



Évaluation de l'émergence possible du virus Chikungunya et du risque de transmission vectorielle au Québec

Évaluation de l'émergence possible du virus Chikungunya et du risque de transmission vectorielle au Québec

AVIS SCIENTIFIQUE

Direction des risques biologiques et de la santé au travail

Laboratoire de santé publique du Québec

Direction de la santé environnementale et de la toxicologie

Décembre 2014

RÉDACTRICE

Chardé Morgan, M. Sc.

Direction des risques biologiques et de la santé au travail, Institut national de santé publique du Québec

AUTEURS

Chardé Morgan, M. Sc.

Direction des risques biologiques et de la santé au travail, Institut national de santé publique du Québec

Christian Back, M. Sc.

Consultant en entomologie médicale, Institut national de santé publique du Québec

Christian Therrien, Ph. D.

Laboratoire de santé publique du Québec, Institut national de santé publique du Québec

Onil Samuel, M. Sc.

Direction de la santé environnementale et de la toxicologie, Institut national de santé publique du Québec

SOUS LA COORDINATION DE

Anne Fortin, M.D., M. Sc.

Direction des risques biologiques et de la santé au travail, Institut national de santé publique du Québec

REMERCIEMENTS

Gilles Delage, M.D.

Affaires médicales en microbiologie, Héma-Québec

Mirna Panic, M. Sc.

Direction des risques biologiques et de la santé au travail, Institut national de santé publique du Québec

Ariane Adam-Poupart, Ph. D.

Direction des risques biologiques et de la santé au travail, Institut national de santé publique du Québec

MISE EN PAGES

Murielle St-Onge, agente administrative

Direction des risques biologiques et de la santé au travail, Institut national de santé publique du Québec

Cet avis a été commandé par le ministère de la Santé et des Services sociaux.

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

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

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

DÉPÔT LÉGAL – 2^e TRIMESTRE 2015

BIBLIOTHÈQUE ET ARCHIVES NATIONALES DU QUÉBEC

BIBLIOTHÈQUE ET ARCHIVES CANADA

ISBN : 978-2-550-72821-4 (PDF)

©Gouvernement du Québec (2015)

Table des matières

Liste des tableaux.....	III
Liste des figures.....	III
Glossaire.....	V
Liste des sigles et acronymes.....	VII
Messages clés.....	1
Sommaire.....	3
1 Introduction.....	5
2 Méthodologie.....	7
2.1 Recherche documentaire.....	7
2.2 Consultation d'experts.....	7
2.3 Évaluation de risque.....	8
3 Maladie du virus Chikungunya.....	13
3.1 Caractéristiques du virus.....	13
3.2 Tests de laboratoire et définition des cas.....	14
3.3 Symptômes.....	15
3.4 Traitement.....	17
3.5 Prévention.....	18
4 Les vecteurs.....	17
4.1 Entomologie.....	17
4.2 Compétence vectorielle.....	18
4.3 Répartition actuelle.....	19
5 Épidémiologie.....	19
5.1 Histoire.....	19
5.2 Expansion.....	19
5.3 Passage dans les Amériques.....	19
6 Risque au Québec.....	25
6.1 Risque d'introduction du vecteur au Québec.....	25
6.2 Risque d'introduction du virus au Québec.....	25
6.3 Probabilité de survie des vecteurs au Québec.....	27
6.4 Impacts des changements climatiques sur la survie des vecteurs.....	32
6.5 Limites de la connaissance.....	33
7 Recommandations.....	31
Références.....	33
Annexe 1 Demande d'avis scientifique.....	41

Liste des tableaux

Tableau 1	La fréquence des symptômes aigus du virus Chikungunya	16
Tableau 2	Comparaison des éléments cliniques et biologiques des virus Chikungunya et de la dengue	17

Liste des figures

Figure 1	Les moustiques <i>Ae. Aegypti</i> (gauche) et <i>Ae. albopictus</i> (droit)	17
Figure 2	Distribution approximative d' <i>Ae. aegypti</i> et <i>Ae. albopictus</i> dans les Amériques	19
Figure 3	Pays et territoires où des cas d'infection par le virus Chikungunya transmis localement ont été déclarés (18 novembre 2014).....	20
Figure 4	Volume des passagers du transport aérien de zones indigènes pour le virus Chikungunya provenant des Caraïbes et allant aux États-Unis et au Canada pour le mois de juillet.....	26
Figure 5	Données météorologiques mensuelles à l'aéroport international Pierre-Elliott-Trudeau à Montréal, 2010-2013.....	27
Figure 6	Tolérance aux températures ambiantes d' <i>Ae. aegypti</i>	28
Figure 7	Répartition prévue et propagation de l' <i>Ae. albopictus</i> dans la zone continentale des États-Unis	30
Figure 8	Tolérance aux températures ambiantes d' <i>Ae. albopictus</i>	30
Figure 9	Changement de température prévue en scénario RCP 4.5 (50 ^e percentile), de 1986-2005 à 2046-2065, décembre à février	32

Glossaire

Acclimatation : Le fait de s'adapter à un changement durable de son environnement. L'acclimatation se déroule sur une période égale à la durée de vie de l'organisme, ce qui la différencie de l'adaptation évolutive.

Adulticide : Un insecticide ayant la propriété de tuer les moustiques au stade adulte.

Amplicon : Un fragment d'acide désoxyribonucléique amplifié par réaction en chaîne par polymérase.

Compétence vectorielle : La capacité d'un insecte à devenir infecté et à transmettre un pathogène.

Diapause : Une phase génétiquement déterminée à laquelle des arthropodes entrent en phase de sommeil, résistant au froid, en réaction à des stimuli environnementaux qui donnent des indications sur l'imminence de mauvaises conditions. La diapause se termine après une période d'exposition prédéterminée ou l'apparition de marqueurs associés à l'amélioration des conditions de l'environnement[1].

Enzootique (transmission) : Transmission d'une maladie entre l'hôte-réservoir (l'humain) et le vecteur (le moustique).

Hiverner : Une période d'activité ralentie durant la saison hivernale.

Larvicide : Un insecticide ayant la propriété de tuer les moustiques au stade larvaire.

Niveau de confinement 3 : Dans les installations de niveau de confinement 3, la biosécurité et la biosûreté sont assurées grâce à des exigences détaillées portant sur les pratiques opérationnelles et le confinement physique. Le niveau de confinement 3 exige des normes de conception de l'installation et des mesures de contrôle techniques rigoureuses (p. ex. courant d'air vers l'intérieur, filtres HEPA pour traiter l'air évacué) ainsi que de l'équipement de biosécurité spécialisé (p. ex. ESB, centrifugeuses à rotors scellés) afin de réduire le plus possible la libération d'agents infectieux dans les espaces de travail en laboratoire adjacents, les salles animalières ou les box et l'environnement. Le niveau de confinement 3 exige des pratiques opérationnelles de haut niveau qui se fondent sur celles requises au niveau de confinement 2 (p. ex. utilisation d'EPI, pratiques de travail) et les dépassent[2].

Sylvatique (transmission) : Le cycle de transmission d'un pathogène qui s'exerce ou qui a un effet sur les animaux sauvages.

Tolérance vectorielle : La capacité d'un vecteur de survivre (tolérer) à des conditions environnementales.

Transmission autochtone : Transmission locale d'un pathogène; c'est-à-dire une infection acquise sur place et non importée.

Transmission verticale : Transmission d'un pathogène de l'adulte à ses œufs.

Overwinter : Voir « hiverner ».

Période d'incubation : Le temps qui s'écoule entre l'infection par un pathogène et l'apparition des premiers symptômes.

Virémique : La présence du virus dans le sang.

Liste des sigles et acronymes

ASPC	Agence de la santé publique du Canada
Ae.	<i>Aedes</i>
ARN	Acide ribonucléique
ASSS	Agence de la santé et des services sociaux
BSL-3	Biosécurité de niveau 3
CDC	Centers for Disease Control and Prevention des États-Unis
CHIK	Chikungunya
DEET	N, N-diéthyl-m-toluamide
ECDC	European Centre for Disease Prevention and Control
ELISA ou EIA	Essai immuno enzymatique (<i>Enzyme-linked immunosorbent assay</i>)
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
IgG	Immunoglobuline G
IgM	Immunoglobuline M
INSPQ	Institut national de santé publique du Québec
LCR	Liquide céphalorachidien
MAC-EIA	Essai immuno enzymatique de type micro capture
MSSS	Ministère de la Santé et des Services sociaux
OMS	Organisation mondiale de la Santé
OPS	Organisation Panaméricaine de la Santé
PRNT	Test de séroneutralisation des plages de lyse (<i>Plaque Reduction Neutralization Test</i>)
PCR	Réaction en chaîne par polymérase (<i>Polymerase chain reaction</i>)
RCP	<i>Representative Concentration Pathways</i>
RT-PCR	Technique de transcription inverse suivi d'une réaction en chaîne par polymérase (<i>Reverse transcription PCR</i>)
TAAN	Test d'amplification des acides nucléiques

Messages clés

- Le virus Chikungunya (CHIK) est un arbovirus transmis aux humains par la piqûre des moustiques *Ae. aegypti* et *Ae. albopictus*, les mêmes espèces qui sont impliquées dans la transmission des virus de la dengue, de la fièvre jaune, et du Nil occidental, entre autres.
- Les principaux symptômes de l'infection par le virus CHIK sont la fièvre aiguë et des arthralgies sévères. Les symptômes articulaires peuvent persister pendant des mois ou des années. La majorité des cas sont symptomatiques.
- Le premier cas de transmission autochtone du virus CHIK dans les Amériques a été déclaré dans les Caraïbes sur l'île de Saint-Martin en décembre 2013 et aux États-Unis en Floride en juillet 2014.
- L'exposition à des moustiques infectés est le principal facteur de risque d'infection dans les régions endémiques. La protection personnelle est le moyen de prévention primaire.
- Compte tenu du nombre important de voyageurs canadiens qui visitent les nouveaux pays endémiques dans les Amériques, il faut s'attendre à une augmentation du nombre de cas d'infection importés. Au Québec, 62 cas importés ont été confirmés en date du 22 octobre 2014. Un haut degré de vigilance vis-à-vis les cas importés des virus CHIK et de la dengue est recommandé, y compris la sensibilisation des cliniciens et des cliniques santé-voyage. Les autorités de sûreté du sang (Héma-Québec) doivent être attentives.
- Le risque de transmission autochtone est relié à l'importation du virus par des patients virémiques dans les régions qui présentent des vecteurs compétents. Considérant les conditions climatiques du Québec actuellement, le risque d'établissement des principaux vecteurs du virus CHIK est très faible pour la prochaine décennie.
- Étant donné les prévisions du changement climatique au Québec à long terme, et les possibilités d'acclimatation de l'espèce vectorielle *Ae. Albopictus*, l'aire de répartition pourrait s'étendre aussi loin qu'au nord de la frontière québécoise.
- Les voyageurs en provenance des régions affectées doivent utiliser les mesures de protection personnelle afin de prévenir les piqûres et consulter un médecin lorsque les symptômes de la maladie se présentent. Ces mesures permettront de réduire le risque d'introduction du virus dans la population de moustiques au Canada et de limiter la mise en place d'un cycle de transmission locale pendant la saison estivale.
- Dans cet avis, l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) fait six recommandations, dont l'élaboration d'un plan de surveillance humaine et entomologique, le transfert des connaissances aux professionnels de la santé et aux voyageurs ainsi que l'intégration de la stratégie de lutte contre les moustiques vectoriels dans une perspective globale de lutte contre les maladies vectorielles émergentes et d'adaptation aux changements climatiques.

Sommaire

Contexte

Le virus CHIK est un arbovirus transmis d'un être humain à l'autre par la piqûre d'un moustique femelle infecté. L'infection par ce virus cause de la fièvre aiguë, des polyarthralgies, des myalgies et, occasionnellement, des éruptions cutanées. La majorité des patients auront des symptômes articulaires graves et invalidants, et une partie de ceux-ci développeront des symptômes chroniques qui entraînent une diminution de la qualité de vie pendant des mois, voire des années suivant la phase aiguë de la maladie.

Les deux principaux vecteurs du virus CHIK sont les moustiques *Ae. aegypti* et *Ae. albopictus*. Ces moustiques sont établis dans les régions tropicales et tempérées du globe. Aux États-Unis, la répartition géographique d'*Ae. aegypti* se situe au sud, tandis que le territoire actuel d'*Ae. albopictus* atteint le New Jersey et la ville métropolitaine de New York. Le premier cas de transmission autochtone du virus CHIK a été déclaré sur l'île de Saint-Martin dans les Caraïbes en décembre 2013 et aux États-Unis en Floride en juillet 2014. Depuis son introduction dans les Amériques, près d'un million de cas d'infection par le virus CHIK ont été, et ce en moins d'un an. Au Québec, 62 cas importés ont été confirmés en date du 22 octobre 2014.

Objectif

Évaluation du risque d'implantation des moustiques vecteurs et de l'émergence du virus CHIK au Québec.

Méthodologie

Une revue de la littérature scientifique à propos des données épidémiologiques des pays affectés et des données entomologiques disponibles sur les principaux vecteurs a été faite. La littérature grise (rapports gouvernementaux et d'instances de santé publique) a également été revue. Des experts ont été consultés sur une base ponctuelle en lien avec des problématiques spécifiques. Les caractéristiques entomologiques et la répartition actuelle des moustiques vecteurs ont été discutées. Une analyse des données à propos du transport aérien et les importations de marchandises a été réalisée pour évaluer la probabilité d'introduction de ces vecteurs au Québec. Par ailleurs, la probabilité de survie de ces vecteurs à Montréal a été estimée en considérant les données sur la température et la tolérance des moustiques aux hivers québécois, et ce tant pour les conditions actuelles que pour un scénario éventuel de changements climatiques.

Résultats

Le retour de voyageurs infectés et l'importation de moustiques vecteurs adultes ou de marchandises infestées avec des œufs de moustiques par différents moyens de transport sont des facteurs pouvant contribuer à l'établissement d'un cycle de transmission locale du virus CHIK au Québec. Contrairement aux œufs d'*Ae. aegypti* qui mourront une fois exposés à des températures inférieures à 10 °C, les œufs de d'*Ae. albopictus* peuvent passer en mode diapause pour hiverner, ce qui facilite leur survie dans les climats plus tempérés. Les œufs d'*Ae. albopictus* peuvent survivre à des températures moyennes hivernales de -5 °C. Toutefois, sur la majorité du territoire du Québec, les températures moyennes annuelles (avec comme exception certaines régions frontalières avec les États-Unis) sont en deçà de ce seuil. Par exemple, à Montréal, la température moyenne pour les mois

les plus froids (décembre, janvier et février) de 2010 à 2013 était de -6 °C, avec des températures minimales pouvant atteindre -27 °C. Par conséquent, les froids hivernaux canadiens réduisent et même éliminent la probabilité de survie des deux principaux moustiques vecteurs. Cependant, les changements climatiques et la capacité d'acclimatation du vecteur associés pourraient moduler le risque d'établissement d'*Ae. albopictus* dans les années à venir. Entre-temps, une augmentation des cas d'infection par le virus CHIK importés est prévisible. Toutefois, sans une population de vecteurs établie, la transmission locale (endémique) est actuellement improbable au Québec.

