNO aux États-Unis ont obtenu des résultats discordants. Une étude américaine des conditions météorologiques associées aux cas de VNO rapportés a établi une corrélation entre au moins un épisode hebdomadaire de fortes pluies (plus de 50 mm en une seule journée et une hausse de 33 % de l'incidence de la maladie au cours de la même semaine et une incidence plus élevée dans les deux semaines suivantes<sup>68</sup>. Cette corrélation s'estompe quand les précipitations sont inférieures à 40 mm, ce qui indique que l'intensité des pluies est un facteur important influençant le risque de VNO. Toutefois, il existe des disparités dans les études réalisées sur des échelles spatiales plus petites. Par exemple, Davis et ses collègues (2017) ont étudié la saison 2016 du VNO dans l'État du Dakota du Sud et ont fait état d'une association négative entre les pluies quotidiennes totales et les cas de VNO la semaine suivante, mais ont observé un lien positif sur le nombre de cas au bout de deux mois. Une étude menée par Chen et ses collègues (2013) dans les provinces des Prairies a conclu que la hausse des précipitations était associée à une diminution du taux d'infection<sup>17</sup>, malgré une augmentation de la population de *Cx tarsalis*, tandis qu'une étude distincte menée dans la même région a observé que l'augmentation des précipitations moyennes diminuait le taux d'infection de *Cx tarsalis* deux à six semaines plus tard<sup>95</sup>.

Ces disparités dans les résultats peuvent s'expliquer en partie par la distribution géographique des moustiques vecteurs. Hahn et ses collègues (2015) illustrent l'effet contraire de la hausse des précipitations annuelles (plus de 100 mm au-dessus de la moyenne) entre l'est et l'ouest des États-Unis. À l'exception du nord des Rocheuses et des Plaines, il y a eu une hausse des cas de VNO dans toutes les régions de l'ouest ayant connu une augmentation des précipitations annuelles<sup>48</sup>. Une étude similaire prenant en compte les différences géographiques a montré que les flambées de VNO sont précédées par des pluies supérieures à la moyenne à l'est des États-Unis et par des pluies inférieures à la moyenne à l'ouest dans l'année précédente, ce qui est le contraire de l'association avec les pluies mesurées pendant l'année de l'étude observée par Hahn et ses collègues (2015)<sup>70</sup>. Les résultats de ces deux études reflètent la distribution géographique des principaux vecteurs aux États-Unis, où *Cx pipiens-restuans* est majoritaire au Nord-Est, *Cx quinquefasciatus* dans les États du Sud et *Cx tarsalis* dans les Plaines et à l'Ouest. Dans les régions comportant plusieurs espèces vectrices, les précipitations anormales dans un sens comme dans l'autre peuvent fournir des gîtes larvaires propices à l'un des vecteurs, ce qui peut

expliquer les disparités des résultats entre les études réalisées à de petites échelles spatiales<sup>48</sup>. La raison la plus plausible de l'association divergente entre l'augmentation des pluies moyennes l'année précédente et l'année en cours est l'incidence à long terme des précipitations sur les dynamiques de population des moustiques par rapport à l'incidence à court terme des précipitations sur l'activité des moustiques<sup>70</sup>.

Il sera nécessaire de mener d'autres recherches à différentes échelles temporelles et spatiales pour discerner les répercussions des pluies abondantes sur le VNO dans tout le Canada, ainsi que l'influence de la hausse des précipitations sur les moustiques vecteurs spécifiques et donc sur le VNO chez l'humain.

## **Que peuvent faire les programmes municipaux de lutte contre les moustiques pour s'adapter à ces changements?**

Malgré les connaissances sur l'expansion géographique des moustiques vecteurs et les répercussions des événements entraînés par le changement climatique sur leur abondance et leur infectivité, la prédiction du moment et de l'ampleur des flambées dans les régions endémiques et primo-infectées reste complexe. Il est donc crucial de renforcer la préparation de la santé publique aux flambées de VNO et les efforts proactifs de lutte contre le virus afin de prendre en compte les répercussions actuelles et futures du changement climatique. La stratégie de lutte de référence est la gestion intégrée des moustiques (GIM)<sup>96</sup>, basée sur cinq méthodes fondamentales : 1) surveillance, catalogage et établissement rationnel de seuils d'intervention; 2) contrôle physique des habitats des moustiques par manipulation; 3) réduction des sources, lutte biologique et application d'insecticides ciblés; 4) tests d'efficacité des insecticides et de résistance; et 5) mobilisation régulière du public pour le sensibiliser et réduire les sources (par exemple, en enlevant l'eau stagnante dans les arrière-cours). Il est important d'appliquer ces principes pour lutter contre le risque de VNO actuel et dans un climat changeant.

L'Agence de la santé publique du Canada dirige le programme national de surveillance du VNO, un système recensant les données portant sur les humains, les oiseaux morts, les moustiques et les animaux<sup>97</sup>. La lutte physique et biologique contre les populations de moustiques relève cependant des provinces et des municipalités, qui devraient baser leurs décisions sur les données de surveillance locales si possible. L'analyse des moustiques fournit ainsi une indication spécifique du risque spatial et temporel de transmission à l'humain, ce qui peut orienter des mesures de maîtrise proactives et réactives au besoin. Le coût financier et en ressources humaines peut toutefois être un obstacle pour certaines régions. Les données de surveillance des chevaux (déclarées le plus systématiquement au niveau national) et des oiseaux morts peuvent venir combler cette lacune. La surveillance peut aussi passer par la science citoyenne, une approche très utile dans de grandes zones géographiques<sup>98</sup> permettant en outre d'éduquer et de sensibiliser les communautés impliquées. Surtout, une approche consolidée du



partage des informations de surveillance entre les municipalités, les provinces, les agences de santé publique et la recherche sera nécessaire pour assurer une compréhension plus approfondie du risque actuel et futur.

