

Portrait de l'infection par le virus du Nil occidental au Québec : 2003-2018

Portrait de l'infection par le virus du Nil occidental au Québec : 2003-2018

RAPPORT DE SURVEILLANCE

Direction des risques biologiques et de la santé au travail

Mars 2021

AUTEURES

Najwa Ouhoummane, Ph. D.

Julie Ducrocq, D.V.M., M. Sc.

Alejandra Irace-Cima, M.D., M. Sc., F.R.C.P.C.

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

COLLABORATEUR

Antoinette Ludwig, D.V.M., Ph. D.

Agence de la santé publique du Canada

RÉVISION EXTERNE

François Milord, M.D.

Direction de santé publique, CISSS de la Montérégie-Centre

Germain Lebel, M. Sc.

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

Les réviseurs ont été conviés à apporter des commentaires sur la version préfinale de cet avis et en conséquence, n'en ont pas révisé ni endossé le contenu final.

MISE EN PAGE

Judith Degla, agente administrative

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

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Gilles Delage, Geneviève Germain, Marion Ripoche et Isabelle Picard pour leurs commentaires judicieux.

Gilles Delage, M.D., M. Sc.

Vice-Président, Affaires médicales et innovation, microbiologie

Héma-Québec

Geneviève Germain, M. Sc., conseillère scientifique

Marion Ripoche, Ph. D., conseillère scientifique

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

Isabelle Picard, D.V.M.

Direction de la santé animale, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec

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 – 3^e trimestre 2021

Bibliothèque et Archives nationales du Québec

ISBN : 978-2-550-90151-8 (PDF)

© Gouvernement du Québec (2021)

Table des matières

Liste des tableaux	III
Liste des figures	V
Liste des sigles et acronymes	VII
Faits saillants	1
Sommaire	3
1 Introduction	5
2 Contexte	7
3 Objectifs	9
4 Méthode	11
4.1 Sources de données.....	11
4.1.1 Surveillance des cas humains	11
4.1.2 Surveillance animale	12
4.1.3 Surveillance entomologique.....	12
4.1.4 Indice de défavorisation.....	13
4.2 Analyses statistiques	14
4.2.1 Analyses descriptives	14
4.2.2 Analyses d'association	14
5 Résultats	17
5.1 Surveillance humaine.....	17
5.2 Surveillance animale	23
5.2.1 Animaux domestiques	23
5.2.2 Oiseaux sauvages.....	24
5.3 Surveillance entomologique	25
5.4 Surveillance intégrée du VNO.....	26
6 Discussion	29
6.1 Surveillance humaine.....	29
6.2 Surveillance animale	32
6.3 Surveillance entomologique	33
6.4 Limites des données de surveillance.....	33
7 Conclusion	35
8 Références	37
Annexe Taux d'incidence standardisé d'infection par le VNO par municipalité d'acquisition, 2015-2018	41

Liste des tableaux

Tableau 1	Caractéristiques démographiques et cliniques des cas d'infection par le VNO au Québec, 2003-2018	18
Tableau 2	Taux brut d'incidence d'infection par le VNO, selon la RSS d'acquisition probable, Québec, 2012-2018	20
Tableau 3	Risque relatif d'infection par le VNO selon la défavorisation matérielle et sociale, Québec, 2012-2018	23
Tableau 4	Nombre de chevaux et autres animaux domestiques confirmés positifs pour le VNO par le MAPAQ, Québec, 2003-2018.....	24
Tableau 5	Distribution des stations entomologiques et stations avec des lots positifs pour le VNO, selon la RSS, 2003-2006 et 2013-2018	25
Tableau 6	Nombre de lots de moustiques positifs pour le VNO, selon l'espèce de moustique et l'année de collecte, Québec, 2003-2006 et 2013-2018	26
Tableau 7	Premier signal de circulation du VNO selon le volet de la surveillance, 2003-2006 et 2013-2018.....	27
Tableau 8	Nombre de cas et taux d'incidence standardisé d'infection par le VNO par municipalité d'acquisition, 2015-2018	43

Liste des figures

Figure 1	Nombre et taux brut d'incidence d'infection par le VNO par sexe et par groupe d'âge, 2012-2018	19
Figure 2	Distribution annuelle du nombre de cas humains d'infection par le VNO acquis au Québec et taux brut d'incidence, 2003-2018	19
Figure 3	Taux brut d'incidence d'infection par le VNO, selon la RSS d'acquisition probable et le groupe d'âge, 2012-2018.....	21
Figure 4	Semaine CDC d'observation du premier cas humain de la saison, 2003-2018.....	22
Figure 5	Distribution saisonnière des cas d'infection par le VNO, selon la semaine CDC de début des symptômes ou de déclaration des cas asymptomatiques, 2003-2018	22
Figure 6	Nombre d'oiseaux sauvages confirmés positifs pour le VNO par le CQSAS par espèces et année, 2003-2018.....	24
Figure 7	Distribution saisonnière du nombre de cas humains, d'oiseaux sauvages et du taux d'infection des <i>Culex p-r</i> , par semaine CDC, 2003-2018.....	27
Figure 8	Nombre de cas humains et d'oiseaux sauvages infectés par le VNO, par année	28
Figure 9	Nombre de cas humains et taux d'infection des <i>Culex p-r</i> , par année	28

Liste des sigles et acronymes

ADs	Aires de diffusions
ASPC	Agence de la santé publique du Canada
BIESP	Bureau d'information et d'études en santé des populations
CDC	Centers for Disease Control and Prevention
CQSAS	Centre québécois sur la santé des animaux sauvages
CV	Coefficient de variation
<i>Culex p-r</i>	<i>Culex pipiens et restuans</i>
DSPu	Direction de santé publique
IC	Intervalles de confiances
INSPQ	Institut national de santé publique du Québec
LNM	Laboratoire national de microbiologie
LSPQ	Laboratoire de santé publique du Québec
MADO	Maladie à déclaration obligatoire
MAPAQ	Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec
MSSS	Ministère de la Santé et des Services sociaux
p.-a	Personnes-années
PCR	Réaction de polymérisation en chaîne
PIE	Période d'incubation extrinsèque
RSS	Région sociosanitaire
SIDVS-VNO	Système intégré de données de vigie sanitaire du VNO
TI	Taux d'infection
VNO	Virus du Nil occidental

Faits saillants

Au Québec, le virus du Nil occidental (VNO) est une maladie à déclaration obligatoire depuis 2003 et fait l'objet d'une surveillance intégrée, incluant le volet humain, animal et entomologique.