Recommandations

1. Mettre à jour et intensifier des messages de protection personnelle à l'intention des voyageurs quant au risque d'infection par le virus CHIK et par le virus de la dengue.
2. Renseigner les médecins et les professionnels de la santé sur les connaissances relatives à l'infection par le virus CHIK et le virus de la dengue et souligner l'importance de réaliser des tests de détection chez les patients symptomatiques ayant récemment voyagé dans les régions endémiques pour ces deux virus.
3. Ajouter l'infection par le virus CHIK et par le virus de la dengue à la liste des maladies à déclaration obligatoire et faire la surveillance humaine des cas par les médecins et les laboratoires dans le but de mieux suivre l'évolution dans le temps de ces deux maladies vectorielles.
4. Élaborer un plan de surveillance entomologique à long terme et un plan de contingence pour la présence au Québec de vecteurs exotiques invasifs.
5. Évaluer le risque transfusionnel relié aux donneurs ayant voyagé récemment dans une zone à risque et prendre les mesures nécessaires si approprié.
6. Intégrer la stratégie de lutte contre les moustiques vectoriels invasifs dans une perspective globale de lutte contre les maladies vectorielles émergentes et d'adaptation aux changements climatiques.

1 Introduction

Le virus CHIK est un arbovirus transmis par les moustiques qui provoque de la fièvre et des arthralgies sévères. Bien qu'il ne cause pas un taux de mortalité élevé, il est associé à un haut taux de morbidité, principalement lié à des arthralgies persistantes[3-8]. La maladie peut être responsable d'invalidité et peut entraîner une réduction considérable de la productivité[9].

Le virus est transmis aux humains par la piqûre d'*Ae. albopictus* et *Ae. aegypti*, les mêmes espèces de moustiques qui transmettent les virus de la dengue, de la fièvre jaune et du Nil occidental, entre autres. Depuis 2004, le virus CHIK a été à l'origine de vastes épidémies de la fièvre du virus partout dans le monde, et ce dans des régions où il était auparavant absent[10-12].

En décembre 2013, le virus CHIK a été transmis localement pour la première fois dans les Amériques sur l'île de Saint-Martin dans les Caraïbes. La maladie s'est rapidement propagée dans plusieurs pays d'Amérique. En date du 21 novembre 2014, des transmissions locales ont été identifiées dans 39 pays ou territoires de l'hémisphère occidental; soit un total de 914 960 cas suspectés et 18 142 cas confirmés en laboratoire, incluant 11 cas aux États-Unis[13,14]. Des cas importés ont été déclarés au Canada et au Québec.

Dans ce contexte, l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) s'est vu confier le mandat de produire un avis scientifique pour le ministère de la Santé et des Services sociaux (MSSS) afin d'évaluer le risque d'émergence du virus CHIK au Québec ainsi que le risque de sa transmission vectorielle au cours des prochaines années.

Cet avis aborde les aspects cliniques et épidémiologiques du virus CHIK ainsi que l'évaluation du risque d'implantation des moustiques vecteurs et de l'émergence des virus transmis par *Ae. albopictus* et *Ae. aegypti* au Québec.

2 Méthodologie

L'INSPQ a réalisé une évaluation de l'émergence possible du virus CHIK au Québec et du risque de sa transmission vectorielle. Dans le but de réaliser ce mandat, une recherche documentaire et des consultations d'experts ont été effectuées.

2.1 Recherche documentaire

Afin de réaliser la recherche documentaire scientifique, les bases de données de PubMed et de Google Scholar ont été consultées. De plus, divers moteurs de recherche, incluant Google, ont permis de consulter des documents de référence provenant de la littérature grise. Par ailleurs, certains sites Web ciblés d'organisations de santé publique, d'entomologie ou spécialisés sur les changements climatiques ont été consultés. Les recherches incluaient des articles publiés en français et en anglais, entre 1990 et novembre 2014. Les mots-clés utilisés pour la recherche sont des combinaisons des termes suivants : « Chikungunya », « dengue », « *prevention* », « transmission », « *diagnosis* », « *treatment* », « complications », « *chronic* », « *Aedes* », « *albopictus* », « *aegypti* », « *competence* », « distribution », « *range* », « *spread* », « *control* », « *adulticide* », « *larvacide* », « *survival* », « *temperature* », « acclimatation », « *overwinter* », « diapause », « *climate change* ».

Les différents articles et documents de référence, en anglais et en français, ont été répertoriés. Seuls ceux dont le titre ou une partie du titre correspondait au sujet d'intérêt ont été retenus pour une analyse plus approfondie. Selon la pertinence du résumé, l'article complet a été évalué. Cette recherche fut complétée par une révision des bibliographies présentées dans les documents retenus afin d'identifier des sources d'information additionnelles.

Une recherche par mots-clés avec le moteur de recherche Google a été faite afin de suppléer ponctuellement la littérature scientifique. Les sites Web sur les premières pages de résultats ont été examinés en détail, par la suite les résultats ont été examinés en lisant le titre du lien uniquement, jusqu'à ce que plus d'une page complète de résultats ne soit pas pertinente.

Les pages Web de l'Organisation panaméricaine de la santé (OPS), de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) et du Centers for Disease Control and Prevention (CDC) ont été consultées dans le but de répertorier des données épidémiologiques canadiennes et américaines. Le portail d'Environnement Canada a été consulté pour les données météorologiques du Québec.

2.2 Consultation d'experts

Une consultation d'experts de la santé environnementale, de la microbiologie et de l'entomologie a été tenue le 23 septembre 2014 afin de partager des informations sur l'état de l'épidémie dans les Amériques et valider certains résultats initiaux de la revue de la littérature.

Ces experts étaient :

- Christian Back, M. Sc., consultant en entomologie médicale, INSPQ;
- Anne Fortin, M.D., chef d'unité scientifique, Direction des risques biologiques et de la santé au travail, INSPQ;
- Onil Samuel, B. Sc., conseiller scientifique, Direction de la santé environnementale et de la toxicologie, INSPQ;

- Christian Therrien, Ph. D., microbiologiste, Laboratoire de santé publique du Québec, INSPQ.

Le docteur Gilles Delage, vice-président aux affaires médicales en microbiologie d'Héma-Québec, a été consulté le 26 novembre 2014 afin de collaborer à l'élaboration d'une recommandation sur le risque transfusionnel relié aux donneurs de sang.

La version finale de cet avis scientifique a été revue par les experts susmentionnés. Les recommandations émises par l'INSPQ et soutenues par ces experts ont été rédigées au mieux de leur connaissance.

2.3 Évaluation de risque

Dans un premier temps, les données sur les caractéristiques entomologiques et la répartition actuelle des moustiques vecteurs sont présentées. Deuxièmement, la probabilité d'introduction de ces vecteurs au Québec par l'intermédiaire des voyageurs et de l'importation de marchandises a été estimée. La probabilité de survie des moustiques vecteurs dans la région de Montréal a été estimée en considérant les données sur la température et la tolérance vectorielle aux hivers québécois, dans le contexte actuel et selon le scénario RCP 4.5 de changement éventuel des conditions climatiques.

Les résultats de l'évaluation de risque d'émergence et de transmission vectorielle du virus CHIK au Québec découlant de cette démarche sont présentés à la section 6. Les recommandations de l'INSPQ sont présentées à la section 7.

3 Maladie du virus Chikungunya

3.1 Caractéristiques du virus

Le virus CHIK est un arbovirus du genre alphavirus de la famille de Togaviridae. Il s'agit d'un virus enveloppé à ARN de polarité positive. Ce virus a été isolé pour la première fois en 1952 dans le sud de la Tanzanie[6]. Le nom « Chikungunya » provient de la langue Makonde de Tanzanie et signifie « qui se recourbe », une référence aux arthralgies graves qui évoquent la posture adoptée par ceux qui se manifestent avec l'infection. Présentement, trois génotypes sont connus : Africain, ECSA et Asiatique. Le séquençage d'une souche isolée sur les îles vierges britanniques par le CDC américain a révélé un génotype asiatique de la souche. L'analyse phylogénétique de cette souche a indiqué une haute similarité avec des souches circulant aux Philippines et en Chine en 2012[11].

3.1.1 TRANSMISSION

Réservoir

L'humain est le réservoir principal pour le virus CHIK lors des épidémies. En dehors de ces périodes, les principaux réservoirs sont les animaux, tels que les singes, les rats, les chauves-souris et les oiseaux[15,16].

Cycle de transmission

À l'instar du virus de la dengue, le cycle de multiplication du virus CHIK comprend un cycle sylvatique et un cycle urbain.

Le cycle urbain est assuré par une transmission de type moustique-humain-moustique. Les principaux moustiques vecteurs sont *Ae. aegypti* et *Ae. albopictus*. Ces derniers sont également impliqués dans la transmission de plusieurs autres arboviroses, notamment le virus de la dengue, le virus de la fièvre jaune et le virus du Nil occidental[17]. Le risque d'être piqué par ces insectes est plus élevé durant la journée, en particulier le matin et le soir. Le potentiel de transmission endémique est influencé par la présence d'hôtes susceptibles et de vecteurs compétents anthropophages en densité suffisante.

Durant les périodes interépidémiques, le virus est transmis selon un cycle sylvatique entre les moustiques et les primates non humains ou d'autres vertébrés, tels que les rats[15,16,18]. En Afrique, ce cycle sylvestre enzootique est maintenu par des moustiques forestiers du genre *Aedes* (*Ae. furcifer*, *Ae. taylori*, *Ae. luteocephalus*, *Ae. africanus* et *Ae. neoafricanus*)[19].

Modes de transmission

Le virus CHIK est transmis aux humains par la piqure d'un moustique infecté. La transmission d'homme à homme peut aussi survenir par les transfusions de sang, les transplantations de tissus ou d'organes et l'exposition intra-utérine (transmission verticale)[20-22].

Dans son évaluation la plus récente (2014), Héma-Québec a conclu que le risque relié à la transfusion est négligeable (< 1/1 000 000) et aucune mesure spécifique concernant le virus CHIK n'a été adoptée. Toutefois, ce résultat pourrait évoluer si le risque au Québec augmente.

Les risques relatifs à la transmission verticale ont été soulignés à partir des études menées à l'île de La Réunion durant l'épidémie de 2005-2006. Selon les résultats, la probabilité de transmission verticale du virus CHIK était de 50 % quand la mère était virémique au terme de sa grossesse[8,22-24]. La transmission verticale est associée à une morbidité importante.

3.1.2 VIRÉMIE

Suivant une période d'incubation de 3 à 7 jours (étendue sur 1 à 12 jours), les symptômes se manifesteront dans la plupart des cas[25,26]. La phase virémique dure entre 3 et 8 jours après l'apparition des symptômes de l'infection, mais elle peut durer de 2 à 17 jours[27]. Durant la phase virémique, les personnes infectées par le virus CHIK peuvent contribuer à la transmission de la maladie si les moustiques vecteurs sont présents et actifs au même endroit.

3.2 Tests de laboratoire et définition des cas

3.2.1 TESTS DE LABORATOIRE

Lors de la phase virémique, la mise en culture du virus ou la détection de celui-ci par une épreuve TAAN de type RT-PCR sont disponibles. Cependant, la culture du virus est prohibitive et complexe puisqu'il s'agit d'un micro-organisme pathogène nécessitant un laboratoire avec un niveau de confinement de type 3. Les échantillons de plasma sont préférables pour l'analyse RT-PCR. Les échantillons de sérums ou de LCR sont aussi acceptables. Les amplicons générés par une épreuve RT-PCR positive peuvent être séquencés pour déterminer le génotype. Il faut noter que les analyses TAAN ne sont pas utilisées de routine et que les analyses sérologiques sont privilégiées pour le diagnostic de laboratoire.

L'infection par le virus CHIK induit une réponse humorale (IgM) chez le patient qui est détectable environ 4 jours après l'apparition des symptômes. Les anticorps neutralisants incluant les IgG apparaissent généralement environ 7 jours après l'apparition des symptômes. Il est couramment conseillé de prélever un échantillon sanguin en phase aiguë (≤ 4 jours post symptômes) suivi d'un échantillon sanguin prélevé en phase de convalescence (≥ 7 jours post symptômes) chez le patient symptomatique.

L'algorithme d'analyse en vigueur au Canada pour le diagnostic de laboratoire comporte deux tests consécutifs, soit une analyse MAC-EIA pour le dépistage des IgM dirigés contre le virus CHIK suivi d'une épreuve de confirmation de type PRNT pour détecter les anticorps neutralisants. Seuls les échantillons trouvés positifs pour la présence d'IgM au test MAC-EIA sont testés par l'épreuve PRNT. Les échantillons sériques positifs au test PRNT (titre ≥ 20) confirment l'infection par le virus CHIK.

Dans le cas d'un échantillon prélevé en phase aiguë qui est négatif pour la présence des IgM, il est recommandé de prélever un deuxième échantillon sérique pour un test MAC-EIA si la suspicion d'une infection au virus CHIK demeure élevée (portrait clinique compatible et voyage dans une région endémique).

Compte tenu de la cocirculation des virus de la dengue et du virus CHIK dans certaines régions endémiques du globe et de la similarité des symptômes occasionnés par ces virus, il est recommandé de faire des tests sérologiques pour les deux virus si l'historique du voyage l'indique.

3.2.2 DÉFINITION NOSOLOGIQUE

Les CDC et l'OPS ont précisé la définition nosologique suivante pour le virus CHIK :

Cas probable

« Un patient présentant une fièvre aiguë supérieure à 38,5 °C ainsi que des arthralgies ou arthrites n'étant pas liées à d'autres problèmes médicaux, qui réside ou a visité des régions où la maladie est épidémique ou endémique dans les deux semaines précédant l'apparition des symptômes »[28].

Cas confirmé

« Tout cas probable avec un résultat positif par l'un des tests suivants :

- détection des acides nucléiques (RT-PCR);
- isolement viral (en BSL-3);
- détection des IgM (dans un échantillon prélevé en phase aiguë), suivi par un test de neutralisation positive;
- séroconversion (ELISA IgM/IgG) ou augmentation du titre d'anticorps dans les échantillons par neutralisation couplés »[28].