Outre la surveillance, les communautés peuvent aussi être mobilisées en gestion environnementale pour réduire les gîtes larvaires. Par exemple, les professionnels de la santé publique environnementale et les employés municipaux chargés de la lutte contre les moustiques pourraient encourager les résidents à enlever régulièrement les déchets dans leur cour et à changer régulièrement l'eau des bains d'oiseaux pour éviter de créer de nouveaux gîtes. La sensibilisation accrue du public aux maladies transmises par les moustiques et aux façons de réduire le risque de piqûres joue également un rôle central dans la prévention et l'atténuation des flambées.

Dans les régions qui risquent d'être envahies pour la première fois par le VNO en raison de l'expansion des vecteurs au Canada, la surveillance continue de la présence d'espèces spécifiques, de leur abondance et leur infection par le VNO sera importante, ainsi que la surveillance des tendances dans les régions voisines, sans égard aux frontières provinciales ou nationales. Chez l'espèce *Ae. albopictus* en particulier, les transports maritimes et terrestres sont des voies de dispersion avérées dans de nouveaux pays<sup>99</sup>. Par conséquent, la surveillance et le contrôle des vecteurs aux points d'entrée du pays peuvent être une stratégie utile pour limiter la propagation de l'espèce et empêcher l'introduction d'autres espèces envahissantes.

## Résumé

La distribution potentielle des espèces *Culex pipiens*, *Culex restuans*, *Culex tarsalis* et *Aedes albopictus* devrait augmenter en raison du réchauffement du climat du Canada et de la hausse de la fréquence et de l'intensité des événements climatiques. Par conséquent, il est probable que le VNO émerge dans des zones jusqu'ici sans risque, et devienne plus prévalent dans les zones où le risque était faible. Les événements induits par le changement climatique, comme la hausse des températures annuelles et saisonnières, les vagues de chaleur, les sécheresses et les périodes de fortes pluies peuvent aussi amplifier le risque de VNO, même si ce risque est modulé par certains déterminants critiques, particulièrement spatiaux et temporels. Des recherches complémentaires sont nécessaires pour estimer la distribution actuelle et future de ces quatre espèces au Canada, ainsi que les répercussions de tendances spécifiques induites par le changement climatique sur le risque de VNO dans le contexte du pays. Étant donné qu'on s'attend à ce que les événements climatiques extrêmes deviennent plus fréquents, il est important de renforcer le contrôle et la surveillance du VNO dans les lieux où le virus est déjà endémique, et d'améliorer la surveillance là où il pourrait s'établir<sup>100</sup>. Les professionnels de la santé publique environnementale devraient communiquer les zones d'augmentation des populations vectrices



porteuses du VNO aux prestataires de santé afin d'accélérer le diagnostic des patients présentant des symptômes du virus. La surveillance aux points d'entrée du Canada est aussi nécessaire pour limiter la propagation des espèces non natives. Enfin, une approche consolidée du partage de l'information dans tout le pays s'impose pour réduire le risque au minimum et améliorer la préparation à d'éventuelles flambées. Cela nécessitera plus de communication entre les partenaires municipaux, provinciaux et de recherche participant aux activités de surveillance, ainsi que la définition de priorités dans ces groupes pour établir de futures initiatives de surveillance.

## Remerciements

L'auteure tient à remercier Michele Wiens, du CCNSE, pour son aide en recherche documentaire et en préparation des références, ainsi que Lydia Ma et Anne-Marie Nicol pour leurs révisions de ce document. L'auteure remercie également les évaluateurs externes suivants pour leur apport précieux : Daniel Peach (Université de Géorgie), Atanu Sarkar (Université Memorial) et John Soghigian (Université de Calgary).