Ce rapport présente un portrait de l'infection par le VNO au Québec pour la période de 2003 à 2018.

L'analyse des données a permis de dégager les constats suivants :

Surveillance humaine

- Au Québec, le VNO demeure une infection sporadique avec un faible nombre de cas déclarés annuellement. Des éclosions périodiques peuvent survenir, mais dont l'intensité et la temporalité demeurent difficiles à prédire à cause de l'interaction de plusieurs facteurs incluant la biologie des vecteurs, la diversité des hôtes réservoirs et les changements climatiques.
- Le VNO est présent dans plusieurs régions sociosanitaires (RSS) du Québec, mais concentré au sud de la province et la RSS de Laval affiche le taux d'incidence le plus élevé. Toutefois, la progression géographique observée dans le temps suggère que le risque d'infection par le VNO sur le territoire québécois est en continuelle évolution.

Surveillance animale

- Entre 2003 et 2018, des animaux domestiques (surtout des chevaux) et des oiseaux sauvages ont été confirmés positifs au VNO dans plusieurs RSS du Québec, avec une distribution au fil du temps similaire à celle des cas humains.
- Les oiseaux sauvages pourraient être un bon indicateur du début de saison, puisqu'ils étaient plus souvent signalés avant la déclaration des premiers cas humains ou la collecte des premiers lots de moustiques positifs.

Surveillance entomologique

- Entre 2003 et 2018, un total de 528 stations entomologiques ont été déployées dans douze RSS de la province. Des lots de moustiques positifs ont été collectés dans huit de ces régions. Sur l'ensemble des lots de moustiques analysés, une faible proportion (1,2 %) s'est révélée positive pour le VNO.

Surveillance intégrée

- L'analyse des données suggère la présence de corrélations positives entre l'incidence des cas humains et le nombre d'oiseaux sauvages positifs au VNO ou le taux d'infection des moustiques *Culex pipiens-restuans* (principaux vecteurs du VNO chez l'humain au Québec).
- Ces associations suggèrent que des données entomologiques ou animales pourraient servir d'indicateurs de détection précoce des saisons à forte circulation du VNO.

Sommaire

L'infection par le virus du Nil occidental (VNO) est une maladie à déclaration obligatoire (MADO) au Québec depuis 2003. Au cours de la même année, un programme de surveillance intégrée a été mis en place, incluant des activités de surveillance humaine, animale et entomologique. De plus, le système intégré de données de vigie sanitaire du VNO a été développé à l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ). Ce système intègre les données de surveillance humaine, animale et entomologique et vise à caractériser l'activité du VNO en cours de saison pour mieux cibler les interventions préventives en matière de protection personnelle ou communautaire.

Les objectifs de ce rapport sont de :

- Décrire les résultats de la surveillance intégrée de l'infection par le VNO au Québec entre 2003 et 2018 en mettant l'accent sur l'évolution spatio-temporelle de l'infection tout au long de cette période.
- Examiner le lien entre l'indice de défavorisation matérielle et sociale et le taux d'incidence de l'infection par le VNO.
- Décrire l'association spatio-temporelle entre les cas humains et les cas animaux et entre les cas humains et les données entomologiques.

Principaux constats

Surveillance humaine

Au Québec, le taux d'incidence de l'infection humaine par le VNO a connu de fortes fluctuations au cours de la période à l'étude, avec deux pics observés : un premier en 2012 et un deuxième plus important en 2018. Outre ces deux années, le taux d'incidence était généralement faible. Ces fluctuations annuelles demeurent mal comprises, mais pourraient être largement influencées par les variations climatiques qui jouent un rôle important dans le développement des moustiques et dans l'amplification du VNO chez les moustiques.

Entre 2003 et 2018, un total de 541 cas humains d'infection par le VNO ont été déclarés au Québec, dont la majorité (70 %) s'est présentée avec une atteinte neurologique et 4 % des cas en sont décédés. Ces proportions étaient également plus importantes en 2018 qu'en 2012 et s'expliquent en particulier par une proportion plus importante de personnes âgées rapportées en 2018. Ces résultats refléteraient un plus grand sous-diagnostic parmi les jeunes personnes (par comparaison aux personnes âgées), chez qui l'infection est généralement moins sévère, voire asymptomatique.

L'infection par le VNO est concentrée au sud du Québec avec plus de 90 % des cas rapportés dans les régions de Montréal, Laval, Lanaudière, Laurentides et Montérégie. Toutefois, la région de Laval, suivie par celle de la Montérégie, sont toutes deux les plus affectées par le VNO avec des taux d'incidence au moins deux fois plus élevés par rapport au reste de la province. Sur une échelle géographique plus fine que la région, la distribution des cas du VNO semble instable dans le temps et dans l'espace. En effet, à l'exception de quelques municipalités où le risque d'acquisition du VNO était présent de façon continue sur plusieurs années, la majorité des municipalités n'a affiché que des cas sporadiques au cours d'une ou deux saisons. Cependant, une progression géographique dans la distribution du VNO à travers le temps a été notée, avec plus de municipalités touchées, illustrant ainsi une évolution géographique continuelle du risque.

Statut socioéconomique

Les résultats de ce rapport ne soutiennent pas la présence de lien entre la défavorisation matérielle ou sociale et l'incidence du VNO chez l'humain.

Surveillance animale

Au cours de la période de l'étude, 70 chevaux et autres animaux domestiques infectés par le VNO ont été signalés par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec dans neuf régions sociosanitaires où des cas humains ont été déclarés. D'autre part, le Centre québécois sur la santé des animaux sauvages a recensé 408 oiseaux sauvages infectés par le VNO dans 16 régions sociosanitaires. Certains ont été retrouvés dans quatre régions où aucun cas humain d'infection par le VNO n'a été déclaré.

Surveillance entomologique

Entre 2003 et 2018, un total de 528 stations entomologiques ont été déployées dans 12 régions de la province. Parmi les 47 831 lots de moustiques testés, une faible proportion (1,2 %) s'est révélée positive pour le VNO.

Le taux d'infection des moustiques *Culex pipiens et restuans* était particulièrement élevé à Laval, ce qui coïncide avec un taux d'incidence chez les cas humains plus élevé dans cette région.

Surveillance intégrée

Des corrélations positives entre les données d'origine humaine, animale et entomologique ont été notées. Deux associations positives ont été obtenues avec un coefficient de détermination (R^2) de 38 % entre le taux d'incidence de cas humains et le nombre d'oiseaux sauvages et de 59 % entre le taux d'incidence de cas humains et le taux d'infection des *Culex pipiens et restuans* (vecteurs principaux du VNO au Québec). Ces relations laissent croire que des indicateurs entomologiques ou animaux pourraient servir d'outil de détection précoce des saisons à forte circulation du VNO. Ces relations devraient davantage être explorées dans le cadre de projets de recherche afin de pouvoir faire des recommandations aux autorités de santé publique pour mieux orienter les stratégies préventives.