3.3 Symptômes

L'infection au virus CHIK peut être asymptomatique ou peut causer des infections aiguës ou chroniques. Les études de séroprévalence indiquent qu'entre 9 % à 28 % des personnes qui ont des anticorps dirigés contre le virus CHIK ont eu une infection asymptomatique[27,29,30].

Maladie aiguë

Les fréquences des symptômes aigus chez les patients infectés par le virus CHIK sont présentées dans le tableau 1. Les infections aiguës sont souvent caractérisées par l'apparition brutale d'une forte fièvre supérieure à 39 °C et de douleurs articulaires intenses[8]. Les atteintes articulaires se retrouvent principalement au niveau des petites ceintures articulaires, des genoux et, plus rarement, au niveau des articulations des hanches ou des épaules. Des éruptions cutanées apparaissent chez la moitié des patients entre 2 à 5 journées suivant l'apparition de la fièvre[8]. La phase aiguë de la maladie dure entre 3 à 10 jours. Ces symptômes sévères empêchent souvent le patient de participer à des activités quotidiennes, nécessitent souvent des soins médicaux et entraînent souvent une perte de productivité (journées de travail)[9].

Tableau 1 La fréquence des symptômes aigus du virus Chikungunya

Symptôme	Fréquence (% des patients symptomatiques)
Fièvre	76 - 100
Polyarthralgies	71 - 100
Mal de tête	17 - 74
Myalgies	46 - 72
Mal au dos	34 - 50
Nausée	50 - 69
Vomissement	4 - 59
Éruption	28 - 77
Polyarthrite	12 - 32
Conjonctivite	3 - 56

Tableau utilisé avec l'autorisation de l'Organisation panaméricaine de la santé, du Preparedness and Response for Chikungunya Virus: Introduction in the Americas (2011). Source consultée le 17 octobre 2014 de http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=16984&Itemid[25].

Maladie grave et personnes à risque

Les complications graves ne sont pas fréquentes dans la population générale[8,31]. La forme la plus grave de la maladie est rencontrée principalement chez des personnes âgées, des nouveau-nés infectés *in utero* par leurs mères (transmission verticale), et chez ceux qui ont un système immunitaire affaibli[8,32,33]. Dans les études menées à ce jour sur les femmes enceintes, la maladie n'avait ni des effets tératogènes sur le fœtus ni sur l'issue de grossesse[8,34]. Par contre, à partir d'une étude prospective de 22 mois sur l'île de La Réunion, la maladie grave a été observée chez 53 % des nouveau-nés pour les mères infectées au terme de leur grossesse[22]. Chez les adultes, la gravité de la maladie et le risque de décès s'accroissaient avec l'âge du patient[8]. La forme la plus grave de la maladie est caractérisée par des méningo-encéphalites, des atteintes des nerfs périphériques ou la mort[8,22].

Maladie chronique

Suivant les 10 premiers jours de la maladie, la plupart des patients observent une amélioration de leur état de santé et une diminution des douleurs articulaires. Cependant, certains patients progresseront vers une phase chronique, où les signes articulaires peuvent persister pendant des mois ou des années[6]. La fréquence de personnes déclarant une maladie chronique (ceux présentant des symptômes après trois mois) varie considérablement selon les études. À 18 mois suivant les symptômes initiaux, 40 % à 60 % des patients infectés déclarent souffrir d'une maladie chronique[3,6,35]. La plupart des patients ont rapporté des périodes de rechute et des épisodes d'arthrite[5]. De plus, le risque de développer la maladie chronique augmente avec l'âge du patient[32].

3.3.1 COMPARAISON AVEC LE VIRUS DE LA DENGUE

L'infection par le virus CHIK cause des symptômes qui s'apparentent à ceux causés par le virus de la dengue (tableau 2). Par ailleurs, ces virus ont une période d'incubation comparable et sont transmis par les mêmes vecteurs soit *Ae. aegypti* et *Ae. albopictus*. De plus, l'homme est le réservoir principal

dans le cycle urbain de ces deux virus. En effet, des co-infections ont été observées chez certains patients[17,31]. Pour toutes ces raisons, les deux maladies peuvent être confondues[31].

Tableau 2 Comparaison des éléments cliniques et biologiques des virus Chikungunya et de la dengue

Traits cliniques et laboratoires ^A	Chikungunya	Dengue
Fièvre	+++	++
Myalgies	+	++
Polyarthralgies	+++	+/-
Mal de tête	++	++ ^B
Éruption	++	+
Dyscrasie sanguine	+/-	++
Choc	-	+
Leucopénie	++	+++
Neutropénie	+	+++
Lymphopénie	+++	++
Hématocrite élevé	-	++
Thrombocytopénie	+	+++

^A Fréquence des symptômes dans les études où les deux maladies ont été comparées directement entre les patients. +++ = 70-100 % des patients; ++ = 40-69 %; + = 10-39 %; +/- < 10 %; - = 0 %.

^B Souvent rétro-orbitaire.

Tableau utilisé avec l'autorisation de l'Organisation panaméricaine de la santé, du Preparedness and Response for Chikungunya Virus: Introduction in the Americas (2011). Source consultée le 17 octobre 2014 de http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=16984&Itemid[25].

Selon le portrait clinique différentiel présenté dans le tableau 2, les douleurs articulaires causées par le virus CHIK sont plus prononcées et fréquentes que dans les cas de maladie causés par le virus de la dengue[17]. Dans les cas d'infection par le virus CHIK, les hémorragies graves sont rarement observées, et l'apparition et la durée de la fièvre aiguë s'échelonnent sur une période beaucoup plus courte[25]. L'infection par le virus de la dengue est plus souvent fatale et elle est donc considérée plus grave que l'infection par le virus CHIK. Il est important de noter que le virus de la dengue est endémique dans certains États au sud des États-Unis. Les experts s'accordent pour dire que l'épidémiologie de ces deux arboviroses pourrait progresser de façon similaire.

3.4 Traitement

Il n'existe pas de traitement curatif pour les infections au virus CHIK, mais certaines thérapies permettent de traiter les symptômes. Ces thérapies sont recommandées suite à l'exclusion diagnostique des conditions plus graves comme le paludisme, le virus de la dengue et les infections bactériennes[25]. Le traitement a comme objectif d'atténuer les symptômes, en contrôlant la fièvre avec des antipyrétiques, en soulageant la douleur avec des antalgiques et de maintenir un apport hydrique adéquat[31]. Les traitements n'ont cependant aucun effet sur le risque d'évolution à un stade chronique[32].

3.5 Prévention

La guérison de l'infection entraîne une immunité à vie, et ce, même d'une souche à l'autre [17,33]. Cependant, il n'existe aucun vaccin contre le virus CHIK pour des populations n'ayant pas été précédemment exposées[33].

Par conséquent, la protection personnelle et la lutte anti-vectorielle sont les principaux moyens de prévention disponibles.

À l'échelle individuelle et pour ceux qui voyagent dans des zones à risque, il s'agit de renforcer les messages de prévention personnelle, par exemple de limiter l'exposition aux moustiques[31,32,36] :

- porter des vêtements longs couvrant le corps au maximum (à manches longues et des pantalons);
- appliquer des répulsifs d'insectes (contenant les principes actifs du DEET, de l'icaridine, ou de l'IR3535) sur les parties exposées ou sur les vêtements;
- utiliser la climatisation et vérifier que les fenêtres et les portes soient équipées de moustiquaires qui empêchent les moustiques d'y pénétrer; et
- vider l'eau stagnante dans les contenants ouverts en plein air.

Collectivement, une lutte anti-vectorielle à large échelle consiste à :

- appliquer des insecticides visant à enrayer l'établissement du vecteur ou à en contrôler l'abondance une fois que celui-ci est établi (l'élimination de vecteurs invasifs est difficile); et
- éliminer les gîtes larvaires potentiels, plus particulièrement le nombre des récipients naturels et artificiels contenant de l'eau (pots de fleurs, récipients divers, pneus usagés, déchets encombrants, etc...).

4 Les vecteurs

4.1 Entomologie

Ae. aegypti et *Ae. albopictus* sont les vecteurs principaux du virus CHIK. Ils sont caractérisés par des bandes blanches sur les corps et les pattes (figure 1).

Figure 1 Les moustiques *Ae. Aegypti* (gauche) et *Ae. albopictus* (droit)

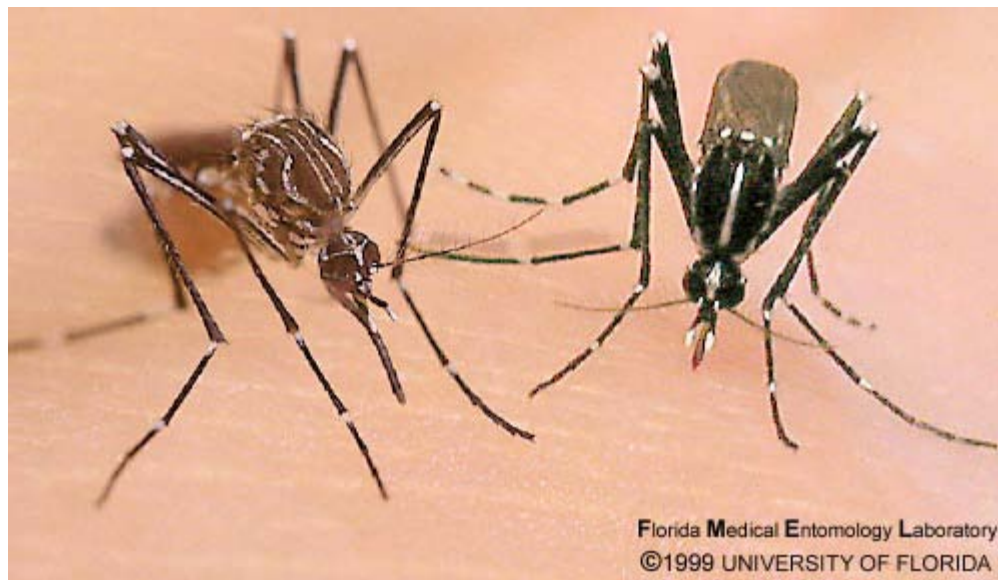


Photo par James Newman, utilisée avec l'autorisation du Florida Medical Entomology Laboratory, University of Florida (1999).

Source consultée le 17 octobre 2014 de <http://fmel.ifas.ufl.edu/research/exotic.shtml>[37].

Comme tous les moustiques, le cycle de vie d'*Aedes* comprend 4 phases, soit l'œuf, la larve, la nymphe et l'adulte. L'eau est essentielle à la reproduction du moustique et les trois premières phases de développement sont aquatiques. Les moustiques pondent leurs œufs dans des endroits humides ou recouverts d'eau - particulièrement dans des contenants, des pneus, des cannettes vides et des étangs d'eau. Les œufs d'*Aedes* sont plus résistants à la sécheresse que ceux d'autres moustiques[38]. Cette caractéristique en a facilité la dispersion mondiale, notamment par le transport de marchandises (telles que les pneus usagés)[38]. De plus, les œufs de la souche tempérée d'*Ae. albopictus* peuvent passer en diapause pour hiverner, ce qui facilite leur survie dans les climats plus tempérés[39]. Les œufs éclosent à l'état de larves immédiatement après la submersion dans l'eau, ce qui complique particulièrement la gestion populationnelle de ces insectes. Les larves habitent dans l'eau et se nourrissent de matières organiques, de micro-organismes et d'algues. La durée du développement larvaire dépend de la température moyenne de l'eau – les faibles températures peuvent prolonger la durée de cette phase[40]. Les larves passent par quatre stades; chacun représente une étape de développement entre des mues successives. Après le quatrième stade, les larves se transforment en nymphes. Les nymphes sont mobiles et elles ont la capacité de répondre à des stimuli extérieurs. Elles se développent en adultes en deux jours environ. Les adultes émergent, se nourrissent de sang et pondent les œufs de la génération suivante. Les femelles d'*Ae. aegypti* ne peuvent pas survivre plus de 3 à 4 jours sans repas de sang[41] et les femelles d'*Ae. albopictus* peuvent survivre jusqu'à 5 à 6 jours sans repas de sang[42]. Les deux espèces sont

diurnes et bimodales, ce qui signifie qu'ils sont principalement actifs durant la journée et leur pic d'activité se situe généralement au lever du soleil et au coucher du soleil[43].

Les humains sont des hôtes préférentiels pour *Ae. aegypti*[44]. Celui-ci est plus fréquent dans les milieux urbains[4]. Ses gîtes larvaires sont souvent retrouvés dans les contenants à proximité des maisons alors que les adultes préfèrent s'abriter à l'intérieur. Par contre, *Ae. albopictus* se retrouve en milieux urbains, mais aussi dans les milieux périurbains et plus naturels[45]. Il se nourrit de sang humain, mais également d'une gamme d'hôtes très vaste[15,46]. Selon les études menées en laboratoire et sur le terrain, *Ae. albopictus* a une plus grande longévité qu'*Ae. aegypti*. À la phase adulte, sous des conditions de température optimale en laboratoire, des modèles expérimentaux indiquent que l'espérance de vie moyenne prévue d'*Ae. aegypti* est de 38 jours à 21 °C et celle d'*Ae. albopictus* de 60 jours à 20-30 °C[47].