# Références

1. Paz S. Climate change impacts on West Nile virus transmission in a global context. *Phil Trans R Soc B.* 2015;370(1665):20130561. Available from: <https://royalsocietypublishing.org/doi/abs/10.1098/rstb.2013.0561>
2. Symptoms of West Nile virus. Ottawa, ON: Government of Canada; 2015 [Oct 31, 2022]; Available from: <https://www.canada.ca/en/public-health/services/diseases/west-nile-virus/symptoms-west-nile-virus.html>.
3. Paull SH, Horton DE, Ashfaq M, Rastogi D, Kramer LD, Diffenbaugh NS, et al. Drought and immunity determine the intensity of West Nile virus epidemics and climate change impacts. *Proc R Soc Lond B Biol Sci.* 2017;284(1848):20162078. Available from: <https://doi.org/10.1098/rspb.2016.2078>.
4. Ludwig A, Zheng H, Vrbova L, Drebot M, Iranpour M, Lindsay L. Climate change and infectious diseases: the challenges: increased risk of endemic mosquito-borne diseases in Canada due to climate change. *Can Commun Dis Rep.* 2019;45(4):91. Available from: <https://doi.org/10.14745%2Fccdr.v45i04a03>.
5. Harrigan RJ, Thomassen HA, Buermann W, Smith TB. A continental risk assessment of West Nile virus under climate change. *Glob Chang Biol.* 2014;20(8):2417-25. Available from: <https://doi.org/10.1111/gcb.12534>.
6. Ogden NH, Bouchard C, Brankston G, Brown EM, Corrin T, Dibernardo A, et al. Health of Canadians in a changing climate: advancing our knowledge for action. Ottawa, ON: Government of Canada; 2022. Available from: <https://changingclimate.ca/health-in-a-changing-climate/chapter/6-0/>.
7. Pley C, Evans M, Lowe R, Montgomery H, Yacoub S. Digital and technological innovation in vector-borne disease surveillance to predict, detect, and control climate-driven outbreaks. *The Lancet Planetary Health.* 2021;5(10):e739-e45. Available from: [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00141-8](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00141-8).
8. National Collaborating Centre for Infectious Diseases. A short review of literature on the effects of climate change on mosquito-borne illnesses in Canada. Winnipeg, MB: NCCID; 2016. Available from: <https://nccid.ca/publications/review-of-literature-on-effects-of-climate-change-on-mosquito-borne-illnesses-in-canada/>.
9. Caminade C, McIntyre KM, Jones AE. Impact of recent and future climate change on vector-borne diseases. *Ann N Y Acad Sci.* 2019;1436(1):157-73. Available from: <https://nyaspubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/nyas.13950>.
10. Giordano B, Gasparotto A, Liang P, Nelder M, Russell C, Hunter F. Discovery of an *Aedes* (*Stegomyia*) *albopictus* population and first records of *Aedes* (*Stegomyia*) *aegypti* in Canada. *Med Vet Entomol.* 2020;34(1):10-6. Available from: <https://doi.org/10.1111/mve.12408>.
11. Moua Y, Kotchi SO, Ludwig A, Brazeau S. Mapping the habitat suitability of West Nile Virus vectors in Southern Quebec and Eastern Ontario, Canada, with species distribution modeling and satellite earth observation data. *Remote Sens.* 2021;13(9):1637. Available from: <https://www.mdpi.com/2072-4292/13/9/1637>.
12. Peach DA, Matthews BJ. The invasive mosquitoes of Canada: An entomological, medical, and veterinary review. *Am J Trop Med.* 2022;107(2):231. Available from: <https://doi.org/10.4269/ajtmh.21-0167>.



13. Sergeev A, Lalonde C, Pons W. The role of climate change in the spread of vectors and vector-borne disease in Windsor-Essex County. *Environ Health Rev.* 2022;65(3):95-101.
14. Colpitts TM, Conway MJ, Montgomery RR, Fikrig E. West Nile Virus: biology, transmission, and human infection. *Clin Microbiol Rev.* 2012;25(4):635-48. Available from: <https://doi.org/10.1128/cmr.00045-12>.
15. Todoric D, Vrbova L, Mitri ME, Gasmi S, Stewart A, Connors S, et al. An overview of the National West Nile Virus Surveillance System in Canada: A One Health approach. *CCDR.* 2022;48(5):181.
16. Ciota AT. West Nile virus and its vectors. *Curr Opin Insect Sci.* 2017;22:28-36. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.cois.2017.05.002>.
17. 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;10(7):3052-71. Available from: <https://doi.org/10.3390/ijerph10073052>.
18. Hongoh V, Berrang-Ford L, Scott M, Lindsay L. Expanding geographical distribution of the mosquito, *Culex pipiens*, in Canada under climate change. *Appl Geogr.* 2012;33:53-62. Available from: <https://www.semanticscholar.org/paper/Expanding-geographical-distribution-of-the-Culex-in-Hongoh-Berrang%E2%80%90Ford/ec4436dc59d97421b28a59772fd7ea6ee3ba7789>.
19. 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(1):532. Available from: <https://doi.org/10.1186/s13071-014-0532-4>.
20. Khan SU, Ogden NH, Fazil AA, Gachon PH, Dueymes GU, Greer AL, et al. Current and projected distributions of *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus* in Canada and the U.S. *Environ Health Perspect.* 2020 May;128(5):57007. Available from: <https://doi.org/10.1289/ehp5899>.
21. Campbell LP, Luther C, Moo-Llanes D, Ramsey JM, Danis-Lozano R, Peterson AT. Climate change influences on global distributions of dengue and chikungunya virus vectors. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 2015;370(1665):20140135. Available from: <https://royalsocietypublishing.org/doi/abs/10.1098/rstb.2014.0135>
22. 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;13(12):e0210122. Available from: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210122>.
23. Hongoh V, Berrang-Ford L, Ogden N, Lindsay R, Scott M, Artsob H. A review of environmental determinants and risk factors for avian-associated mosquito arboviruses in Canada. *Biodivers.* 2009;10(2-3):83-91. Available from: <https://doi.org/10.1080/14888386.2009.9712849>.
24. Darsie RF, Ward RA. Identification and geographical distribution of the mosquitoes of North America, North of Mexico. Gainesville, FL: University Press Florida; 2005. Available from: <https://upf.com/book.asp?id=9780813062334>.
25. Darsie Jr RF, Ward RA. Identification and geographical distribution of the mosquitoes of North America, north of Mexico. Washington, DC: Walter Reed Army Inst of Research 1981. Available from: <https://upf.com/book.asp?id=9780813062334>.
26. Mattingly PF. The *Culex pipiens* complex. *Trans Royal Entomol Soc London.* 1951;102(pt. 7). Available from: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19521000130>.
27. Gorris ME, Bartlow AW, Temple SD, Romero-Alvarez D, Shutt DP, Fair JM, et al. Updated distribution maps of predominant *Culex* mosquitoes across the Americas. *Parasit Vectors.* 2021 Oct 23;14(1):547. Available from: <https://parasitesandvectors.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13071-021-05051-3>.