1 Introduction

Le virus du Nil occidental (VNO) est un agent pathogène transmis par les moustiques qui représente une préoccupation pour la santé publique, en raison de ses conséquences en termes de morbidité et de mortalité, mais aussi pour son risque croissant en lien avec les changements climatiques (Ogden *et al.*, 2019).

Le principal mode de transmission du VNO à l'humain est par voie vectorielle, c'est-à-dire par la pique d'un moustique infecté qui s'est lui-même nourri du sang d'un oiseau porteur du virus. D'autres voies de transmission, incluant la voie transplacentaire, la transfusion sanguine et la greffe d'organes sont possibles, mais demeurent rares (Petersen *et al.*, 2013).

Depuis son apparition en 1999 en Amérique du Nord, le VNO est devenu la principale cause d'encéphalite arbovirale aux États-Unis. Au Québec, les premiers cas humains d'infection par le VNO ont été identifiés en 2002 avec 20 cas, dont trois décès. Dès 2003, l'infection par le VNO est devenue une maladie à déclaration obligatoire (MADO) et un programme de surveillance intégrée a été mis en place, incluant des activités de surveillance humaine, animale et entomologique. Au cours de la même année, le système intégré de données de vigie sanitaire du VNO a été développé à l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ). Ce système intègre les données de surveillance humaine, animale et entomologique et vise à caractériser l'activité du VNO en cours de saison pour mieux cibler les interventions préventives en matière de protection personnelle ou communautaire (Gosselin *et al.*, 2005).

Bien que la majorité des personnes touchées par le VNO soient asymptomatiques ou présentent un tableau fébrile bénin, environ 1 % des sujets développent une maladie sévère avec une atteinte neurologique (incluant une méningite, une encéphalite ou un syndrome de paralysie flasque) (Carson *et al.*, 2012; Gyure 2009). Cette forme sévère de la maladie affecte particulièrement les personnes âgées, ayant une maladie chronique ou un système immunitaire affaibli (Lindsey *et al.*, 2012; Murray *et al.*, 2009). Elle est souvent associée à une morbidité et une mortalité élevées ainsi qu'à des séquelles à long terme. En effet, lors d'une étude québécoise menée auprès des cas déclarés en 2012 et en 2013, les formes sévères (encéphalite) de l'infection étaient généralement plus associées à des individus plus âgés et présentant des conditions médicales sous-jacentes (diabète, maladie cardiovasculaire et hypertension artérielle). Ces individus avaient un risque plus élevé d'hospitalisation, de décès et manifestaient plus de séquelles fonctionnelles et mentales par comparaison aux sujets présentant une méningite ou sans atteinte neurologique (Ouhoummane *et al.*, 2018). Dans la même étude, plus de la moitié des cas d'encéphalite ont nécessité un support après leur congé de l'hôpital (réadaptation, transfert en centre d'hébergement et de soins de longue durée) et certains ont gardé des séquelles permanentes (paralysie persistante). Le fardeau économique du VNO est aussi important. Les coûts directs et indirects de l'infection par le VNO au Québec ont été estimés à 1,7 M\$ pour la saison de 2012 (avec 124 cas symptomatiques) et à 430 000 \$ pour celle de 2013 (avec 31 cas) (Ouhoummane *et al.*, 2019). Plus de 80 % des coûts étaient liés à l'hospitalisation et à la perte de productivité (absence de travail).

2 Contexte

Depuis l'apparition du premier cas humain d'infection par le VNO au Québec, le nombre de cas déclarés annuellement a connu de fortes fluctuations tout au long des deux dernières décennies. Deux années ont recensé un nombre important de cas, soit 2012 et 2018 avec respectivement 133 et 200 cas acquis au Québec. À ce jour, aucune analyse des données de surveillance cumulées sur plusieurs années n'a été effectuée au Québec, et celle effectuée annuellement manque souvent de précision sur le plan statistique, compte tenu du faible nombre de cas déclarés. Une analyse des données sur une longue période aurait l'avantage de mieux décrire les caractéristiques des cas, de suivre leur évolution dans le temps et dans l'espace et de mieux identifier les groupes les plus à risque et ainsi mieux orienter les interventions en santé publique.

De plus, plusieurs études ont noté un lien entre le faible niveau socioéconomique et une incidence élevée de l'infection par le VNO (Liu, Weng, et Gaines 2011; Ozdenerol *et al.*, 2008). Ces études suggèrent que le faible niveau d'éducation, le faible revenu, une proportion élevée de vieilles maisons ou d'espaces libres sont associés à un risque plus élevé du VNO. Les auteurs expliquent que le fait d'habiter dans de vieilles maisons avec de vieux systèmes de drainage des eaux de pluie et une végétation mature favoriserait une augmentation de l'habitat des vecteurs et des hôtes et ainsi du risque d'infection par le VNO. Une autre étude suggère une association entre le faible revenu, la densité de piscines mal entretenues et un risque plus élevé d'infection par le VNO (Harrigan *et al.*, 2010). Plus récemment, une étude a mis en évidence une corrélation positive entre l'indice vectoriel des *Culex quinquefasciatus* et la proportion des ménages à faible revenu, des maisons construites avant les années 60 et la densité des logements (Lockaby *et al.*, 2016).

Au Québec, un indice de défavorisation à composantes matérielle et sociale a été développé vers la fin des années 90 (Gamache *et al.*, 2019). Cet indice réfère aux biens et aux commodités de la vie courante (composante matérielle) et à la fragilité du réseau social, de la famille à la communauté (composante sociale). Il s'agit d'un *proxy* écologique construit sur la base d'unités microgéographiques, soit les aires de diffusions (ADs) issues des recensements canadiens et qui s'avèrent relativement homogènes au plan socioéconomique. Ces territoires ont l'avantage de pouvoir être associés aux codes postaux de résidence. Il serait pertinent d'examiner le lien entre cet indice de défavorisation et le taux d'incidence de l'infection par le VNO au Québec.