4.2 Compétence vectorielle

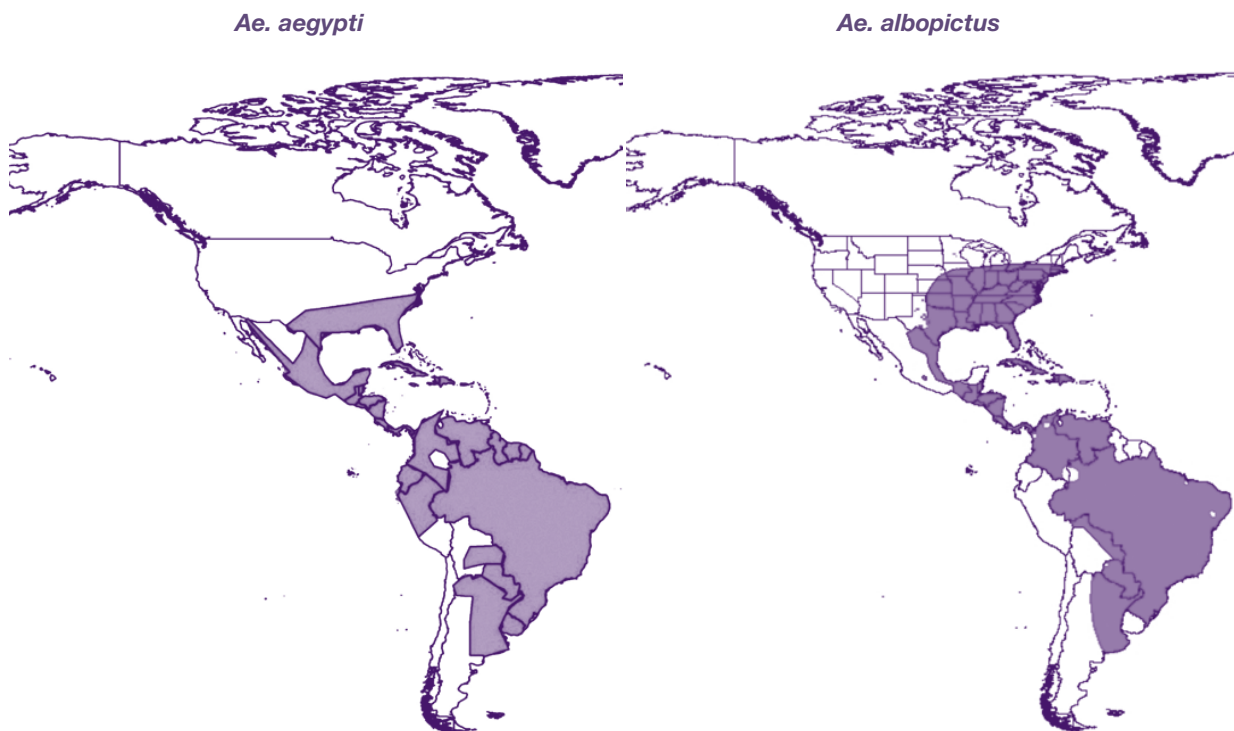
Plusieurs études ont porté sur la compétence vectorielle des différentes populations d'*Ae. aegypti* et d'*Ae. albopictus* autour du monde. La compétence vectorielle est définie par la capacité d'un insecte à devenir infecté et à transmettre un pathogène[18]. Dans les expériences en laboratoire, la compétence vectorielle est mesurée par l'efficacité du moustique à transmettre un agent pathogène – il s'agit donc du nombre de moustiques femelles dont la salive est infectieuse suite à l'exposition à un pathogène durant un repas sanguin. Zouache *et al.* (2014) ont trouvé que le potentiel de transmission du virus CHIK dans des populations d'*Ae. albopictus* était dépendant du génotype de la population de moustiques, de la souche du virus et de la température[18]. Sous deux conditions de température différentes (20 °C et 28 °C), l'efficacité de transmission varie d'environ 25 % à 90 % chez les moustiques de régions tempérées (France, Italie et Monténégro)[18]. Les résultats d'une étude de compétence vectorielle ayant examiné 35 populations d'*Ae. aegypti* et *Ae. albopictus* des Amériques ont montré que l'efficacité de transmission atteignait jusqu'à 83 % chez *Ae. aegypti* et 97 % chez *Ae. albopictus*[48]. Ces résultats indiquent que ces deux espèces de moustiques sont capables d'une transmission particulièrement efficace du virus CHIK.

Par ailleurs, la transmission verticale (de l'adulte à ses œufs) du virus CHIK et du virus de la dengue est possible en laboratoire et sur le terrain chez *Ae. aegypti* et *Ae. albopictus*[49-51].

4.3 Répartition actuelle

Ae. aegypti et *Ae. albopictus* sont des espèces endémiques dans les Amériques. La figure 2 illustre la distribution approximative de ces moustiques.

Figure 2 Distribution approximative d'*Ae. aegypti* et *Ae. albopictus* dans les Amériques



Cartes utilisées avec l'autorisation de l'Organisation panaméricaine de la santé, du Preparedness and Response for Chikungunya Virus: Introduction in the Americas (2011). Source consultée le 17 octobre 2014 de http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=16984&Itemid[25].

Bien que les deux espèces sont établies dans plusieurs pays, *Ae. albopictus* est reconnu comme étant le moustique le plus invasif du monde. Il s'est propagé depuis son habitat naturel en Asie du Sud dans près de 40 pays au cours des trois dernières décennies[52]. Dans le nord-est des États-Unis, il s'est établi dans le sud de la Pennsylvanie, dans la plus grande partie du New Jersey et dans les parties de la région métropolitaine de la ville de New York[53].

5 Épidémiologie

5.1 Histoire

La première épidémie du virus CHIK a été décrite sur le continent africain, en Tanzanie en 1952. Après l'identification initiale du virus CHIK, des flambées sporadiques ont continué de se produire en milieu rural, mais peu d'activités virales ont été signalées après les années 1980[25].

En 2004, une épidémie s'est développée sur la côte du Kenya pour ensuite se propager aux îles Comores de La Réunion, et plusieurs autres îles de l'océan Indien au cours des deux années suivantes. Entre le printemps 2004 et l'été 2006, on estime que 500 000 cas sont survenus[25].

C'est également à cette période qu'une mutation dans le gène de l'enveloppe du virus CHIK (A226V) a été décrite suite à l'analyse du virus isolé d'*Ae. albopictus* en circulation sur l'île de La Réunion. Traditionnellement, il était considéré qu'*Ae. albopictus* avait moins de compétence vectorielle qu'*Ae. Aegypti* pour le virus CHIK. La mutation a permis au variant du virus CHIK de se transmettre et de se répliquer plus efficacement chez le nouveau vecteur *Ae. albopictus* sans conséquence sur les mêmes caractéristiques avec son vecteur habituel, *Ae. Aegypti*[7,54,55]. Cette mutation a aussi été décrite indépendamment lors d'épidémies en Inde et en Afrique suggérant une convergence évolutive du virus[18,56].

5.2 Expansion

En 2006, le virus a été introduit en Inde et a causé une épidémie de grande envergure avec plus d'un million de personnes infectées au cours de l'année qui a suivi. L'épidémie en Inde s'est étirée sur une période de près de quatre ans, à savoir jusqu'en 2010. En 2007, une éclosion a été décrite dans le nord-est de l'Italie avec 197 cas déclarés. L'origine de cette éclosion serait étroitement liée à la présence d'un voyageur virémique en provenance de l'Inde[25,31]. En 2010, deux premiers cas de transmission autochtone du virus CHIK ont été recensés en France[32].

5.3 Passage dans les Amériques

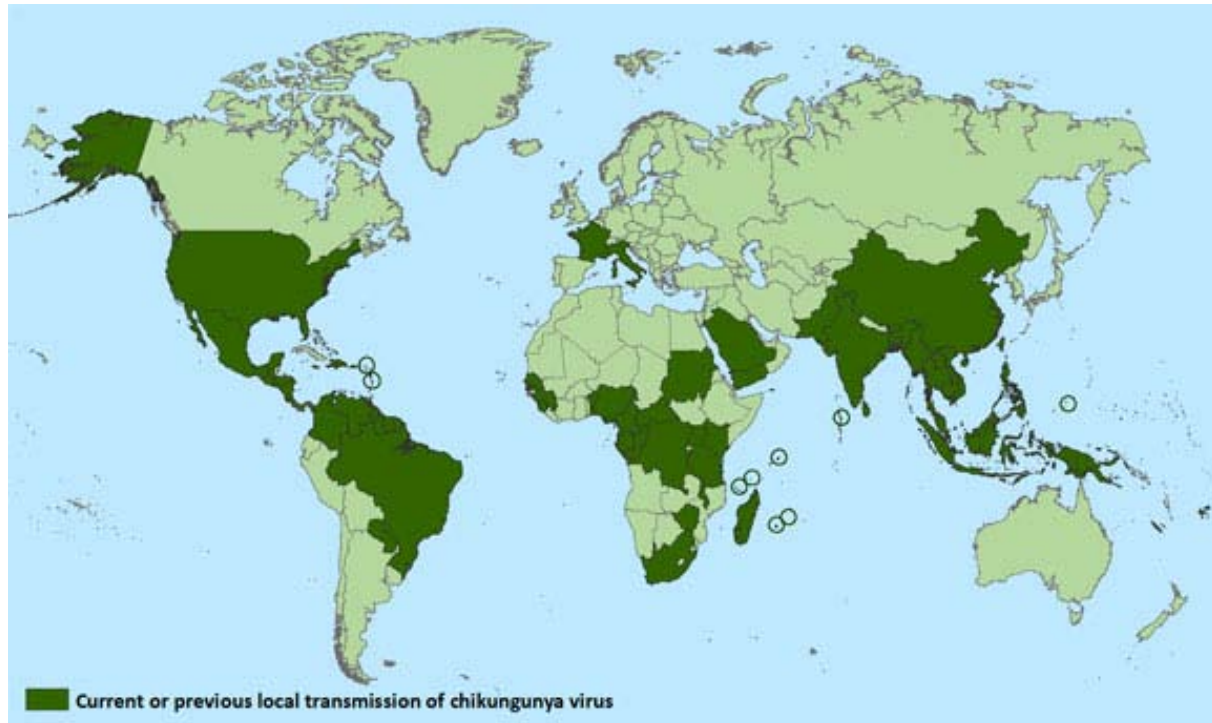
En décembre 2013, les premiers cas du virus CHIK acquis localement dans les Amériques ont été signalés sur l'île de St-Martin dans les Caraïbes[57]. En février 2014, le virus s'est propagé dans 9 autres pays des Caraïbes et à la Guyane française en Amérique du Sud[58]. En juillet 2014, la transmission locale a été vérifiée dans l'État de Floride aux États-Unis[59].

Jusqu'à présent, trois génotypes du virus CHIK ont été identifiés : 1) celui de l'Afrique de l'Ouest; 2) de l'est/centre/sud-africain (ECSA); et 3) de l'Asie. La souche du virus CHIK circulant dans les Caraïbes est reliée au génotype asiatique[12]. La souche est principalement transmise par *Ae. aegypti*, mais le génotype asiatique peut également être transmis par *Ae. albopictus*[12,60].

En date du 18 novembre 2014, 1 839 cas d'infection par le virus CHIK importés ont été signalés aux États-Unis, et 11 cas autochtones ont été rapportés en Floride[61]. Dans les Amériques, 39 pays ou territoires ont observé la transmission locale du virus, incluant un total de 914 960 cas suspectés et 18 142 cas confirmés en laboratoire en date du 21 novembre 2014[13,14]. Santé Canada a rapporté 201 cas importés en date du 1^{er} octobre 2014; aucun cas transmis localement n'a cependant été confirmé au Canada[62]. Au Québec, le MSSS a rapporté 62 cas importés selon les données du

22 octobre 2014[63]. La figure 3 présente une carte qui représente les pays qui ont déclaré une transmission locale du virus CHIK.

Figure 3 Pays et territoires où des cas d'infection par le virus Chikungunya transmis localement ont été déclarés (18 novembre 2014)



Ne comprend pas les pays ou territoires où des cas importés ont été documentés. Cette carte est mise à jour hebdomadairement s'il y a de nouveaux pays ou territoires qui déclarent la transmission locale du virus CHIK. Carte utilisée avec l'autorisation des Centers for Disease Control, du Geographic Distribution of Chikungunya (2014). Source consultée le 26 novembre 2014 de <http://www.cdc.gov/Chikungunya/geo/>[64].

6 Risque au Québec

Le risque d'émergence et de la transmission vectorielle locale dépend de plusieurs facteurs. Au Québec, ce risque est caractérisé par :

- le risque d'introduction du vecteur (moustique);
- le risque d'introduction du virus (par des voyageurs ou des moustiques infectés);
- la probabilité de survie du vecteur dans les conditions climatiques du Québec.

6.1 Risque d'introduction du vecteur au Québec

L'introduction des moustiques *Ae. albopictus* et *Ae. aegypti* en Amérique du Nord est imputable au transport des adultes par avion et l'importation des produits infestés avec les œufs des moustiques provenant des endroits endémiques.

En particulier, le transport des pneus usagés venant d'Asie destinés au recyclage et les plants en pots de « bambou porte-bonheur » sont parmi les principaux facteurs favorisant l'importation de ces espèces au sein de nouvelles zones géographiques[65]. Malheureusement, les données sur l'importation de ces produits pour le Québec ne sont pas disponibles. Par contre, parmi les dix premiers partenaires d'importation des marchandises au Québec, la moitié sont des pays où *Ae. albopictus* ou *Ae. aegypti* sont endémiques (États-Unis, Chine, Mexique, Algérie, et Japon). La valeur totale des échanges en provenance de ces cinq pays était de plus de 48 milliards de dollars en 2013[66].

Au Québec, 4 spécimens de femelles adultes d'*Ae. albopictus* ont été capturés, en 2005[67]. Ces captures ont eu lieu à la semaine CDC 34 (2 spécimens) et 37 (2 spécimens), à la même station située près de l'aéroport international Pierre-Elliott-Trudeau, à Montréal. Dans le cadre de la surveillance du VNO, les pièges étaient du modèle CDC Miniature Light Trap appâtés au CO₂ et avec une lampe UV. La découverte de moustiques d'une espèce invasive près d'un aéroport supporte l'hypothèse de l'introduction de moustiques femelles gravides dans les soutes des avions de voyageurs ou de cargo, plutôt que l'introduction d'œufs de moustiques.

De plus, 4 moustiques de l'espèce *Ae. albopictus* ont été trouvés en Ontario. Ces 4 spécimens ont été retrouvés parmi plus de 4,16 millions de moustiques échantillonnés en Ontario. Il s'agit de moustiques issus de la surveillance entomologique du VNO, capturés avec des pièges CDC Miniature Light Trap et identifiés entre 2002 et 2013[68]. Il est important de noter que ces moustiques sont difficiles à capturer par les pièges, ce qui rend la surveillance de cette espèce ardue[15].

6.2 Risque d'introduction du virus au Québec

Les moustiques et les voyageurs déjà infectés peuvent importer le virus CHIK au Québec. Une étude a examiné le nombre de voyages entre les pays au sein desquels la transmission autochtone du virus CHIK a été documentée et les grands aéroports d'Amérique du Nord. L'étude démontre qu'entre mai et juillet 2012, plus de 64 000 voyageurs sont arrivés au Canada en provenance des Caraïbes et de l'Amérique du Sud, en majorité aux aéroports de Toronto et de Montréal[10]. La figure 4 montre le volume de passagers provenant des pays endémiques pour le virus CHIK au mois de juillet, en utilisant les données aériennes du juillet 2012 et la liste des pays avec la transmission locale du virus CHIK de mai 2014.