28. Stuart T. An Overview of the West Nile Virus and California Serogroup of Vector Competent Mosquito Species in the Northwest Territories from 2004-2018. Available from: [https://www.enr.gov.nt.ca/sites/enr/files/resources/an\\_overview\\_of\\_the\\_west\\_nile\\_virus\\_and\\_california\\_serogroup\\_of\\_vector\\_competent\\_mosquito\\_species\\_in\\_the\\_northwest\\_territories\\_from\\_2004-2018.pdf](https://www.enr.gov.nt.ca/sites/enr/files/resources/an_overview_of_the_west_nile_virus_and_california_serogroup_of_vector_competent_mosquito_species_in_the_northwest_territories_from_2004-2018.pdf).
29. Peach DA. First record of *Culex tarsalis* (Diptera: Culicidae) in the Yukon. *J Entomol Soc BC*. 2018;115:123-5. Available from: <https://journal.entsofbc.ca/index.php/journal/article/view/1006>.
30. Peach DA, Poirier LM. New distribution records and range extensions of mosquitoes in British Columbia and the Yukon Territory. *bioRxiv*. 2020. Available from: <https://doi.org/10.1101/2020.01.24.919233>.
31. Kraemer MU, Sinka ME, Duda KA, Mylne AQ, Shearer FM, Barker CM, et al. The global distribution of the arbovirus vectors *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus*. *eLife*. 2015;4:e08347. Available from: <https://doi.org/10.7554/elife.08347>.
32. Ding F, Fu J, Jiang D, Hao M, Lin G. Mapping the spatial distribution of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*. *Acta Trop*. 2018;178:155-62. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2017.11.020>.
33. Zhang X, Flato G, Kirchmeier-Young M, Vincent L, Wan H, Wang X, et al. Changes in temperature and precipitation across Canada; Chapter 4. In: Bush E, Lemmen DS, editors. *Canada's changing climate report*. Ottawa, ON: Government of Canada; 2019. p. 112-93. Available from: <https://changingclimate.ca/CCCR2019/chapter/4-0/>.
34. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2022: Summary for policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. *Climate Change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H-O Pörtner, DC Roberts, M Tignor, ES Poloczanska, K Mintenbeck, A Alegría, M Craig, S Langsdorf, S Lösschke, V Möller, A Okem, B Rama (eds)]. Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press; 2022. p. 3-33. Available from: <https://doi.org/10.1017/9781009325844.001>.
35. Brady OJ, Johansson MA, Guerra CA, Bhatt S, Golding N, Pigott DM, et al. Modelling adult *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* survival at different temperatures in laboratory and field settings. *Parasit Vectors*. 2013;6(1):1-12. Available from: <https://parasitesandvectors.biomedcentral.com/articles/10.1186/1756-3305-6-351>.
36. Koenraadt C, Harrington L. Flushing effect of rain on container-inhabiting mosquitoes *Aedes aegypti* and *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae). *J Med Entomol*. 2008;45(1):28-35. Available from: <https://doi.org/10.1093/jmedent/45.1.28>.
37. Shaman J, Stieglitz M, Stark C, Le Blancq S, Cane M. Using a dynamic hydrology model to predict mosquito abundances in flood and swamp water. *Emerg Infect Dis*. 2002;8(1):8. Available from: <https://doi.org/10.3201%2Feid0801.010049>.
38. Chase JM, Knight TM. Drought-induced mosquito outbreaks in wetlands. *Ecol Lett*. 2003;6(11):1017-24. Available from: <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2003.00533.x>.
39. Johnson B, Sukhdeo M. Drought-induced amplification of local and regional West Nile virus infection rates in New Jersey. *J Med Entomol*. 2013;50(1):195-204.



40. Shocket MS, Verwillow AB, Numazu MG, Slamani H, Cohen JM, El Moustaid F, et al. Transmission of West Nile and five other temperate mosquito-borne viruses peaks at temperatures between 23 C and 26 C. *eLife*. 2020;9:e58511. Available from: <https://doi.org/10.7554/eLife.58511>.
41. Vogels CB, Hartemink N, Koenraadt CJ. Modelling West Nile virus transmission risk in Europe: effect of temperature and mosquito biotypes on the basic reproduction number. *Sci Rep*. 2017;7(1):1-11. Available from: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-05185-4>.
42. Nasci RS, Savage HM, White DJ, Miller JR, Cropp BC, Godsey MS, et al. West Nile virus in overwintering *Culex* mosquitoes, New York City, 2000. *Emerg Infect Dis*. 2001;7(4):742. Available from: <https://doi.org/10.3201/eid0704.010426>.
43. Marini G, Manica M, Delucchi L, Pugliese A, Rosà R. Spring temperature shapes West Nile virus transmission in Europe. *Acta Trop*. 2021;215:105796. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2020.105796>.
44. Gardner AM, Hamer GL, Hines AM, Newman CM, Walker ED, Ruiz MO. Weather variability affects abundance of larval *Culex* (Diptera: Culicidae) in storm water catch basins in suburban Chicago. *J Med Entomol*. 2012;49(2):270-6. Available from: <https://doi.org/10.1603/fme11073>.
45. Chuang T-W, Knepper RG, Stanuszek WW, Walker ED, Wilson ML. Temporal and spatial patterns of West Nile virus transmission in Saginaw County, Michigan, 2003–2006. *J Med Entomol*. 2011;48(5):1047-56. Available from: <https://doi.org/10.1603/me10138>.
46. Reisen WK, Fang Y, Martinez VM. Effects of temperature on the transmission of West Nile virus by *Culex tarsalis* (Diptera: Culicidae). *J Med Entomol*. 2014;43(2):309-17. Available from: <https://doi.org/10.1093/jmedent/43.2.309>.
47. Keyel AC, Elison Timm O, Backenson PB, Prussing C, Quinones S, McDonough KA, et al. Seasonal temperatures and hydrological conditions improve the prediction of West Nile virus infection rates in *Culex* mosquitoes and human case counts in New York and Connecticut. *PLoS ONE*. 2019;14(6):e0217854. Available from: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217854>.
48. Hahn MB, Monaghan AJ, Hayden MH, Eisen RJ, Delorey MJ, Lindsey NP, et al. Meteorological conditions associated with increased incidence of West Nile virus disease in the United States, 2004–2012. *Am J Trop Med*. 2015;92(5):1013. Available from: <https://doi.org/10.4269/fajtmh.14-0737>.
49. Wijayasri S, Nelder M, Russell C, Johnson K, Johnson S, Badiani T, et al. Challenges in infection control: West Nile virus illness in Ontario, Canada: 2017. *Can Commun Dis Rep*. 2019;44(1):32. Available from: <https://doi.org/10.14745/ccdr.v45i01a04>.
50. Wimberly MC, Lamsal A, Giacomo P, Chuang T-W. Regional variation of climatic influences on West Nile virus outbreaks in the United States. *Am J Trop Med*. 2014;91(4):677. Available from: <https://doi.org/10.4269/fajtmh.14-0239>.
51. Both C, Bouwhuis S, Lessells C, Visser ME. Climate change and population declines in a long-distance migratory bird. *Nature*. 2006;441(7089):81-3. Available from: <https://www.nature.com/articles/nature04539>.
52. Culp LA, Cohen EB, Scarpignato AL, Thogmartin WE, Marra PP. Full annual cycle climate change vulnerability assessment for migratory birds. *Ecosphere*. 2017;8(3):e01565. Available from: <https://doi.org/10.1002/ecs2.1565>.
53. Watts MJ, i Monteys VS, Mortyn PG, Kotsila P. The rise of West Nile Virus in Southern and Southeastern Europe: a spatial–temporal analysis investigating the combined effects of climate, land use