Ce rapport décrit les résultats de la surveillance intégrée du VNO pour la période de 2003 à 2018 et repose sur les données issues du Système intégré de données de vigie sanitaire du VNO (SIDVS-VNO) extraites en date du 30 avril 2019. Comme les données de surveillance animale n'ont pas été saisies dans le système SIDVS-VNO entre 2006 et 2012 inclusivement, les données présentées dans ce rapport ont été fournies par les différentes organisations chargées de la surveillance animale : le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) pour les cas de chevaux et autres espèces domestiques et le Centre québécois sur la santé des animaux sauvages (CQSAS) pour les cas d'oiseaux sauvages.

3 Objectifs

Surveillance humaine

Le présent rapport vise à décrire l'évolution spatio-temporelle des cas humains d'infection par le VNO entre 2003 et 2018 et à caractériser les disparités liées à l'âge, au sexe et aux inégalités sociales (défavorisation matérielle et sociale).

Surveillance animale et entomologique

En ce qui concerne la surveillance animale et entomologique, l'objectif de ce rapport est de décrire les données disponibles depuis 2003 et d'examiner leur distribution temporelle, géographique et saisonnière.

Surveillance intégrée

Enfin, une analyse croisée des données des trois volets de surveillance a été effectuée dans le but de décrire l'association entre les cas humains et les cas animaux et entre les cas humains et les données entomologiques.

4 Méthode

4.1 Sources de données

4.1.1 SURVEILLANCE DES CAS HUMAINS

L'infection par le VNO fait partie des MADO au Québec. Les médecins et les dirigeants des laboratoires ou des départements de biologie médicale doivent déclarer aux directions de santé publique (DSPu) tous les cas positifs au VNO. Au Québec, tous les échantillons biologiques (sérum ou le liquide céphalo-rachidien) des patients sont soumis au Laboratoire de santé publique du Québec (LSPQ) qui effectue la détection des anticorps IgM anti-VNO par une épreuve immuno-enzymatique de type EIA. Les premiers spécimens positifs de la saison en cours sont acheminés au Laboratoire national de microbiologie (LNM) pour confirmer la présence d'anticorps neutralisants par un test de séroneutralisation des plages de lyse (PRNT). Par la suite, tous les autres échantillons positifs pour la présence d'IgM de la même saison sont considérés comme ayant été confirmés en laboratoire.

De plus, dans le cadre de leur stratégie de prévention et de contrôle pour réduire le risque lié à la transfusion, Héma-Québec procède depuis 2003 à une surveillance active des cas asymptomatiques par le biais d'un dépistage systématique du VNO chez les donneurs de sang pendant la période estivale. Le test utilisé (test d'amplification génique RT-PCR) permet de détecter l'acide ribonucléique du VNO chez une personne en phase aiguë de l'infection primaire.

L'ensemble des cas humains d'infection par le VNO font l'objet d'une enquête épidémiologique par la DSPu concernée afin de documenter l'infection, déterminer le lieu probable d'acquisition et recueillir certaines informations cliniques et sociodémographiques du patient. Les cas sont classés en fonction de leurs manifestations cliniques : syndrome neurologique lié au VNO (incluant les cas d'encéphalite, de méningite, de méningo-encéphalite et de syndrome de paralysie flasque), syndrome non neurologique lié au VNO et infection asymptomatique liée au VNO, toutes trois subdivisées en cas confirmés ou cas probables¹.

Les résultats des enquêtes épidémiologiques effectuées par les DSPu sont saisis dans le SIDVS-VNO. Ainsi, pour chaque cas, nous pouvons connaître sa présentation clinique (neurologique, non neurologique ou asymptomatique), le statut sérologique (confirmé ou probable), la date de début des symptômes, la date de début d'épisode (date de déclaration), les complications (hospitalisation, durée de l'hospitalisation, séjour aux soins intensifs, décès) et certaines caractéristiques sociodémographiques du patient, incluant l'âge, le sexe, la région de résidence et la région probable d'acquisition.

¹ Surveillance des maladies à déclaration obligatoire au Québec. Maladies d'origine infectieuse. <https://publications.msss.gouv.qc.ca/msss/fichiers/2019/19-268-05W.pdf>.

4.1.2 SURVEILLANCE ANIMALE

Animaux domestiques

Les animaux domestiques (principalement les chevaux, mais aussi d'autres mammifères) font l'objet d'une surveillance passive par le MAPAQ. Depuis mai 2003, le VNO est une maladie à notification immédiate chez les animaux domestiques, en vertu d'une loi fédérale. Les médecins vétérinaires doivent signaler au MAPAQ tous les cas suspects ou confirmés de VNO. Ils sont également encouragés à soumettre des échantillons pour le diagnostic du VNO aux laboratoires du MAPAQ. Une analyse sérologique ou par PCR est utilisée pour le diagnostic du VNO.

Animaux sauvages

Les oiseaux sauvages constituent le principal réservoir du VNO et jouent également le rôle d'amplificateur du virus. Ces oiseaux font l'objet d'une surveillance passive par le CQSAS dans le cadre de la surveillance des causes de mortalité et morbidité des animaux sauvages. Les animaux soumis pour analyses sont collectés dans le cadre d'autres programmes de surveillance ciblant diverses maladies de la faune (pour les oiseaux, notamment dans le cadre de la surveillance de l'influenza aviaire). Les carcasses animales sont donc rapportées par les particuliers via une ligne téléphonique centrale gérée par le MAPAQ (1-877-644-4545), puis un agent de la faune se déplace et récolte les cadavres qui sont ensuite acheminés au CQSAS pour nécropsie. Dans l'éventualité où une infection par le VNO est suspectée lors de la nécropsie, des échantillons de tissus seront soumis pour analyses RT-PCR (transcription inversée-réaction en chaîne par polymérisation) au Complexe de pathologie et d'épidémiologie du Québec. Les données sont finalement compilées par le CQSAS (CQSAS, 2016).

4.1.3 SURVEILLANCE ENTOMOLOGIQUE

Une surveillance entomologique active est effectuée au Québec depuis 2003. Elle a été interrompue entre 2007 et 2012 inclusivement (à cause du faible nombre de cas humains déclarés) puis reprise en 2013 dans certaines régions suite à la recrudescence du nombre de cas. La méthodologie de la surveillance entomologique a varié dans le temps, notamment en ce qui concerne le nombre et l'emplacement des stations. En effet, au cours des premières années, elle était réalisée dans les zones où l'activité du VNO a été documentée dans les années précédentes et visait principalement l'identification des milieux où l'application des larvicides était prévue. Depuis 2016, le choix de l'emplacement des stations est basé sur le calcul d'un indice de pertinence² des stations, qui tient compte du nombre de cas humains, de la taille de population et du nombre de lots de moustiques capturés dans la station et testés positifs pour le VNO. Par souci d'amélioration de la sensibilité et de la spécificité des données entomologiques recueillies, le groupe d'experts scientifiques sur les maladies transmises par les moustiques a recommandé l'installation d'un minimum de trois pièges dans chaque RSS où des cas humains ont été acquis depuis 2002. De plus, depuis 2017, la surveillance entomologique est maintenue dans les mêmes stations pour effectuer un suivi longitudinal. La méthode et les objectifs de la surveillance entomologique pour chaque année sont détaillés dans les rapports annuels de surveillance publiés par l'INSPQ jusqu'à 2017.