Figure 4 Volume des passagers du transport aérien de zones indigènes pour le virus Chikungunya provenant des Caraïbes et allant aux États-Unis et au Canada pour le mois de juillet

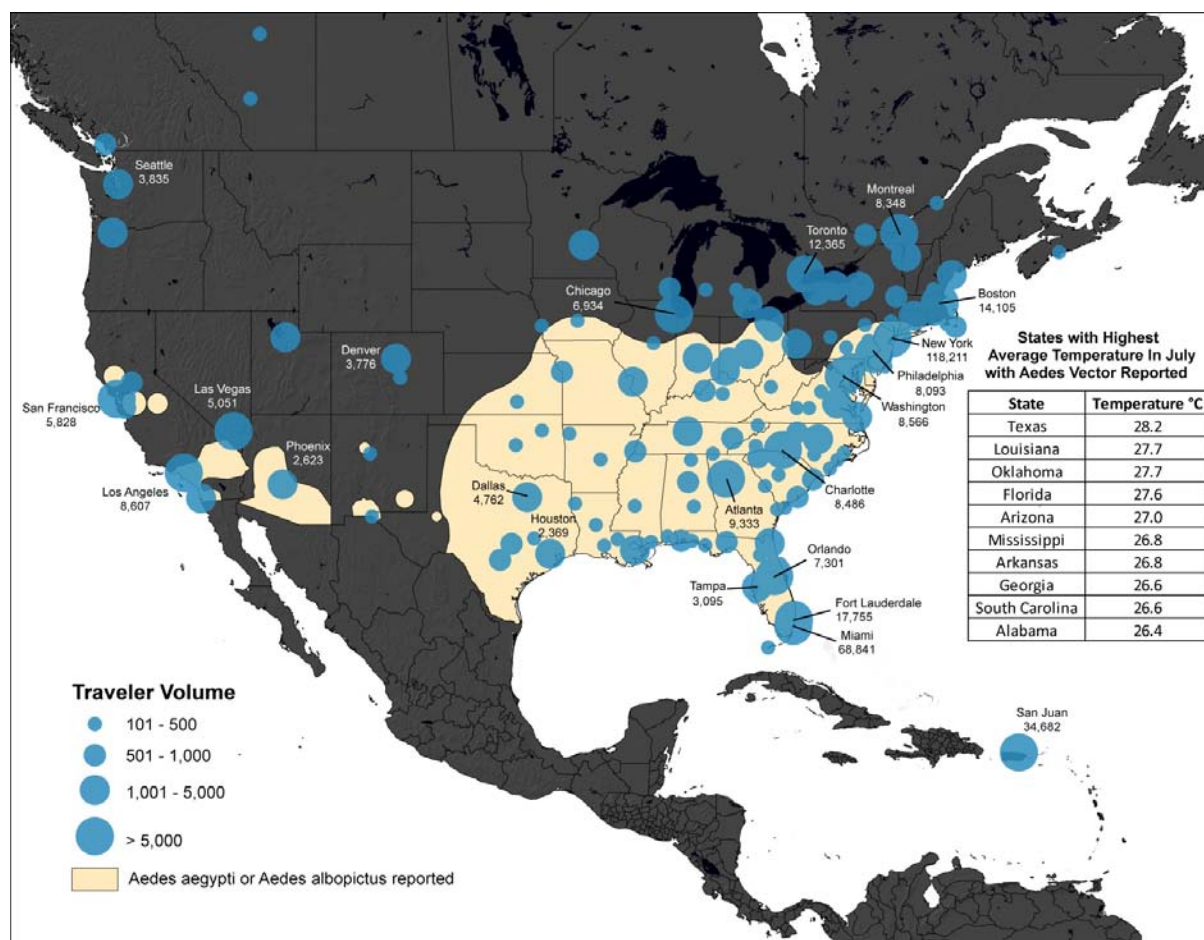


Figure utilisée avec l'autorisation du PLoS et Khan *et al.* (2014) du Assessing the Origin of and Potential for International Spread of Chikungunya Virus from the Caribbean. PLoS Current Outbreaks. June (1)[10].

Les données du gouvernement canadien montrent qu'en 2010, les voyageurs canadiens ont passé près de 28 millions de nuitées dans les Caraïbes, aux Bermudes, en Amérique Centrale et en Amérique du Sud, sans compter les croisières. Toujours en 2010, plus de 800 000 Québécois ont visité les Caraïbes et les Bermudes[69,70].

Au Québec, le MSSS a confirmé 62 cas importés du virus CHIK en 2014, selon les données du 22 octobre 2014[63]. L'introduction du virus CHIK dans une population non exposée auparavant peut provoquer une éclosion importante. À cause du fort volume de voyages au Québec en provenance de pays qui sont maintenant endémiques pour le virus CHIK, nous pouvons nous attendre à ce que le volume des cas d'infection importés augmente dans les années à venir.

La transmission locale de virus CHIK au Québec nécessiterait l'établissement d'*Ae. albopictus* ou d'un autre vecteur compétent et la présence concomitante d'humains infectés. Cependant, ce scénario est peu probable, étant donné qu'il serait extrêmement difficile d'établir une population de ces moustiques assez grande pour infecter de nombreuses personnes. Ce risque est aussi modéré dû à l'incapacité de ces moustiques à survivre dans le climat québécois actuel (traité en section 6.1). Ce risque pourrait être impacté par les changements climatiques (section 6.2).

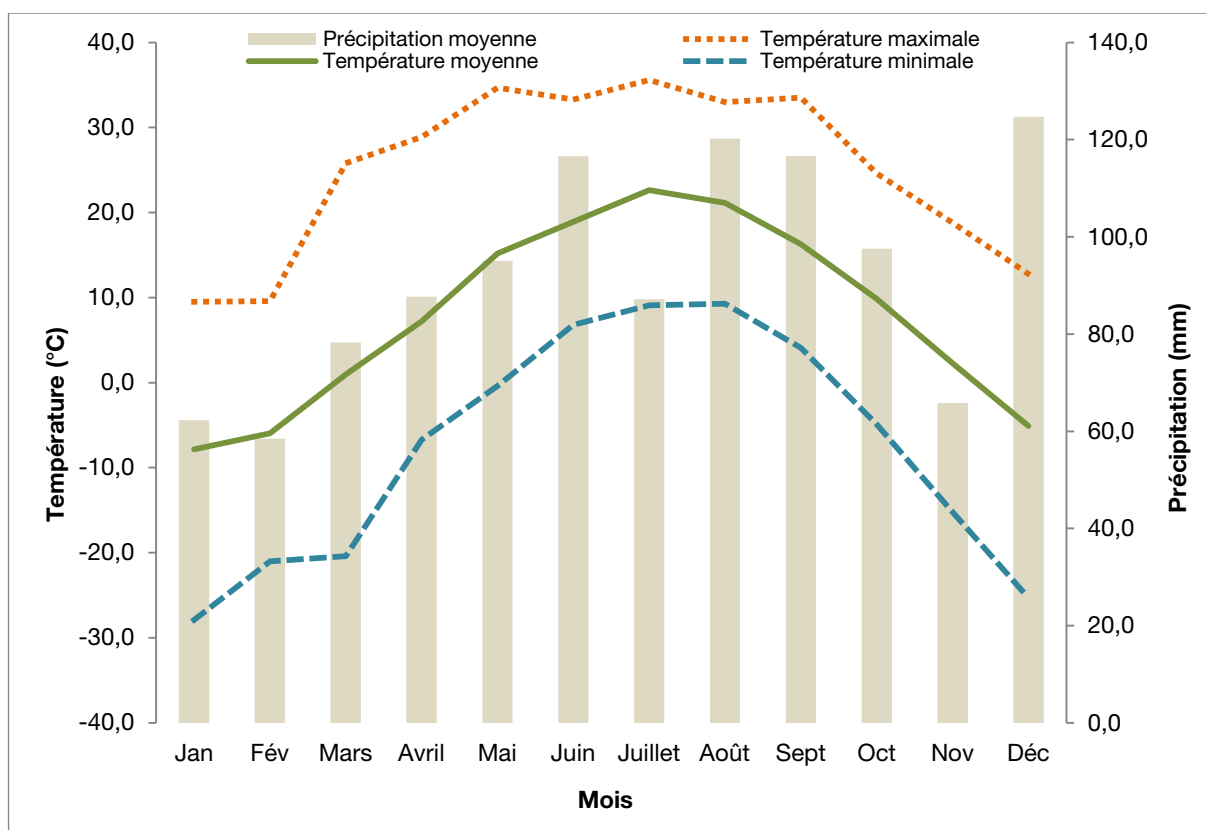
6.3 Probabilité de survie des vecteurs au Québec

Une fois introduits, les moustiques doivent être capables de survivre afin de perpétuer le cycle de transmission. Les facteurs précis qui définissent les limites géographiques actuelles et futures, où ces vecteurs sont capables de survivre, sont encore inconnus. Toutefois, ces limites sont vraisemblablement définies par une combinaison de facteurs humains et entomologiques, dans le contexte environnemental actuel. Étant donné que ces vecteurs proviennent des régions tropicales ou subtropicales, l'analyse de la probabilité de survie a été faite dans un contexte canadien (c'est-à-dire en prenant la saison hivernale en compte). Il fut conclu que la température était le facteur le plus important à explorer afin d'estimer la probabilité de survie des vecteurs au Québec.

Ae. aegypti et *Ae. albopictus* ont tendance à se retrouver dans les zones urbaines ou près de ces dernières. Les agglomérations urbaines sont généralement les endroits au sein desquels se concentrent les aéroports et les points d'entrée maritimes. Ces derniers sont par conséquent plus susceptibles à l'introduction possible du vecteur. Montréal est la plus grande ville urbaine au Québec et a été choisie à titre d'exemple pour l'analyse.

La figure 5 montre les données météorologiques moyennes mensuelles mesurées à l'aéroport international Pierre-Elliott-Trudeau à Montréal, entre 2010 et 2013. Les données indiquent que la plage de températures moyennes s'étend entre -10 °C en hiver à 20 °C en été, avec une grande variation des températures minimales et maximales à chaque saison.

Figure 5 Données météorologiques mensuelles à l'aéroport international Pierre-Elliott-Trudeau à Montréal, 2010-2013



Source des données : Environnement Canada (2014)[71].

Étant donné que la répartition géographique d'*Ae. aegypti* et *Ae. albopictus* ne se chevauche pas toujours, leurs probabilités de survie à Montréal sont présentées séparément dans les sections ci-dessous.

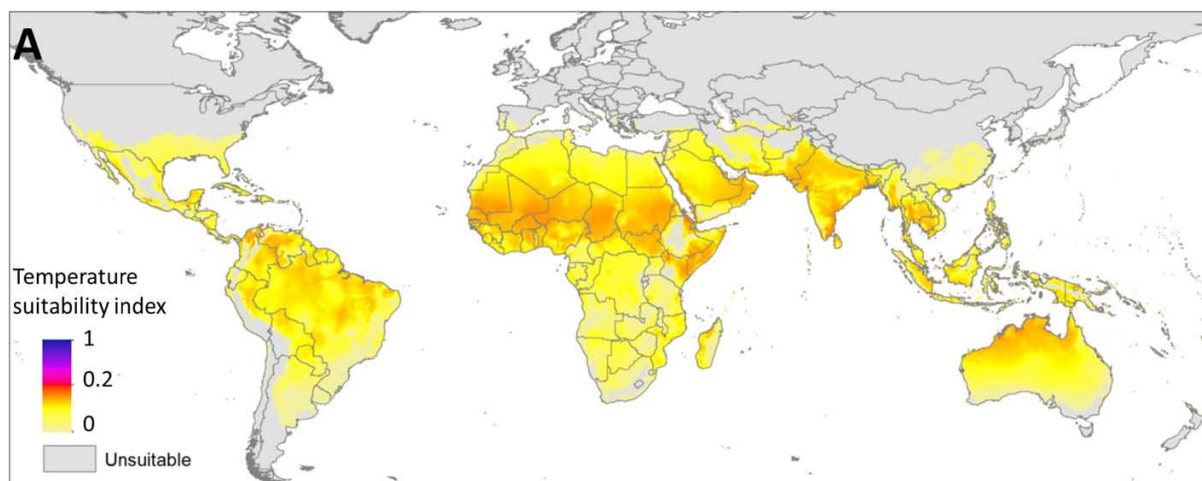
6.3.1 *AE. AEGYPTI*

Les études montrent que l'étendue de température optimale pour la survie des moustiques adultes d'*Ae. aegypti* est de 15 à 30 °C et plus spécifiquement à 21 °C[47,72]. Contrairement aux œufs d'*Ae. albopictus*, ceux d'*Ae. aegypti* ne peuvent pas passer en diapause pour hiverner[72]. La capacité de cette espèce de s'acclimater à de basses températures est inconnue. Dans une étude au Japon, suite à une exposition à des températures en dessous de 10 °C sur le terrain, aucune larve d'*Ae. aegypti* n'a survécu[73]. Les adultes exposés à une température de 4 °C meurent en moins d'une heure[74].

La température minimale permettant le développement et la survie du premier stade, de larve à l'adulte, est de 14 °C [75]. Aux températures sous 15 °C au stade d'adulte, *Ae. aegypti* manifeste une mobilité réduite, des difficultés à se nourrir de sang et ne pond pas d'œufs[47,72].

Géographiquement, le territoire habitable d'*Ae. aegypti* correspond à l'isotherme de -10°C approximativement au parallèle 35° nord des Amériques[47,76]. La figure 6 illustre bien cette tolérance aux températures ambiantes d'*Ae. aegypti* tel que modélisé par Brady *et al.* (2014), selon des prévisions conservatrices, et en combinant les données de plusieurs études.

Figure 6 Tolérance aux températures ambiantes d'*Ae. aegypti*



Indice de tolérance aux températures d'*Ae. aegypti*, normalisé relativement à la valeur maximale et représenté sur une échelle logarithmique.

Figure utilisée avec l'autorisation de Parasites & Vectors et Brady OJ, *et al.* du Global temperature constraints on *Ae. aegypti* and *Ae. albopictus* persistence and competence for dengue virus transmission (2014). Parasites & Vectors 7(338)[77].

Autrefois, cette espèce a été retrouvée aussi loin que la frontière canadienne au 45° parallèle nord, mais c'était durant les mois les plus chauds de l'année, car ces moustiques n'auraient pas pu survivre à la saison hivernale[76]. Nous pouvons en conclure que selon les conditions climatiques actuelles, il serait impossible pour *Ae. aegypti* de survivre à l'hiver québécois, et donc qu'il est très improbable qu'il puisse s'établir de façon permanente. Cependant, la température moyenne à Montréal est au-dessus de 10 °C de mai à octobre. Dans cette perspective, il serait possible pour une population temporaire de s'établir pendant les mois d'été, qui comportent des températures

supérieures à 15 °C si les autres facteurs influençant la survie du moustique sont aussi présents (disponibilité d'hôtes, habitat adéquat et accès à l'eau stagnante afin d'assurer sa reproduction).

6.3.2 *Ae. ALBOPICTUS*

Les données sur la relation entre la température et la répartition d'*Ae. albopictus* sont plus limitées et sont souvent de mauvaise qualité ou incohérentes, possiblement parce que les préférences climatiques des moustiques des régions tempérées et tropicales diffèrent. *Ae. albopictus* est une espèce hautement adaptative. Les œufs des souches tropicales d'*Ae. albopictus* n'ont pas la capacité de passer en diapause pour hiverner, contrairement aux souches des régions tempérées[39].