- and economic changes. *One Health*. 2021;13:100315. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2021.100315>.
54. Hahn MB, Monaghan AJ, Hayden MH, Eisen RJ, Delorey MJ, Lindsey NP, et al. Meteorological conditions associated with increased incidence of West Nile virus disease in the United States, 2004–2012. *Am J Trop Med*. 2015;92(5):1013. Available from: <https://doi.org/10.4269%2Fajtmh.14-0737>.
55. Rios M. Climate change and vector-borne viral diseases potentially transmitted by transfusion. *ISBT Sci Ser*. 2009;4(1):87-94. Available from: <https://doi.org/10.1098%2Ffrstb.2013.0552>.
56. Kilpatrick AM, Meola MA, Moudy RM, Kramer LD. Temperature, viral genetics, and the transmission of West Nile virus by *Culex pipiens* mosquitoes. *PLoS Pathog*. 2008;4(6):e1000092. Available from: <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1000092>.
57. Liu Z, Zhang Z, Lai Z, Zhou T, Jia Z, Gu J, et al. Temperature increase enhances *Aedes albopictus* competence to transmit dengue virus. *Front Microbiol*. 2017;8:2337. Available from: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02337>.
58. Epstein PR, Defilippo C. West Nile virus and drought. *Glob Chang Hum Health*. 2001;2(2):105-7. Available from: <http://dx.doi.org/10.1023/A:1015089901425>.
59. Dohm DJ, O'Guinn ML, Turell MJ. Effect of environmental temperature on the ability of *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae) to transmit West Nile virus. *J Med Entomol*. 2002;39(1):221-5. Available from: <https://doi.org/10.1093/jmedent/43.2.309>.
60. Paz S, Albersheim I. Influence of warming tendency on *Culex pipiens* population abundance and on the probability of West Nile Fever outbreaks (Israeli case study: 2001–2005). *Ecohealth*. 2008;5(1):40-8. Available from: <https://doi.org/10.1007/s10393-007-0150-0>.
61. Jia P, Liang L, Tan X, Chen J, Chen X. Potential effects of heat waves on the population dynamics of the dengue mosquito *Aedes albopictus*. *PLoS Negl Trop Dis*. 2019;13(7):e0007528. Available from: <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0007528>.
62. Paz S. The West Nile Virus outbreak in Israel (2000) from a new perspective: the regional impact of climate change. *Int J Environ Res Public Health*. 2006;16(1):1-13. Available from: <https://doi.org/10.1080/09603120500392400>.
63. Paz S, Malkinson D, Green MS, Tsioni G, Papa A, Danis K, et al. Permissive summer temperatures of the 2010 European West Nile fever upsurge. *PLoS ONE*. 2013;8(2):e56398. Available from: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056398>.
64. Reisen WK, Cayan D, Tyree M, Barker CM, Eldridge B, Dettinger M. Impact of climate variation on mosquito abundance in California. *J Vector Ecol*. 2008;33(1):89-98. Available from: [https://doi.org/10.3376/1081-1710\(2008\)33\[89:iocvom\]2.0.co;2](https://doi.org/10.3376/1081-1710(2008)33[89:iocvom]2.0.co;2).
65. Chen C-C, Epp T, Jenkins E, Waldner C, Curry PS, Soos C. Modeling monthly variation of *Culex tarsalis* (Diptera: Culicidae) abundance and West Nile Virus infection rate in the Canadian Prairies. *Int J Environ Res Public Health*. 2013;10(7):3033-51. Available from: <https://doi.org/10.3390%2Fijerph10073033>.
66. Ruiz MO, Chaves LF, Hamer GL, Sun T, Brown WM, Walker ED, et al. Local impact of temperature and precipitation on West Nile virus infection in *Culex* species mosquitoes in northeast Illinois, USA. *Parasit Vectors*. 2010;3(1):1-16. Available from: <https://parasitesandvectors.biomedcentral.com/articles/10.1186/1756-3305-3-19>.
67. Kunkel KE, Novak RJ, Lampman RL, Gu W. Modeling the impact of variable climatic factors on the crossover of *Culex restuans* and *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae), vectors of West Nile virus in Illinois. *Am J Trop Med*. 2006;74(1):168-73. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16407364/>.