² L'emplacement des pièges en 2016 a été déterminé à l'aide du calcul d'un indice de pertinence (INSPQ, 2016). Cet indice prend en considération, pour chaque station entomologique historiquement déployée pour la surveillance du VNO : le nombre total de lots positifs pour VNO, le nombre total d'années d'exploitation, le nombre total de cas humains survenus dans un rayon de 2 km autour de chaque station, ainsi que le nombre d'habitants par km² dans l'aire de diffusion où se trouve chaque station entomologique.

Bien que la période de surveillance ait pu varier d'année en année, elle a eu lieu généralement entre juillet et octobre (saison de transmission du VNO au Québec). Dans chaque station, des pièges à moustiques de type CDC *Miniature Light Trap* sont installés. Les attractants sont une lampe UV et de la glace sèche (CO₂), qui attire des moustiques femelles en quête d'un repas de sang. La capture se fait selon un protocole standardisé : installation des pièges en après-midi et collecte des moustiques pendant la nuit, puis ramassage de l'échantillon l'avant-midi suivant. L'ensemble des spécimens collectés sont identifiés et comptés par espèce ou groupe d'espèces et regroupés en lots. Chaque lot est composé d'un maximum de 50 spécimens d'une même espèce provenant du même échantillon. Dans le cas de gros échantillons (ex. : 1 000 moustiques), un sous-échantillonnage est réalisé. Une seule partie est alors identifiée et le ratio du sous-échantillonnage est enregistré afin de procéder au calcul de l'abondance dans l'échantillon complet. Par la suite, trois lots sont sélectionnés selon une liste d'espèces de moustiques prioritaires pour la détection virale établie par le MSSS³. La priorité est accordée en premier lieu au groupe *Culex pipiens-restuans*, qui est le principal vecteur du VNO chez l'humain au Québec. Ainsi, ce n'est qu'en l'absence de lots de groupe *Culex pipiens-restuans* que des *Aedes vexans* sont testés et ainsi de suite. Les lots sélectionnés sont soumis à une détection du VNO par la méthode de transcription inverse et réaction en chaîne de la polymérase en temps réel (RT-PCR) réalisée au LSPQ.

Les données de surveillance entomologiques sont également saisies dans le SIDVS-VNO. Ces données incluent entre autres l'information sur la localisation géographique des stations entomologiques (latitude, longitude et région), la méthode de capture, le nombre de nuits de capture, le nombre de lots, le nombre de moustiques par lot, l'espèce de moustique par pool, la date de collecte, le nombre de lots analysés et son statut pour le VNO (positif ou négatif).

4.1.4 INDICE DE DÉFAVORISATION

Au Québec, un indice de défavorisation à composantes matérielle et sociale a été développé vers la fin des années 90 (Gamache *et al.*, 2019). Cet indice est construit sur la base d'unités microgéographiques, soit les ADs issues des recensements canadiens. Il est obtenu à partir de six indicateurs répartis selon deux dimensions : matérielle et sociale. Ces indicateurs sont retenus sur la base de leur impact potentiel sur la santé, leur lien avec l'une ou l'autre forme de défavorisation et leur disponibilité dans les données de recensement canadien. La dimension matérielle traduit 1) la proportion de personnes de 15 ans et plus sans diplôme d'études secondaires, 2) la proportion de personnes occupant un emploi et 3) le revenu moyen personnel, tandis que la dimension sociale traduit 1) la proportion de personnes vivant seules dans leur domicile, 2) la proportion de personnes séparées, divorcées ou veuves, ou 3) la proportion de familles monoparentales. L'ensemble de ces indicateurs, à l'exception du dernier, sont ajustés selon la structure d'âge et de sexe de la population de référence. La conversion de ces indicateurs sous forme d'indice de défavorisation est effectuée par une analyse en composante principale. Enfin, afin d'assurer une précision statistique dans l'étude des inégalités sociales, la population du Québec a été, pour chaque dimension, subdivisée en quintiles de défavorisation à taille égale (20 %), du plus favorisé (quintile 1) au plus défavorisé (quintile 5). Pour plus de détails, voir la page web sur l'indice de défavorisation⁴.

³ Les espèces prioritaires de moustiques à tester pour le VNO sont dans l'ordre suivant : *Culex pipiens/restuans*, *Aedes vexans vexans/nipponi*, *Ochlerotatus triseriatus-hendersoni gr.*, *Ochlerotatus canadensis*, *Ochlerotatus japonicus*, *Anopheles punctipennis*, *Anopheles walkeri*, *Anopheles quadrimaculatus et gr.*, *Coquillettidia perturbans et Culex tarsalis*.

⁴ <https://www.donneesquebec.ca/recherche/fr/dataset/indice-de-defavorisation-du-quebec-2016>.

4.2 Analyses statistiques

4.2.1 ANALYSES DESCRIPTIVES

Pour les cas humains, les analyses descriptives ont été effectuées sur l'ensemble des cas acquis au Québec entre 2003 et 2018. Une description des cas spécifiquement avec une atteinte neurologique a également été effectuée.

Les taux d'incidence bruts et ajustés ont été estimés par 100 000 personnes-années (p.-a), selon l'année de déclaration, la région sociosanitaire (RSS) d'acquisition, le sexe et le groupe d'âge. Les estimations et projections démographiques annuelles basées sur le recensement de 2011 ont servi de dénominateurs pour le calcul des taux. Pour le calcul des taux par RSS d'acquisition, les cas dont la RSS d'acquisition était inconnue ($n = 3$) et les cas acquis à l'extérieur de leur RSS de résidence ($n = 10$) ont été exclus. Les taux ont été ajustés pour l'âge, sexes réunis, par la méthode de standardisation directe en utilisant la structure d'âge de la population du Québec en 2011. Les intervalles de confiance (IC) à 95 % ont été calculés en utilisant la méthode basée sur la distribution Gamma, favorisée en présence d'un faible nombre de cas.

La saisonnalité des cas humains a été examinée par semaine CDC, selon la date de début des symptômes pour les cas symptomatiques et la date de déclaration pour les cas asymptomatiques déclarés par Héma-Québec. La distribution saisonnière des cas humains a été décrite par année.