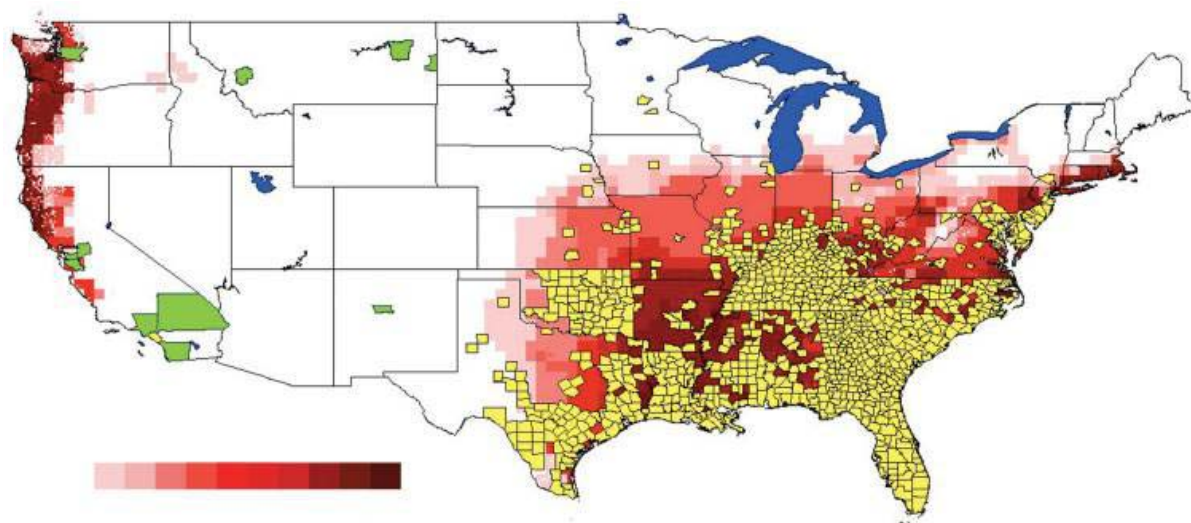
En utilisant comme indicateur les souches d'*Ae. albopictus* des États-Unis, la température minimale absolue de survie a été estimée à -12 °C sur une période de 24 heures. À cette température, on observe une mortalité totale des œufs exposés en laboratoire[78]. Par contre, sur le terrain, le taux de survie atteint 78 % pour les œufs exposés à -12 °C pour les périodes de moins de 16 heures[65]. En Asie continentale et au Japon, on constate que les œufs peuvent survivre à des températures hivernales de -2 à -5 °C[79]. D'autres recherches démontrent que la survie sur le terrain est aussi affectée par d'autres facteurs que la température hivernale, incluant l'effet isolant du couvert neigeux et la chaleur émanant des milieux urbains, tels que les égouts[53,78]. Ces facteurs peuvent alors permettre l'hivernage des œufs à de plus basses températures ambiantes.

Suite à l'exposition des stades larvaires à de basses températures pendant de courtes périodes, l'acclimatation a été observée chez des générations subséquentes[80]. Ce phénomène a été documenté sur le terrain et en laboratoire, avec des souches d'Asie et des souches des États-Unis[80,81]. Par exemple, en 1997, *Ae. albopictus* a été découvert en Illinois où ces moustiques étaient précédemment inconnus. Un hiver doux causé par le phénomène d'El Niño (température moyenne de 1 °C[82]) a suivi la découverte initiale, puis en 1998, les chercheurs ont constaté que le moustique avait survécu à l'hiver suivant et élargi graduellement son aire de distribution[81].

Une étude sur la souche de l'océan Indien a démontré que le développement larvaire complet s'observe seulement aux températures supérieures à 10,4 °C[83]. L'étude a été réalisée en laboratoire à des températures constantes et aucun développement larvaire complet n'a été observé entre 5 et 10 °C[83]. De plus, il n'y avait pas de ponte en deçà de 15 °C. Cette étude corrobore les résultats de recherches parallèles. Par exemple, au Japon, une étude d'analyse géospatiale a démontré que la répartition géographique d'*Ae. albopictus* requérait une température moyenne annuelle de plus de 11 °C durant plus de six mois et une température moyenne supérieure à -2 °C au cours du mois le plus froid[84].

Nawrocki & Hawley (1987) suggèrent qu'une isotherme de 5 °C peut délimiter l'expansion maximum d'*Ae. albopictus* vers le nord au sein de l'Amérique[79]. Benedict *et al.* (2007) ont utilisé un algorithme pour modéliser la répartition actuelle et la répartition prévue d'*Ae. albopictus*. Leurs prédictions correspondent bien avec celles de Nawrocki et Hawley. Elles incluraient la plupart des grandes villes des États-Unis et la pointe sud du Canada (à Toronto), tel qu'illustré dans la figure 7.

Figure 7 Répartition prévue et propagation de l'*Ae. albopictus* dans la zone continentale des États-Unis

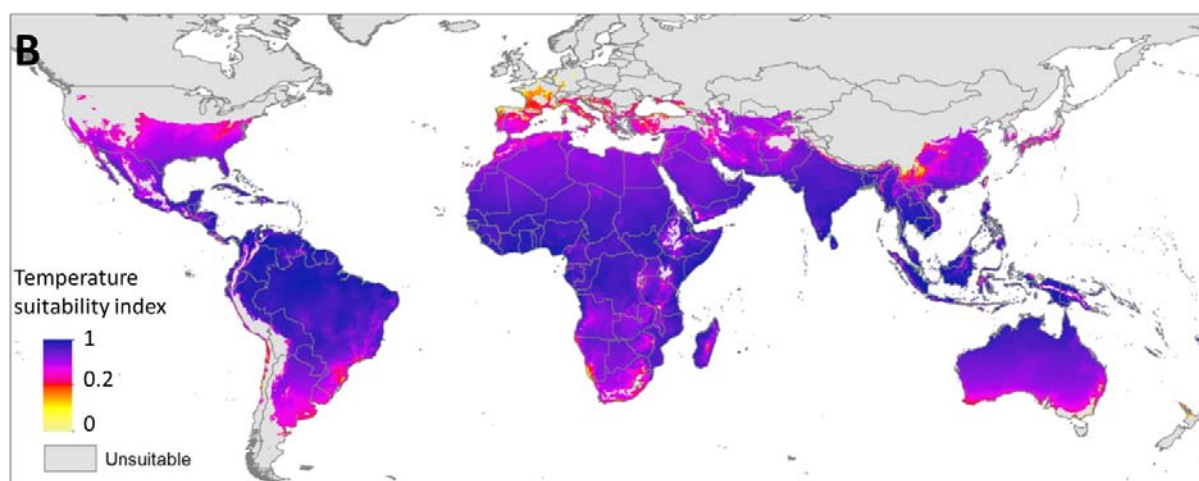


La distribution prévue (en rouge) et la propagation documentée (en jaune) d'*Ae. albopictus* aux États-Unis en 2001. Les comtés où l'introduction a eu lieu, mais où les populations ne se sont pas encore établies sont en vert.

Figure utilisée avec l'autorisation de Vector Borne Zoonotic Diseases et Benedict *et al.*, du Spread of the tiger: global risk of invasion by the mosquito *Ae. albopictus* (2007). Vector Borne Zoonotic Diseases, 7(1): 76:85. Source consultée le 17 octobre 2014 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2212601/>[52].

D'autres études suggèrent que cette limite est exagérée. Par exemple, une carte de l'adéquation environnementale par température pour *Ae. albopictus* a été faite par Brady *et al.* (2014) et est présentée à la figure 8[77]. Ces auteurs ont utilisé un modèle additif de régression généralisé pour forcer une relation empirique entre la température et la survie des femelles adultes d'*Ae. albopictus* et *Ae. aegypti*, avec l'aide des données provenant de plus de 350 études de laboratoire et de 50 études sur le terrain. Les limites de survie prédites sont réduites, en comparaison avec les études mentionnées plus haut.

Figure 8 Tolérance aux températures ambiantes d'*Ae. albopictus*



Indice de tolérance aux températures d'*Ae. albopictus*, normalisé relativement à la valeur maximale et représenté sur une échelle logarithmique.

Figure utilisée avec l'autorisation de Parasites & Vectors et Brady OJ, *et al.* du Global temperature constraints on *Ae. aegypti* and *Ae. albopictus* persistence and competence for dengue virus transmission (2014). Parasites & Vectors 7(338)[77].

Des données récentes provenant d'études sur le terrain indiquent que l'espèce ne peut pas survivre l'hiver au-delà de la latitude du Connecticut. En 2006, des chercheurs ont trouvé *Ae. albopictus* près d'une usine de recyclage de pneus dans le nord de l'État du Connecticut, aux États-Unis. Ils ont commencé la surveillance entomologique dans les régions boisées autour de l'usine et ils ont constaté que l'espèce s'est établie dans la région locale jusqu'à la fin du piégeage en octobre. Les travailleurs à l'usine se sont plaints de piqûres de ces moustiques durant la journée. L'aire de répartition connue de cette population ne dépassait pas un kilomètre de l'usine. L'année suivante, ils ont recommencé la surveillance entomologique sur une période s'étendant de juillet à octobre et ils n'ont pas trouvé d'*Ae. albopictus* dans les pièges, ce qui indique que l'espèce n'a pas survécu à l'hiver[65].

Malgré les légères différences déjà mentionnées entre les prédictions des modélisations géographiques, toutes ces études démontrent qu'actuellement l'établissement d'*Ae. albopictus* au Québec est peu probable en raison des basses températures hivernales. Ce constat n'exclut pas la possibilité d'un établissement temporaire de la population pendant les mois pour lesquels des températures supérieures à 10 °C seraient observées.

Toutefois, cette conclusion peut changer dans un contexte de changements climatiques et d'acclimatation d'*Ae. albopictus*.

6.4 Impacts des changements climatiques sur la survie des vecteurs

Selon les projections climatiques en scénario RCP 4.5 du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), au Québec les températures hivernales pourraient atteindre 4 °C dans le sud, 5 °C au centre et 6 °C dans le nord entre 2045-2065[85]. La figure 9 montre la cartographie des changements prévus.

Figure 9 **Changement de température prévue en scénario RCP 4.5 (50° percentile), de 1986-2005 à 2046-2065, décembre à février**

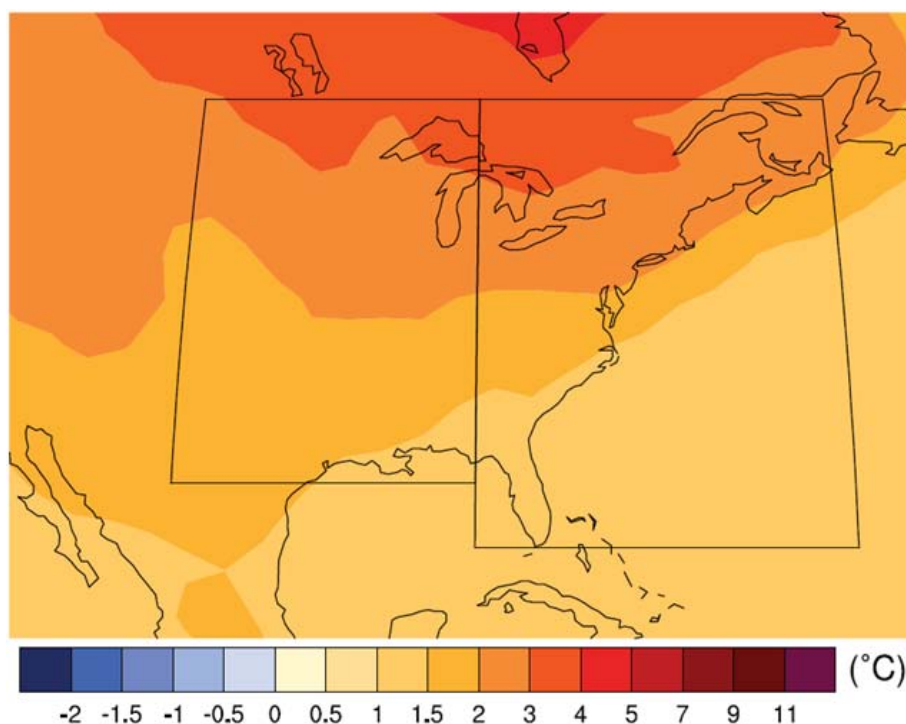


Figure utilisée avec l'autorisation d'GIEC, d'Annex I: Atlas of Global and Regional Climate Projections [van Oldenborgh, G.J., M. Collins, J. Arblaster, J.H. Christensen, J. Marotzke, S.B. Power, M. Rummukainen and T. Zhou (eds.)]. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA[85].

Un scénario « Representative Concentration Pathways » (RCP) permet de modéliser le climat futur. Quatre scénarios (RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6 et RCP 8.5) étaient établis par le GIEC pour son cinquième rapport (AR5), publié en quatre parties entre septembre 2013 et novembre 2014[86]. Les scénarios sont relatifs à l'évolution de la concentration en gaz à effet de serre qui sera émise dans les années à venir pour la période 2000-2100. Chaque scénario RCP donne une variante jugée probable du climat qui résultera du niveau d'émission choisi comme hypothèse de travail. Les quatre scénarios sont nommés d'après la gamme de forçage radiatif ainsi obtenue pour l'année 2100 : dont le scénario RCP 4.5 correspond à un forçage de + 4,5 W/m². Dans le scénario 4.5, les émissions du gaz à effet de serre atteindront leur sommet en 2040 et ensuite diminueront. Selon les projections du réchauffement du climat global du scénario RCP 4.5 par rapport à la période 1986-2005 à 2046-2065, la température de l'air de surface moyenne augmentera de 0,9 à 2 °C et l'élévation relative du niveau de la mer augmentera de 0,19 à 0,33 mètre[87].

À partir des données de l'AR5, une estimation grossière de la température moyenne future pour Montréal (2046-2065) a été faite en tenant compte des changements climatiques potentiels.

Actuellement à Montréal, la température moyenne durant les mois les plus froids de 2010 à 2013 (décembre, janvier et février) était de -6 °C, avec des températures minimales descendant jusqu'à -27 °C[71] durant ces périodes. Selon le scénario RCP 4.5 avec les changements climatiques, la température moyenne en hiver à Montréal pourrait augmenter de 4 °C (jusqu'à la moyenne hivernale de -2 °C) entre 2046-2065, et la fréquence des températures froides extrêmes diminuera. En conséquence, si les prévisions des modèles de changements climatiques sont précises, la limite de survie géographique d'*Ae. albopictus* risque d'atteindre le sud du Québec dans les prochaines décennies. Des modèles prédictifs de l'expansion d'*Ae. albopictus* dans l'Amérique du Nord récemment publiés par Ogden *et al.* (2014) appuient ces conclusions[88].