68. Soverow JE, Wellenius GA, Fisman DN, Mittleman MA. Infectious disease in a warming world: how weather influenced West Nile Virus in the United States (2001-2005). *Environ Health Perspect.* 2009;117(7):1049-52. Available from: <https://doi.org/10.1289%2Fehp.0800487>.
69. Wang G, Minnis RB, Belant JL, Wax CL. Dry weather induces outbreaks of human West Nile virus infections. *BMC Infect Dis.* 2010;10(1):1-7. Available from: <https://bmcinfectdis.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2334-10-38>.
70. Landesman WJ, Allan BF, Langerhans RB, Knight TM, Chase JM. Inter-annual associations between precipitation and human incidence of West Nile virus in the United States. *Vector Borne Zoonotic Dis.* 2007;7(3):337-43. Available from: <https://doi.org/10.1089/vbz.2006.0590>.
71. Shaman J, Day JF, Komar N. Hydrologic conditions describe West Nile virus risk in Colorado. *Int J Environ Res Public Health.* 2010;7(2):494-508. Available from: <https://doi.org/10.3390/ijerph7020494>.
72. Shaman J, Day JF, Stieglitz M. Drought-induced amplification and epidemic transmission of West Nile virus in southern Florida. *J Med Entomol.* 2005;42(2):134-41. Available from: <https://doi.org/10.1093/jmedent/42.2.134>.
73. Shaman J, Harding K, Campbell SR. Meteorological and hydrological influences on the spatial and temporal prevalence of West Nile virus in *Culex* mosquitoes, Suffolk County, New York. *J Med Entomol.* 2011;48(4):867-75. Available from: <https://doi.org/10.1603/me10269>.
74. Camp JV, Nowotny N. The knowns and unknowns of West Nile virus in Europe: what did we learn from the 2018 outbreak? *Expert Rev Anti Infect Ther.* 2020;18(2):145-54. Available from: <https://doi.org/10.1080/14787210.2020.1713751>.
75. Marcantonio M, Rizzoli A, Metz M, Rosà R, Marini G, Chadwick E, et al. Identifying the environmental conditions favouring West Nile virus outbreaks in Europe. *PLoS ONE.* 2015;10(3):e0121158. Available from: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0121158>.
76. Skaff NK, Cheruvilil KS. Fine-scale wetland features mediate vector and climate-dependent macroscale patterns in human West Nile virus incidence. *Landsc.* 2016;31(7):1615-28. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10980-016-0346-1>.
77. Johnson BJ, Munafa K, Shappell L, Tsipoura N, Robson M, Ehrenfeld J, et al. The roles of mosquito and bird communities on the prevalence of West Nile virus in urban wetland and residential habitats. *Urban Ecosyst.* 2012;15(3):513-31. Available from: <https://doi.org/10.1007%2Fs11252-012-0248-1>.
78. Kim EJ. The impacts of climate change on human health in the United States: A scientific assessment, by us global change research program. *J Am Plann Assoc.* 2016;82(4):418-9. Available from: [https://health2016.globalchange.gov/low/ClimateHealth2016\\_FullReport\\_small.pdf](https://health2016.globalchange.gov/low/ClimateHealth2016_FullReport_small.pdf).
79. Ezenwa VO, Milheim LE, Coffey MF, Godsey MS, King RJ, Guptill SC. Land cover variation and West Nile virus prevalence: patterns, processes, and implications for disease control. *Vector Borne Zoonotic Dis.* 2007;7(2):173-80. Available from: <https://doi.org/10.1089/vbz.2006.0584>.
80. Geery P, Holub R. Seasonal abundance and control of *Culex* spp. in catch basins in Illinois. *J Am Mosq Control Assoc.* 1989;5(4):537-40. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2614404/>.
81. Reisen W. Ecology of West Nile virus in North America. *Viruses.* 2013;5:2079–105. Available from: <https://doi.org/10.3390%2Fv5092079>.
82. Johnson BJ, Fonseca DM. The effects of forced-egg retention on the blood-feeding behavior and reproductive potential of *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae). *J Insect Physiol.* 2014;66:53-8. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2014.05.014>.