Pour la surveillance animale, le nombre d'animaux domestiques et d'oiseaux sauvages signalés positifs pour le VNO a été estimé par année et par RSS de découverte. La saisonnalité des oiseaux sauvages a également été estimée par semaine de découverte des oiseaux et comparée à celle des cas humains.

Pour la surveillance entomologique, deux indicateurs ont été estimés : la proportion de lots de moustiques positifs pour le VNO et le taux d'infection (TI) des *Culex p-r*. Ce dernier représente le nombre de moustiques infectés parmi 1 000 moustiques testés et est estimé par la méthode du maximum de vraisemblance avec correction de biais (*Maximum Likelihood Estimation*) qui correspond à la proportion (selon une distribution binomiale) de moustiques infectés la plus probable pour obtenir le nombre de lots positifs parmi un nombre de lots testés de taille variable. Le calcul du TI a été réalisé à l'aide d'un module complémentaire « *PooledInfRate* » d'Excel développé par le CDC qui effectue les itérations du maximum de vraisemblance et produit l'estimé du TI et son intervalle de confiance (<http://www.cdc.gov/ncidod/dvbid/westnile/software.htm>).

4.2.2 ANALYSES D'ASSOCIATION

Pour chaque cas humain d'infection par le VNO, l'information sur l'indice de défavorisation matérielle et sociale a été ajoutée par le bureau d'information et d'études en santé des populations (BIESP) de l'INSPQ à partir des coordonnées GPS de résidence de chaque individu. Le lieu de résidence a été considéré comme lieu probable d'exposition pour l'ensemble des cas ayant acquis l'infection dans leur municipalité de résidence. Le lien entre le taux d'incidence de l'infection par le VNO et la défavorisation matérielle et sociale a été examiné par une régression binomiale négative, en utilisant le nombre annuel de cas par quintile de défavorisation comme variable dépendante et le logarithme de la taille de population comme variable de pondération (*offset*). Le modèle a été ajusté pour l'âge, le sexe, la région de résidence, l'année de déclaration du cas et l'autre dimension de défavorisation. L'âge a été traité en catégorie (< 30 ans, 30-39 ans, 40-49 ans... et ≥ 80 ans) et l'année en continue.

Par ailleurs, l'association entre le taux d'incidence des cas humains et le nombre d'oiseaux sauvages et l'association entre le taux d'incidence des cas humains et le TI des *Culex p-r* ont été examinées. Tout d'abord, les graphiques issus des modèles additifs généralisés (GAM) ont été utilisés pour évaluer le type d'association (c.-à-d. linéaires ou non linéaires) entre le nombre de cas humains et les variables explicatives (nombre d'oiseaux ou TI par année et RSS) et pour trouver la bonne transformation à appliquer à ces variables si la relation avec les cas humains est non-linéaire. Par la suite, la procédure GENMOD avec distribution de Poisson a été utilisée pour estimer les associations. Le nombre de cas humains par année et RSS étant la variable réponse, le logarithme de la taille de population a été utilisé comme variable de pondération (*offset*) et une mesure répétée par RSS a aussi été utilisée. Enfin, la programmation macro pour SAS « %RsquareV⁵ » élaborée par Zhang et ses collègues a été employée afin d'obtenir le coefficient de détermination (R^2) qui mesure la proportion de la variance du taux d'incidence expliquée par le nombre d'oiseaux ou par le TI des *Culex p-r* (Zhang D, A. 2017). Comme la surveillance entomologique a été interrompue entre 2007 et 2012 inclusivement, l'analyse d'association avec le TI a porté sur les périodes de 2003 à 2006 et de 2013 à 2018. De plus, les stations entomologiques qui ont fonctionné pendant moins de six semaines au cours d'une saison et les RSS avec moins de trois stations entomologiques déployées au cours d'une année ont été exclues des analyses.

Toutes les analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel SAS (version 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC). Une valeur- $p < 0,05$ est considérée comme statistiquement significative.

⁵ Disponible à : https://support.sas.com/kb/60/addl/fusion_60162_1_rsquarev.sas.txt.

5 Résultats

5.1 Surveillance humaine

Caractéristiques des cas d'infection par le VNO

Entre 2003 et 2018, un total de 541 cas d'infection par le VNO ont été déclarés comme ayant été acquis au Québec. Parmi eux, 376 (70 %) cas présentaient des atteintes neurologiques, 126 (23 %) présentaient un syndrome viral non neurologique, 31 (6 %) étaient des cas asymptomatiques déclarés par Héma-Québec suite à un don de sang et la présentation clinique était inconnue pour 8 cas.

Le tableau 1 présente l'évolution temporelle des caractéristiques démographiques et cliniques des cas. Compte tenu du faible nombre de cas rapportés entre 2003 et 2011 ($n = 72$) et entre 2013 et 2017 ($n = 134$), la moyenne du nombre de cas a été calculée sur chacune de ces deux périodes. De même, comme l'information sur l'atteinte neurologique et l'hospitalisation n'était disponible qu'à partir de 2012, l'analyse des caractéristiques cliniques des cas a été restreinte à la période de 2012 à 2018. Ainsi, entre 2003 et 2018, la proportion de personnes âgées de plus de 64 ans a augmenté de 20 %. Trois cas pédiatriques (de moins de 19 ans) ont été rapportés tout au long de cette période. La majorité des cas déclarés se sont présentés avec une atteinte neurologique, avec une proportion qui a augmenté de 12 % entre 2012 et 2018 ($p = 0.022$). La majorité des cas avec une atteinte neurologique se sont présentés avec une encéphalite (29 %) ou une méningo-encéphalite (27 %). Près de 22 % des cas se sont présentés avec une méningite et 8 cas de syndrome de paralysie flasque ont été rapportés. Bien que la présentation clinique fût similaire chez les hommes et les femmes, un peu plus d'hommes que de femmes avaient un syndrome de paralysie flasque (6 vs. 2) (données non présentées).

Au total, 24 décès liés au VNO ont été déclarés entre 2012 et 2018 (aucun décès lié au VNO avant 2012), avec une létalité qui a doublé au cours de cette période ($p = 0.007$). La majorité des décès ($n = 15$, 62 %) sont survenus chez des hommes. Tous les cas décédés avaient plus de 58 ans et se sont présentés avec une atteinte neurologique. L'ensemble des décès sont survenus dans cinq RSS (Montérégie, Laval, Montréal, Capitale-Nationale et Lanaudière) (données non présentées). Il est à noter que seuls les décès survenus avant ou en cours de l'enquête épidémiologique⁶ sont rapportés et donc le nombre réel de décès lié au VNO pourrait être supérieur à celui déclaré.