Même avec ces données, il est présentement impossible de dire avec précision si *Ae. albopictus* s'établira dans le sud du Québec, compte tenu d'autres facteurs importants tels que le couvert neigeux et les possibilités d'acclimatation du vecteur avec le temps. Le réchauffement climatique et les hivers plus doux pourraient offrir des conditions plus appropriées pour l'établissement d'*Ae. albopictus* au Québec.

6.5 Limites de la connaissance

Présentement, la principale source d'incertitude est le manque de connaissances sur la capacité d'*Ae. albopictus* de s'adapter à de nouveaux environnements. Si le moustique est capable de s'adapter à des températures plus froides, il serait possible qu'il puisse s'établir au Québec dans le futur. Par ailleurs, d'autres incertitudes existent, dont la précision des modèles climatiques actuels et la trajectoire des émissions futures.

Il existe peu de données québécoises sur la capacité des espèces de moustiques du Québec de transmettre le virus CHIK. À notre connaissance, la capacité vectorielle pour le virus CHIK a été évaluée pour une seule espèce au Québec, soit *Ae. japonicus japonicus* (= *Ochlerotatus japonicus*)[89]. Cette étude a montré qu'*Ae. j. japonicus* peut être infecté par le virus CHIK, mais nous ne savons pas s'il peut transmettre le virus à l'humain.

De plus, il n'existe pas d'information prévisionnelle sur la possibilité d'une mutation du virus CHIK permettant à d'autres espèces de transmettre le virus.

7 Recommandations

L'INSPQ fait six recommandations en matière de surveillance, de formation et d'information aux intervenants cliniques et de santé publique et d'intervention. En s'appuyant sur les résultats de l'évaluation de risque, l'INSPQ a tenu compte des éléments suivants pour l'élaboration des recommandations :

- les caractéristiques cliniques et l'impact de l'infection par le virus CHIK sur la santé publique;
- l'épidémiologie et les attributs du virus CHIK;
- la répartition actuelle et projetée des deux vecteurs principaux (*Ae. aegypti* et *Ae. albopictus*) du virus CHIK en Amérique du Nord.

Les recommandations sont présentées par ordre de priorité et elles s'adressent au MSSS à moins qu'il n'en soit spécifié autrement.

1. L'INSPQ recommande la mise à jour et l'intensification des messages de protection personnelle à l'intention des voyageurs quant au risque d'infection par le virus CHIK et par le virus de la dengue.

Des stratégies de communication portant sur les risques pour la santé devraient être prises en compte. Elles devraient cibler les voyageurs se rendant dans les zones endémiques ou les zones à risque pour l'infection par le virus CHIK et le virus de la dengue. En lien avec les recommandations émises par l'ASPC[90], elles devraient porter sur les mesures de protection contre les moustiques vecteurs principaux, *Ae. aegypti* et *Ae. albopictus*. Ces messages pourraient être conçus et diffusés en partenariat avec les cliniques des voyageurs, les agences de voyages, les services frontaliers et les aéroports.

2. L'INSPQ recommande de renseigner les médecins et les professionnels de la santé sur les connaissances relatives à l'infection par le virus CHIK et le virus de la dengue et de souligner l'importance de réaliser des tests de détection pour ces deux virus chez les patients symptomatiques ayant récemment voyagé dans les régions endémiques.
3. L'INSPQ recommande l'ajout de l'infection par le virus CHIK et par le virus de la dengue à la liste des maladies à déclaration obligatoire et de la surveillance humaine des cas par les médecins et les laboratoires dans le but de mieux suivre l'évolution dans le temps de ces deux maladies vectorielles.

Compte tenu de l'épidémie récente du virus CHIK dans les Caraïbes, qui s'étend maintenant depuis le sud des États-Unis jusqu'en Amérique du Sud, il est prévisible que le nombre de cas importés au Québec augmentera dans les années à venir. Les données de surveillance humaine seront importantes pour le processus de planification de la santé publique, surtout si l'on tient compte de la fréquence élevée de symptômes aigus et de séquelles prolongées.

4. L'INSPQ recommande l'élaboration d'un plan de surveillance entomologique à long terme et d'un plan de contingence pour la présence au Québec de vecteurs exotiques invasifs, inspiré du plan de l'ECDC[91].

Les objectifs de ce plan sont de caractériser les vecteurs et les régions à risque, d'assurer la détection de l'introduction de moustiques vecteurs invasifs et de détecter la présence des arboviroses d'intérêt en santé publique. La surveillance entomologique devrait être faite indépendamment des décisions relatives à la stratégie de gestion du VNO.

5. Compte tenu du fait que le virus CHIK peut être transmis par transfusion, l'INSPQ recommande à Héma-Québec de faire l'évaluation du risque transfusionnel relié aux donneurs ayant voyagé récemment dans une zone à risque et de prendre les mesures nécessaires si approprié.

Il est également nécessaire de jeter les bases d'une stratégie de prévention et éventuellement d'intervention pour le contrôle des vecteurs invasifs.

6. L'INSPQ recommande l'intégration de la stratégie de lutte contre les moustiques vectoriels invasifs dans une perspective globale de lutte contre les maladies émergentes à transmission vectorielle et d'adaptation aux changements climatiques.

Références

- (1) Medical Entomology. 2 ed. Davis, California: Springer Science+Business Media Dordrecht; 2004.
- (2) Chapitre 4 - Groupes de risque, niveaux de confinement et évaluations des risques. Normes et lignes directrices canadiennes sur la biosécurité 2013 Première édition (Consulté le 28 novembre 2014). Disponible à partir de : <http://canadianbiosafetystandards.collaboration.gc.ca/cbsg-nldcb/index-fra.php?page=12>.
- (3) Queyriaux B, Simon F, Grandadam M, Michel R, Tolou H, Boutin JP. Clinical burden of chikungunya virus infection. *Lancet Infectious Diseases* 2008 Jan;8(1):2-3.
- (4) Her Z, Kam YW, Lin RT, Ng LF. Chikungunya: a bending reality. *Microbes and Infection* 2009 Dec;11(14-15):1165-76.
- (5) Manimunda SP, Vijayachari P, Uppoor R, Sugunan AP, Singh SS, Rai SK, *et al.* Clinical progression of chikungunya fever during acute and chronic arthritic stages and the changes in joint morphology as revealed by imaging. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene* 2010 Jun;104(6):392-9.
- (6) Thiboutot MM, Kannan S, Kawalekar OU, Shedlock DJ, Khan AS, Sarangan G, *et al.* Chikungunya: a potentially emerging epidemic? *PLoS Neglected Tropical Diseases* 2010;4(4):e623.
- (7) Simon F, Javelle E, Oliver M, Leparç-Goffart I, Marimoutou C. Chikungunya virus infection. *Current Infectious Disease Reports* 2011 Jun;13(3):218-28.
- (8) Thiberville SD, Moyen N, Dupuis-Maguiraga L, Nougaiède A, Gould EA, Roques P, *et al.* Chikungunya fever: epidemiology, clinical syndrome, pathogenesis and therapy. *Antiviral Research* 2013 Sep;99(3):345-70.
- (9) Gopalan SS, Das A. Household economic impact of an emerging disease in terms of catastrophic out-of-pocket health care expenditure and loss of productivity: investigation of an outbreak of chikungunya in Orissa, India. *Journal of Vector Borne Diseases* 2009 Mar;46(1):57-64.
- (10) Khan K, Bogoch I, Brownstein JS, Miniota J, Nicolucci A, Hu W, *et al.* Assessing the origin of and potential for international spread of chikungunya virus from the Caribbean. *PLoS Current Outbreaks* 2014;6.
- (11) Lanciotti RS, Valadere AM. Transcontinental movement of Asian genotype chikungunya virus. *Emerging Infectious Diseases* 2014 Aug;20(8):1400-2.
- (12) Morrison TE. Re-emergence of chikungunya virus. *Journal of Virology* 2014 Jul 30.
- (13) CDC. Chikungunya in the Americas. Centers for Disease Control and Prevention 2014 (Consulté le 24 novembre 2014). Disponible à partir de : <http://www.cdc.gov/chikungunya/geo/americas.html>.
- (14) OPS. Number of Reported Cases of Chikungunya Fever in the Americas. Organisation Panaméricaine de la Santé 2014 (Consulté le 21 novembre 2014). Disponible à partir de : <http://www.paho.org/hq/index.php?Itemid=40931>.

- (15) Faraji A, Egizi A, Fonseca DM, Unlu I, Crepeau T, Healy SP, *et al.* Comparative host feeding patterns of the Asian tiger mosquito, *Aedes albopictus*, in urban and suburban Northeastern USA and implications for disease transmission. *PLoS Neglected Tropical Diseases* 2014 Aug;8(8):e3037.
- (16) Vourc'h G, Halos L, Desvars A, Boue F, Pascal M, Lecollinet S, *et al.* Chikungunya antibodies detected in non-human primates and rats in three Indian Ocean islands after the 2006 ChikV outbreak. *Veterinary Research* 2014;45:52.
- (17) Manore C, Hickmann K, Sen Xu, Wearing H, Hyman J. Comparing dengue and chikungunya emergence and endemic transmission in *A. aegypti* and *A. albopictus*. *Journal of Theoretical Biology* 2014;356(2014):174-91.
- (18) Zouache K, Fontaine A, Vega-Rua A, Mousson L, Thiberge JM, Lourenco-De-Oliveira R, *et al.* Three-way interactions between mosquito population, viral strain and temperature underlying chikungunya virus transmission potential. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 2014 Oct 7;281(1792).
- (19) Chhabra M, Mittal V, Bhattacharya D, Rana U, Lal S. Chikungunya fever: a re-emerging viral infection. *Indian J Med Microbiol* 2008 Jan;26(1):5-12.
- (20) Appassakij H, Promwong C, Rujirojindakul P, Wutthanarungsan R, Silpapojakul K. The risk of blood transfusion-associated Chikungunya fever during the 2009 epidemic in Songkhla Province, Thailand. *Transfusion* 2014 Aug;54(8):1945-52.
- (21) Couderc T, Gangneux N, Chretien F, Caro V, Le Luong T, Ducloux B, *et al.* Chikungunya Virus Infection of Corneal Grafts. *Journal of Infectious Diseases* 2012 Sep 15;206(6):851-9.
- (22) Gerardin P, Barau G, Michault A, Bintner M, Randrianaivo H, Choker G, *et al.* Multidisciplinary Prospective Study of Mother-to-Child Chikungunya Virus Infections on the Island of La Reunion. *PLoS Medicine* 2008 Mar 18;5(3):e60.
- (23) Haas H, Robin S, Ramful D, Houdon L, Minodier P, Gerardin P. Chikungunya virus infections in children. *Archives de Pediatrie* 2009 Oct;16, Supplement 2(0):S72-S79.
- (24) Ramful D, Carbonnier M, Pasquet M, Bouhmani B, Ghazouani J, Noormahomed T, *et al.* Mother-to-child transmission of Chikungunya virus infection. *Pediatr Infect Dis J* 2007 Sep;26(9):811-5.
- (25) OPS. Preparedness and Response for Chikungunya Virus: Introduction in the Americas. Organisation Panaméricaine de la Santé 2011 (Consulté le 17 octobre 2014). Disponible à partir de : http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=16984&Itemid.
- (26) Rudolph KE, Lessler J, Moloney RM, Kmush B, Cummings DA. Incubation periods of mosquito-borne viral infections: a systematic review. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 2014 May;90(5):882-91.
- (27) Appassakij H, Khuntikij P, Kemapunmanus M, Wutthanarungsan R, Silpapojakul K. Viremic profiles in asymptomatic and symptomatic chikungunya fever: a blood transfusion threat? *Transfusion* 2013 Oct 1;53(10pt2):2567-74.

- (28) OPS. Preparation and response before the eventual introduction of the virus Chikungunya in the Americas. Organisation Panaméricaine de la Santé 2011 (Consulté le 17 octobre 2014). Disponible à partir de : http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=23978&Itemid=&lang=en.
- (29) Nakkhara P, Chongsuvivatwong V, Thammaphalo S. Risk factors for symptomatic and asymptomatic chikungunya infection. Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene 2013 Dec;107(12):789-96.
- (30) Moro ML, Gagliotti C, Silvi G, Angelini R, Sambri V, Rezza G, *et al.* Chikungunya virus in North-Eastern Italy: a seroprevalence survey. American Journal of Tropical Medicine and Hygiene 2010 Mar;82(3):508-11.
- (31) OMS. Chikungunya. Organisation mondiale de la Santé 2014 Aide-mémoire N°327 (Consulté le 17 octobre 2014). Disponible à partir de : <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs327/fr/>.
- (32) Institut Pasteur. Chikungunya. Institut Pasteur 2014 (Consulté le 13 octobre 2014). Disponible à partir de : <http://www.pasteur.fr/fr/institut-pasteur/presse/fiches-info/chikungunya>.
- (33) Weaver SC, Osorio JE, Livengood JA, Chen R, Stinchcomb DT. Chikungunya virus and prospects for a vaccine. Expert Review of Vaccines 2012 Sep;11(9):1087-101.
- (34) Xavier F, Olivier R, Patrick G+, Bernard-Alex Gr, Jacques B, Louis L, *et al.* Chikungunya Virus Infection during Pregnancy, Réunion, France, 2006. 2010;16(3):418.
- (35) Schilte C, Staikowsky F, Couderc T, Madec Y, Carpentier F, Kassab S, *et al.* Chikungunya virus-associated long-term arthralgia: a 36-month prospective longitudinal study. PLoS Neglected Tropical Diseases 2013;7(3):e2137.
- (36) CDC. Chikungunya: Information for vector control programs. Centers for Disease Control and Prevention 2014 (Consulté le 29 novembre 2014). Disponible à partir de : www.cdc.gov/chikungunya/pdfs/CHIKV_VectorControl.pdf.
- (37) FMEL. Invasion Biology of Aedes albopictus. Florida Medical Entomology Laboratory, University of Florida 1999 (Consulté le 17 octobre 2014). Disponible à partir de : <http://fmel.ifas.ufl.edu/research/exotic.shtml>.
- (38) Caminade C, Medlock JM, Ducheyne E, McIntyre KM, Leach S, Baylis M, *et al.* Suitability of European climate for the Asian tiger mosquito Aedes albopictus: recent trends and future scenarios. Journal of the Royal Society Interface 2012 Oct 7;9(75):2708-17.
- (39) Tran A, L'Ambert G, Lacour G, Benoit R, Demarchi M, Cros M, *et al.* A rainfall- and temperature-driven abundance model for Aedes albopictus populations. International Journal of Environmental Research and Public Health 2013 May;10(5):1698-719.
- (40) Byttebier B, De Majo MS, De Majo MS, Fischer S. Hatching response of Aedes aegypti (Diptera: Culicidae) eggs at low temperatures: effects of hatching media and storage conditions. Journal of Medical Entomology 2014 Jan;51(1):97-103.
- (41) Costero A, Edman JD, Clark GG, Kittayapong P, Scott TW. Survival of starved Aedes aegypti (Diptera: Culicidae) in Puerto Rico and Thailand. Journal of Medical Entomology 1999 May;36(3):272-6.