83. Wimberly MC, Hildreth MB, Boyte SP, Lindquist E, Kightlinger L. Ecological niche of the 2003 West Nile virus epidemic in the northern Great Plains of the United States. *PLoS ONE*. 2008;3(12):e3744. Available from: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0003744>.
84. Vitek CJ, Livdahl T. Hatch plasticity in response to varied inundation frequency in *Aedes albopictus*. *J Med Entomol*. 2009;46(4):766-71. Available from: <https://doi.org/10.1603/033.046.0406>.
85. Benelli G, Wilke AB, Beier JC. *Aedes albopictus* (Asian tiger mosquito). *Trends Parasitol*. 2020. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.pt.2020.01.001>.
86. Albright TP, Pidgeon AM, Rittenhouse CD, Clayton MK, Flather CH, Culbert PD, et al. Effects of drought on avian community structure. *Global Change Biology*. 2010;16(8):2158-70. Available from: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02120.x>.
87. Shaman J, Day JF, Stieglitz M. Drought-induced amplification of Saint Louis encephalitis virus, Florida. *Emerg Infect Dis*. 2002;8(6):575. Available from: <https://doi.org/10.3201%2F0806.010417>.
88. Day JF, Curtis GA, Edman JD. Rainfall-directed oviposition behavior of *Culex nigripalpus* (Diptera: Culicidae) and its influence on St. Louis encephalitis virus transmission in Indian River County, Florida. *J Med Entomol*. 1990;27(1):43-50. Available from: <https://doi.org/10.1093/jmedent/27.1.43>.
89. Shaman J, Day JF. Reproductive phase locking of mosquito populations in response to rainfall frequency. *PLoS ONE*. 2007;2(3):e331. Available from: <https://doi.org/10.1371%2Fjournal.pone.0000331>.
90. Shand L, Brown WM, Chaves LF, Goldberg TL, Hamer GL, Haramis L, et al. Predicting West Nile virus infection risk from the synergistic effects of rainfall and temperature. *J Med Entomol*. 2016;53(4):935-44. Available from: <https://doi.org/10.1093/jme/tjw042>.
91. Chuang T-W, Hildreth MB, Vanroekel DL, Wimberly MC. Weather and land cover influences on mosquito populations in Sioux Falls, South Dakota. *J Med Entomol*. 2011;48(3):669-79. Available from: <https://doi.org/10.1603/me10246>.
92. Beard CB, Eisen RJ, Barker C, Garofalo J, Hahn M, Hayden M, et al. Ch. 5: vectorborne diseases: US Global Change Research Program, Washington, DC; 2016. Available from: <https://health2016.globalchange.gov/vectorborne-diseases>.
93. Jones CE, Lounibos LP, Marra PP, Kilpatrick AM. Rainfall influences survival of *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae) in a residential neighborhood in the mid-Atlantic United States. *J Med Entomol*. 2012;49(3):467-73. Available from: <https://doi.org/10.1603/me11191>.
94. Crowder DW, Dykstra EA, Brauner JM, Duffy A, Reed C, Martin E, et al. West Nile virus prevalence across landscapes is mediated by local effects of agriculture on vector and host communities. *PLoS ONE*. 2013;8(1):e55006. Available from: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0055006>.
95. Chen C-C, Epp T, Jenkins E, Waldner C, Curry PS, Soos C. Predicting weekly variation of *Culex tarsalis* (Diptera: Culicidae) West Nile virus infection in a newly endemic region, the Canadian prairies. *J Med Entomol*. 2014;49(5):1144-53. Available from: <https://doi.org/10.1603/me11221>.
96. Association AMC. Best practices for integrated mosquito management: a focused update. Sacramento, California, USA. 2017.
97. Health Canada. Mosquito-borne diseases national surveillance report. Ottawa, ON: Government of Canada [updated 25 Feb 2022; accessed Oct 31, 2022]; Available from: <https://www.canada.ca/en/public-health/services/diseases/west-nile-virus/west-nile-virus-other-mosquito-borne-disease.html>.
98. Sarkar A. Study of distribution of invasive mosquitoes in NL & St. Pierre/Miquelon: a citizen science approach [Webinar]. Ottawa, ON: Canadian Public Health Association 2021. Available from: <https://www.youtube.com/watch?v=O-ouRy7biCQ>.



99. Swan T, Russell TL, Staunton KM, Field MA, Ritchie SA, Burkot TR. A literature review of dispersal pathways of *Aedes albopictus* across different spatial scales: implications for vector surveillance. *Parasit Vectors*. 2022;15(1):1-13. Available from: <https://doi.org/10.1186/s13071-022-05413-5>.
100. Paz S. Effects of climate change on vector-borne diseases: an updated focus on West Nile virus in humans. *Emerg Topics Life Sci*. 2019;3(2):143-52. Available from: <https://doi.org/10.1042/etls20180124>.
101. Nakicenovic N, Alcamo J, Davis G, Vries Bd, Fenhann J, Gaffin S, et al. Special report on emissions scenarios. 2000. Available from: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/sres-en.pdf>.
102. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2014: Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland 2014. Available from: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf).



# Annexe A

**Scénarios d'émissions :** Trajectoires futures possibles des émissions de gaz à effet de serre, élaborées par le GIEC en 2000<sup>101</sup>. Les scénarios relèvent de quatre familles (A1, A2, B1 et B2) et de six groupes de scénarios.

**Famille A1 :** La famille et les groupes de scénarios A1 « décrivent un monde futur dans lequel la croissance économique sera très rapide, la population mondiale atteindra un maximum au milieu du siècle pour décliner ensuite et de nouvelles technologies plus efficaces seront introduites rapidement. Les principaux thèmes sous-jacents sont la convergence entre régions, le renforcement des capacités et des interactions culturelles et sociales accrues, avec une réduction substantielle des différences régionales dans le revenu par habitant. La famille de scénarios A1 se scinde en trois groupes qui décrivent des directions possibles de l'évolution technologique dans le système énergétique<sup>101</sup>. »

- Le scénario **A1F1** décrit un futur avec une utilisation intense des combustibles fossiles.
- Le scénario **A1B** décrit un futur où les combustibles fossiles et non fossiles sont en situation d'équilibre.
- Le scénario **A1T** décrit un futur où les combustibles non fossiles prédominent.