⁶ L'enquête épidémiologique peut s'étendre sur plusieurs jours au cours desquels on obtient des informations du cas, du médecin ou de l'établissement si le patient a été hospitalisé. Ainsi, les décès survenant après la fin de l'enquête ne sont pas rapportés.

Tableau 1 Caractéristiques démographiques et cliniques des cas d'infection par le VNO au Québec, 2003-2018

	Moyenne* 2003-2011 (n = 8)	2012 (n = 134)	Moyenne* 2013-2017 (n = 27)	2018 (n = 198)	Valeur-p de tendance ^ε
Sexe					0.714
Hommes	5 (58 %)	66 (49 %)	17 (61 %)	110 (56 %)	
Âge médian, ans (étendu)	58 (7-86)	59 (17-92)	60 (12-93)	65 (20-91)	0.062 ^β
Groupe d'âge					
1-18 ans	1/9 (1 %)	1 (1 %)	1/5 (1 %)	0	
19-34 ans	1 (10 %)	9 (7 %)	3 (9 %)	13 (6 %)	
35-49 ans	1,5 (20 %)	28 (21 %)	5 (17 %)	27 (14 %)	
50-64 ans	3 (37 %)	44 (33 %)	9 (34 %)	58 (29 %)	
≥ 65 ans	2 (31 %)	52 (39 %)	11 (39 %)	100 (51 %)	
Présentation clinique					0.022 [Ⓞ]
Inconnue	ND	0	0	3	
Asymptomatique	ND	10 (7 %)	1 (4 %)	10 (5 %)	
Non neurologique	ND	40 (30 %)	6 (23 %)	39 (20 %)	
Neurologique	ND	84 (63 %)	20 (74 %)	146 (75 %)	
Méningo-encéphalite	ND	16 (19 %)	7 (34 %)	51 (35 %)	
Encéphalite	ND	27 (32 %)	6 (29 %)	50 (34 %)	
Méningite	ND	15 (18 %)	7 (33 %)	31 (21 %)	
Syndrome de paralysie flasque	ND	2 (2 %)	1/5	5 (3 %)	
Autre	ND	1 (1 %)	1 (4 %)	9 (6 %)	
Non précisée	ND	23 (27 %)	0	0	
Évolution					
Hospitalisation	ND	107 (80 %)	22 (82 %)	157 (79 %)	
Soins intensifs	ND	32 (24 %)	6 (23 %)	49 (25 %)	
Décès lié au VNO	0	5 (4 %)	4/5 (3 %)	15 (8 %)	0.007

* Nombre moyen de cas sur les neuf années.

* Nombre moyen de cas sur les cinq années.

ε Valeur-p estimée par le test de tendance de Cochran-Armitage.

β Valeur-p estimée par le test de Kruskal-Wallis.

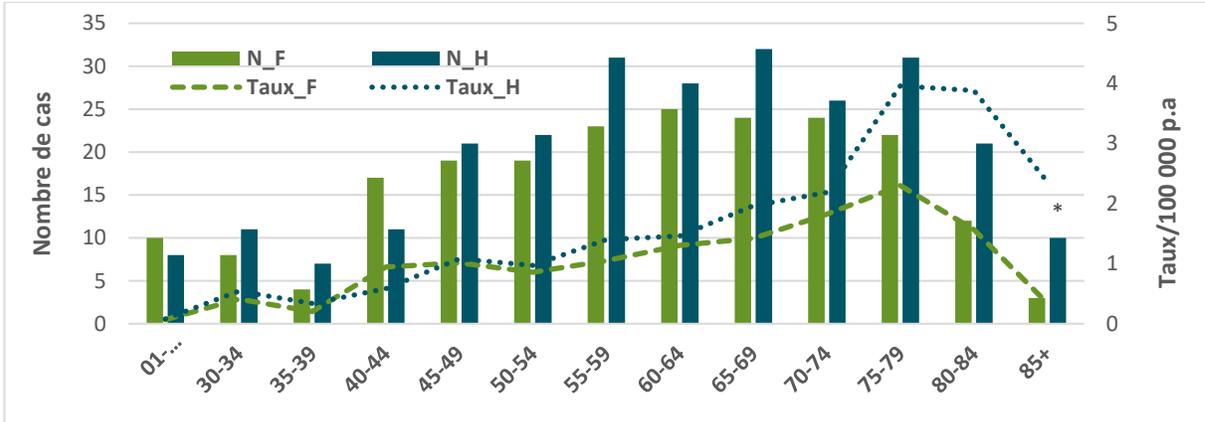
Ⓞ Valeur-p estimée par le test de tendance de Cochran-Armitage comparant les cas avec atteinte neurologique vs les cas asymptomatiques et sans atteinte neurologique combinés. ND : Information non disponible.

Répartition par sexe et par groupe d'âge

L'infection par le VNO touche autant les hommes que les femmes, mais se manifeste davantage chez les adultes âgés de 40 ans et plus (figure 1). Moins de 11 % des cas (n = 58) avaient moins de 40 ans. Le taux d'incidence agrégé sur une période de sept ans (de 2012 à 2018) a augmenté graduellement avec l'âge pour atteindre un pic à l'âge de 75-79 ans chez les deux sexes. Par la suite, bien que le taux ait baissé de façon importante chez les femmes, il est demeuré néanmoins élevé

chez les hommes avec un taux 2,5 et 7 fois plus élevé chez les hommes que chez les femmes de groupe d'âge de 80-84 ans et ≥ 85 ans, respectivement (figure 1).