- (42) Klowden MJ, Chambers GM. Reproductive and metabolic differences between *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus* (Diptera: Culicidae). *Journal of Medical Entomology* 1992 May;29(3):467-71.
- (43) Kawada H, Takemura SY, Arikawa K, Takagi M. Comparative study on nocturnal behavior of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*. *J Med Entomol* 2005 May;42(3):312-8.
- (44) Tandon N, Ray S. Host Feeding Pattern of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in Kolkata, India. *Dengue Bulletin* 2000;24:117-20.
- (45) Tsuda Y, Suwonkerd W, Chawprom S, Prajakwong S, Takagi M. Different spatial distribution of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* along an urban-rural gradient and the relating environmental factors examined in three villages in northern Thailand. *Journal of the American Mosquito Control Association* 2006 Jun;22(2):222-8.
- (46) Kek R, Hapuarachchi HC, Chung CY, Humaidi MB, Razak MA, Chiang S, *et al.* Feeding host range of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) demonstrates its opportunistic host-seeking behavior in rural Singapore. *Journal of Medical Entomology* 2014 Jul;51(4):880-4.
- (47) 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. *Parasites & Vectors* 2013;6:351.
- (48) Vega-Rua A, Zouache K, Girod R, Failloux AB, Lourenco-De-Oliveira R. High level of vector competence of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* from ten American countries as a crucial factor in the spread of Chikungunya virus. *Journal of Virology* 2014 Jun;88(11):6294-306.
- (49) Buckner EA, Alto BW, Lounibos LP. Vertical transmission of Key West dengue-1 virus by *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) mosquitoes from Florida. *Journal of Medical Entomology* 2013 Nov;50(6):1291-7.
- (50) Agarwal A, Dash PK, Singh AK, Sharma S, Gopalan N, Rao PV, *et al.* Evidence of experimental vertical transmission of emerging novel ECSA genotype of Chikungunya Virus in *Aedes aegypti*. *PLoS Neglected Tropical Diseases* 2014 Jul;8(7):e2990.
- (51) Kumar NP, Sabesan S, Krishnamoorthy K, Jambulingam P. Detection of Chikungunya virus in wild populations of *Aedes albopictus* in Kerala State, India. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases* 2012 Oct;12(10):907-11.
- (52) Benedict MQ, Levine RS, Hawley WA, Lounibos LP. Spread of the tiger: global risk of invasion by the mosquito *Aedes albopictus*. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases* 2007;7(1):76-85.
- (53) 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 Apr 2;8(4):e60874.
- (54) Tsetsarkin KA, Vanlandingham DL, McGee CE, Higgs S. A single mutation in chikungunya virus affects vector specificity and epidemic potential. *PLoS Pathogens* 2007 Dec;3(12):e201.
- (55) Vazeille M, Moutailler S, Coudrier D, Rousseaux C, Khun H, Huerre M, *et al.* Two Chikungunya isolates from the outbreak of La Reunion (Indian Ocean) exhibit different patterns of infection in the mosquito, *Aedes albopictus*. *PLoS ONE* 2007;2(11):e1168.
- (56) de Lamballerie X, Leroy E, Charrel RN, Tsetsarkin K, Higgs S, Gould EA. Chikungunya virus adapts to tiger mosquito via evolutionary convergence: a sign of things to come? *Virology Journal* 2008;5:33.

- (57) CDC. First reports of Chikungunya in Western Hemisphere. Centers for Disease Control and Prevention 2013 (Consulté le 17 octobre 2014). Disponible à partir de : <http://www.cdc.gov/media/releases/2013/p1218-chikungunyas.html>.
- (58) ECDC. Epidemiological update: autochthonous cases of chikungunya fever in the Caribbean region and South America. European Centre for Disease Prevention and Control 2014 (Consulté le 3 décembre 2014). Disponible à partir de : http://www.ecdc.europa.eu/en/press/news/_layouts/forms/News_DispatchForm.aspx?List=8db7286c-fe2d-476c-9133-18ff4cb1b568&ID=957.
- (59) CDC. First Chikungunya case acquired in the United States reported in Florida. Centers for Disease Control and Prevention 2014 (Consulté le 15 octobre 2014). Disponible à partir de : <http://www.cdc.gov/media/releases/2014/p0717-chikungunya.html>.
- (60) Richards SL, Anderson SL, Smartt CT. Vector competence of Florida mosquitoes for chikungunya virus. *Journal of Vector Ecology* 2010 Dec;35(2):439-43.
- (61) CDC. Chikungunya virus in the United States. Centers for Disease Control and Prevention 2014 (Consulté le 24 novembre 2014). Disponible à partir de : <http://www.cdc.gov/chikungunya/geo/united-states.html>.
- (62) CBC. Chikungunya, mosquito-borne virus, infected more than 200 Canadians. *The Canadian Press* 2014 (22 octobre 2014). Disponible à partir de : <http://www.cbc.ca/news/health/chikungunya-mosquito-borne-virus-infected-more-than-200-canadians-1.2808678>.
- (63) MSSS. Flash Vigie d'Octobre 2014. Bulletin québécois de vigie, de surveillance et d'intervention en protection de la santé publique 20149 (Consulté le 23 octobre 2014). Disponible à partir de : http://publications.msss.gouv.qc.ca/acrobat/f/documentation/2006/06-271-02W-vol9_no8.pdf.
- (64) CDC. Geographic Distribution of Chikungunya: Countries and territories where chikungunya cases have been reported. Centers for Disease Control and Prevention 2014 (Consulté le 26 novembre 2014). Disponible à partir de : <http://www.cdc.gov/chikungunya/geo/>.
- (65) Andreadis TG. Failure of *Aedes albopictus* to overwinter following introduction and seasonal establishment at a tire recycling plant in the northeastern USA. *Journal of the American Mosquito Control Association* 2009 Mar;25(1):25-31.
- (66) ISQ. Valeur des importations internationales par pays, Québec et Canada, 2012 et 2013. Institut de la statistique du Québec 2013 (Consulté le 28 novembre 2014). Disponible à partir de : http://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/economie/commerce-exterieur/imp_pays_2013.htm.
- (67) GDG Environnement. Compte-rendu des activités de la saison 2005. 2005.
- (68) PHO. Monthly Infectious Diseases Surveillance Report. Santé publique Ontario; 2014. Report No.: 3.
- (69) Statistique Canada. Voyages-personnes, nuitées-personnes et dépenses des résidents canadiens revenant d'un séjour d'une nuit ou plus dans des pays autres que les États-Unis, selon certaines caractéristiques des voyages, 2010. Gouvernement du Canada 2013 (Consulté le 17 octobre 2014). Disponible à partir de : <http://www.statcan.gc.ca/pub/66-201-x/2010000/t033-fra.htm>.

- (70) Statistique Canada. Caractéristiques des voyages des résidents canadiens revenant d'un séjour d'une nuit ou plus dans des pays autres que les États-Unis — Province de résidence, 2010. Gouvernement du Canada 2013 (Consulté le 17 octobre 2014). Disponible à partir de : <http://www.statcan.gc.ca/pub/66-201-x/2010000/t031-fra.htm>.
- (71) EC. Rapport de données mensuelles: Métadonnées de station Pierre Elliott Trudeau Aéroport Internationale. Environnement Canada 201423 octobre 2014 (Consulté le 3 décembre 2014). Disponible à partir de : http://climat.meteo.gc.ca/climateData/monthlydata_f.html?timeframe=3&Prov=QC&StationID=5415&mlyRange=1941-01-01|2014-09-01&Year=2013&Month=1&Day=1.
- (72) Yang HM, Macoris MLG, Galvani KC, Andrighetti MTM, Wanderley DMV. Assessing the effects of temperature on the population of *Aedes aegypti*, the vector of dengue. *Epidemiology & Infection* 2009;137(08):1188-202.
- (73) Tsuda Y, Takagi M. Survival and Development of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) Larvae Under a Seasonally Changing Environment in Nagasaki, Japan. *Environmental Entomology* 2001 Oct 1;30(5):855-60.
- (74) Christophers SR. *Aedes Aegypti*, The yellow fever mosquito. London: Cambridge University Press; 1960.
- (75) Bar-Zeev M. The Effect of Temperature on the Growth Rate and Survival of the Immature Stages of *Aedes aegypti*. *Bulletin of Entomological Research* 1958;49(01):157-63.
- (76) OMS. Dengue guidelines for diagnosis, treatment, prevention and control. Organisation mondiale de la Santé 2009 (Consulté le 17 octobre 2014). Disponible à partir de : http://whqlibdoc.who.int/publications/2009/9789241547871_eng.pdf.
- (77) Brady OJ, Golding N, Pigott DM, Kraemer MU, Messina JP, Reiner RC, Jr., *et al.* Global temperature constraints on *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus* persistence and competence for dengue virus transmission. *Parasites & Vectors* 2014;7:338.
- (78) Hanson SM, Craig GB, Jr. *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) eggs: field survivorship during northern Indiana winters. *Journal of Medical Entomology* 1995 Sep;32(5):599-604.
- (79) Nawrocki SJ, Hawley WA. Estimation of the northern limits of distribution of *aedes albopictus* in North America. *Journal of the American Mosquito Control Association* 1987;3(2):314-7.
- (80) Chang LH, Hsu EL, Teng HJ, Ho CM. Differential Survival of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) Larvae Exposed to Low Temperatures in Taiwan. *Journal of Medical Entomology* 2007 Mar 1;44(2):205-10.
- (81) Swanson J, Lancaster M, Anderson J, Crandell M, Haramis L, Grimstad P, *et al.* Overwintering and establishment of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in an urban La Crosse virus enzootic site in Illinois. *Journal of Medical Entomology* 2000 May;37(3):454-60.
- (82) Changnon SA, Hilberg SD, Kunkel KE. El Niño 1997-1998 in the Midwest. Illinois Department of Natural Resources 2000 (Consulté le 17 octobre 2014). Disponible à partir de : <http://www.isws.illinois.edu/pubdoc/DCS/ISWSDCS2000-01.pdf>.
- (83) Delatte H, Gimonneau G, Triboire A, Fontenille D. Influence of temperature on immature development, survival, longevity, fecundity, and gonotrophic cycles of *Aedes albopictus*, vector of chikungunya and dengue in the Indian Ocean. *Journal of Medical Entomology* 2009 Jan;46(1):33-41.

- (84) Kobayashi M, Nihei N, Kurihara T. Analysis of northern distribution of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in Japan by geographical information system. *Journal of Medical Entomology* 2002 Jan;39(1):4-11.
- (85) GIEC. Annex I: Atlas of Global and Regional Climate Projections [van Oldenborgh, G.J., M. Collins, J. Arblaster, J.H. Christensen, J. Marotzke, S.B. Power, M. Rummukainen and T. Zhou (eds.)]. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge, United Kingdom & New York, NY, USA: Cambridge University Press; 2013. p. 1311-93.
- (86) GIEC. Changements climatiques 2013: les éléments scientifiques. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat 2014 (Consulté le 15 octobre 2014). Disponible à partir de : http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/index_fr.shtml.
- (87) T.F.Stocker, D.Qin, G.-K.Plattner, M.Tignor, S.K.Allen, J.Boschung, *et al.* Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. GIEC 2013. Disponible à partir de : <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-spm.pdf>.
- (88) Nicholas Ogden, Radojevic Milka, Cyril Caminade, Philippe Gachon. Recent and projected future climatic suitability of North America for the Asian tiger mosquito *Aedes albopictus*. *Parasites & Vectors* 2014;7(532).
- (89) Francis Schaffner, Marie Vazeille, Christian Kaufmann, Anna-Bella Failloux, Alexander Mathis. Vector competence of *Aedes japonicus* for chikungunya and dengue viruses. *European Mosquito Bulletin* 2011;29:141-2.
- (90) Le chikungunya: situation mondiale. Gouvernement du Canada 2014 (Consulté le 3 décembre 2014). Disponible à partir de : <http://voyage.gc.ca/voyager/sante-securite/conseils-sante-voyageurs/chikungunya-mondiale>.
- (91) ECDC. Guidelines for the surveillance of invasive mosquitoes in Europe. European Centre for Disease Prevention and Control, Stockholm 2012 (Consulté le 17 octobre 2014). Disponible à partir de : <http://www.ecdc.europa.eu/en/publications/Publications/TER-Mosquito-surveillance-guidelines.pdf>.

Annexe 1

Demande d'avis scientifique

Ministère de la Santé
et des Services
sociaux

Québec

Direction générale
de la santé publique

Québec, le 19 août 2014



Monsieur Luc Boileau
Président-directeur général
Institut national de santé publique du Québec
945, rue Wolfe, 3^e étage
Québec (Québec) G1V 5B3

Objet : Avis scientifique sur l'épidémiologie du chikungunya

Monsieur le Président-Directeur général,

Dans le contexte actuel, de l'émergence du chikungunya dans les Amériques, le ministère de la Santé et des Services sociaux a demandé aux régions d'enquêter tous les cas humains confirmés chez les résidents du Québec afin de documenter les lieux d'acquisition de la maladie. En effet, nous assistons actuellement à une flambée épidémiologique de chikungunya dans les Caraïbes, à l'émergence des premiers cas acquis sur le territoire continental des États-Unis, ainsi qu'aux premières déclarations chez des résidents du Québec ayant voyagé.

Actuellement, les données de surveillance entomologique semblent démontrer que les deux principales espèces vectrices ne seraient pas présentes au Québec, mais le seraient dans certains états américains limitrophes, tel que le New Jersey.

À cet effet, nous souhaiterions obtenir un avis sur l'émergence possible de cette maladie et du risque de transmission vectorielle au Québec dans les prochaines années. Cet avis est attendu d'ici la fin du mois de novembre 2014.

En vous remerciant pour votre précieuse collaboration, nous vous prions d'agréer, Monsieur le Président-Directeur général, l'expression de nos sentiments les meilleurs.

Le directeur national de santé publique
et sous-ministre adjoint,



Horacio Arruda, M.D.

HA/MM/SJ/ip

N/Réf. : 14-MTL-105



www.inspq.qc.ca