**Famille A2 :** La famille A2 décrit « un monde très hétérogène. Le thème sous-jacent est l'autosuffisance et la préservation des identités locales. Les schémas de fécondité entre régions convergent très lentement, avec pour résultat un accroissement continu de la population mondiale. Le développement économique a une orientation principalement régionale, et la croissance économique par habitant et l'évolution technologique sont plus fragmentées et plus lentes que dans les autres familles<sup>101</sup>. » La famille **A2** comporte seulement le scénario du même nom.

**Famille B1 :** La famille et les groupes de scénarios B1 décrivent « un monde convergent avec la même population mondiale culminant au milieu du siècle et déclinant ensuite, comme dans la famille A1, mais avec des changements rapides dans les structures économiques vers une économie de services et d'information, avec des réductions dans l'intensité des matériaux et l'introduction de technologies propres et utilisant les ressources de manière efficiente. L'accent est sur des solutions mondiales orientées vers une viabilité économique, sociale et environnementale, y compris une meilleure équité, mais sans initiatives supplémentaires pour gérer le climat<sup>101</sup>. » La famille **B1** comporte seulement le scénario du même nom.

**Famille B2 :** La famille et les groupes de scénarios B2 décrivent « un monde où l'accent est mis sur des solutions locales dans le sens de la viabilité économique, sociale et environnementale. La population mondiale s'accroît de manière continue mais à un rythme plus faible que dans A2, il y a des niveaux intermédiaires de développement économique et l'évolution technologique est moins rapide et plus

diverse que dans les familles et les groupes de scénarios B1 et A1. Les scénarios sont également orientés vers la protection de l'environnement et l'équité sociale, mais ils sont axés sur des niveaux locaux et régionaux<sup>101</sup>. » La famille **B2** comporte seulement le scénario du même nom.

Toutes les familles et tous les groupes de scénarios sont également valides, sans probabilités de concrétisation attribuées.

**Trajectoires représentatives de concentration (RCP) :** Trajectoires de concentrations des gaz à effet de serre adoptées en 2014 par le GIEC pour la recherche sur le climat dans le domaine de la modélisation<sup>102</sup>. Il existe quatre profils représentant différents futurs pour le climat : RCP2,6, RCP4,5, RCP6 et RCP8,5. Les chiffres représentent le forçage radiatif (déséquilibres énergétiques globaux), mesuré en watts par mètre carré ( $W/m^2$ ) pour l'année 2100.

**RCP2,6 :** Le GIEC décrit cette trajectoire comme un scénario à faibles émissions, caractérisé par des mesures d'atténuation actives, où les émissions atteignent un pic en 2020 avant de diminuer. Le forçage radiatif atteindrait environ  $3 W/m^2$  en 2050 avant de redescendre à  $2,6 W/m^2$  vers 2100. Selon les projections, l'augmentation de la température de la planète pour RCP2,6 devrait être comprise entre  $0,3^{\circ}C$  et  $1,7^{\circ}C$  vers 2100.

**RCP4,5 :** Le GIEC décrit cette trajectoire comme un scénario à émissions intermédiaires, où les émissions atteignent un pic en 2040 avant de diminuer. Le forçage radiatif se stabiliserait à environ  $4,5 W/m^2$  après 2100. Selon les projections, l'augmentation de la température de la planète pour RCP4,5 devrait être comprise entre  $1,1^{\circ}C$  et  $2,6^{\circ}C$  vers 2100.

**RCP6 :** Le GIEC décrit cette trajectoire comme un scénario à émissions intermédiaires, où les émissions atteignent un pic en 2080 avant de diminuer. Le forçage radiatif se stabiliserait à environ  $6 W/m^2$  après 2100. Selon les projections, l'augmentation de la température de la planète pour RCP6 devrait être comprise entre  $1,4^{\circ}C$  et  $3,1^{\circ}C$  vers 2100.

**RCP8,5 :** Le GIEC décrit cette trajectoire comme un scénario à émissions élevées, où les émissions continuent d'augmenter pendant tout le 21<sup>e</sup> siècle. Cela représente un accroissement du forçage radiatif à environ  $8,5 W/m^2$  vers 2100. Selon les projections, l'augmentation de la température de la planète pour RCP8,5 devrait être comprise entre  $2,6^{\circ}C$  et  $4,8^{\circ}C$  vers 2100.

**Tableau A1. Scénarios climatiques utilisés dans chaque étude**

Étude	Modèles de circulation générale ou régionale	Scénarios d'émissions	Trajectoires représentatives de concentration
17	NCAR-PCM MIMR UKMO-HadGEM1	A2 B1	--
18	CGCM3 CCSM3.0	A2 B1	--
19	CRCM4.2.3 CRCM5 CanRCM4 HIRHAM5 RCA4-v1 RegCM3 ECPC MM5I WRF	A2	RCP 8,5 RCP 8,5
20	CanRCM4-CanESM2 CRCM5-CanESM2 CRCM5-MPI-ESM-LR HIRHAM5-EC-EARTH	--	RCP4,5 RCP8,5
21	BCCR-BCM 2.0 CSIRO-MK 3.0 CSIRO-MK 3.5 INM-CM 3.0 MIROC résolution moyenne NCAR-CCSM 3.0	A2 B1 A1B	--

## Comment citer ce document

**ISBN : 978-1-988234-69-4**

**Pour citer ce document** : Rosenkrantz, L. Centre de collaboration nationale en santé environnementale (CCNSE). *Répercussions du changement climatique au Canada sur les vecteurs du virus du Nil occidental*. Vancouver (Colombie-Britannique). CCNSE. Novembre 2022.

*Il est permis de reproduire le présent document en entier seulement. La production de ce document a été rendue possible grâce à une contribution financière provenant de l'Agence de la santé publique du Canada par l'intermédiaire du Centre de collaboration nationale en santé environnementale.*