Figure 1 Nombre et taux brut d'incidence d'infection par le VNO par sexe et par groupe d'âge, 2012-2018



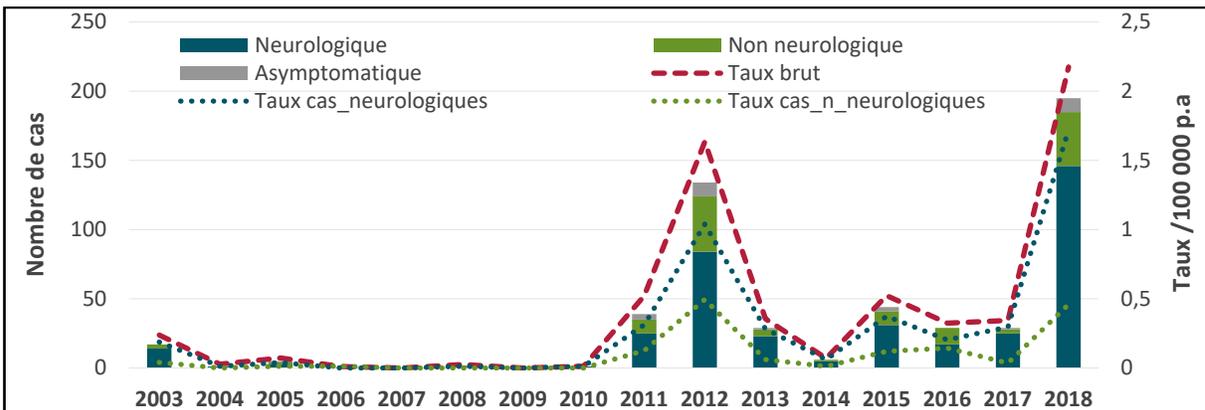
N_F = nombre de femmes, N_H = nombre d'hommes, Taux_F = taux d'incidence chez les femmes, Taux_H = taux d'incidence chez les hommes.

*Taux d'incidence statistiquement plus élevé chez les hommes que chez les femmes.

Évolution dans le temps du taux d'incidence

L'infection par le VNO a connu de fortes fluctuations tout au long de la période de surveillance (figure 2). Deux pics sont survenus : le premier en 2012 avec un taux d'incidence de 1,7/100 000 p.-a (IC : 1,4-1,9) et le deuxième en 2018 avec un taux d'incidence de 2,3/100 000 p.-a (IC : 1,9-2,5). Ces deux années affichaient des taux d'incidence significativement plus élevés par rapport aux autres années (où le taux était moins de 0,5/100 000 p.-a) et enregistraient plus de 60 % de l'ensemble des cas déclarés depuis 2003. En considérant uniquement les cas avec une atteinte neurologique, le taux d'incidence était 1,7 fois plus élevé en 2018 qu'en 2012 avec des taux d'incidence de 1,7 (IC : 1,3-1,9) et 1,0 (IC : 0,8-1,2) respectivement. Ces fluctuations ont été observées aussi bien chez les femmes que chez les hommes et dans tous les groupes d'âge, mais l'augmentation de 2018 a été plus importante parmi les hommes âgés de 70-79 ans (données non présentées).

Figure 2 Distribution annuelle du nombre de cas humains d'infection par le VNO acquis au Québec et taux brut d'incidence, 2003-2018



Répartition géographique des cas

1) Par Région sociosanitaire

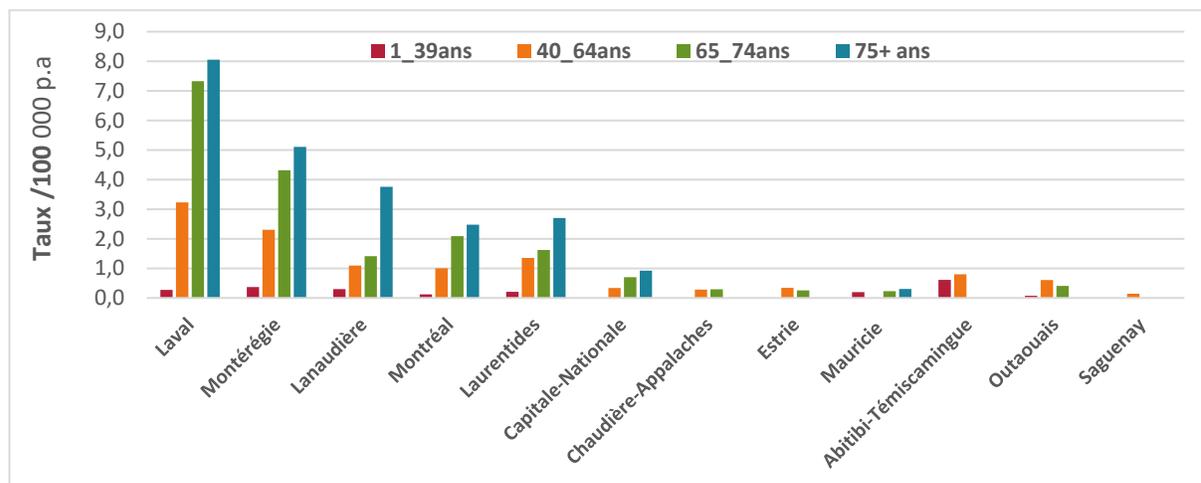
Entre 2003 et 2018, l'infection par le VNO s'est répartie dans douze RSS. Toutefois, 91 % des cas provenaient des cinq RSS du sud du Québec, soit Laval, la Montérégie, Montréal, Lanaudière et les Laurentides.

En termes de taux d'incidence, la RSS de Laval suivie par celle de la Montérégie affichaient les taux d'incidence les plus élevés (taux au moins deux fois plus élevé par rapport aux autres RSS) (tableau 2). En retenant uniquement les cas avec une atteinte neurologique, la RSS de Laval s'est démarquée par un taux d'incidence significativement plus élevé par comparaison aux autres RSS. Le taux plus élevé à Laval a été observé dans tous les groupes d'âge, bien qu'ils n'atteignent pas le seuil de signification statistique (figure 3).

Tableau 2 Taux standardisé d'incidence d'infection par le VNO, selon la RSS d'acquisition probable, Québec, 2012-2018

RSS d'acquisition	Nombre de cas		Taux d'incidence/100 000 p.-a (IC à 95 %)	
	Total	Cas neurologiques	Total	Cas neurologiques
Laval	76	60	2,51 (1,97-3,14)	1,96 (1,50-2,52)
Montérégie	171	117	1,73 (1,48-2,01)	1,18 (0,98-1,42)
Laurentides	39	26	0,91 (0,64-1,25)	0,60 (0,39-0,89)
Lanaudière	32	23	0,91 (0,62-1,28)	0,66 (0,41-0,98)
Montréal	105	74	0,77 (0,63-0,93)	0,54 (0,42-0,68)
Abitibi-Témiscamingue	6	4	0,60 (0,22-1,31)	0,38 (0,10-0,98)
Outaouais	8	5	0,29 (0,13-0,58)	0,18 (0,06-0,43)
Capitale-Nationale	14	12	0,25 (0,13-0,43)	0,21 (0,11-0,37)
Estrie	5	2	0,13 (0,04-0,31)	0,05 (0,00-0,18)
Mauricie et du Centre-du-Québec	5	4	0,13 (0,04-0,31)	0,10 (0,03-0,26)
Chaudière-Appalaches	4	2	0,13 (0,03-0,33)	0,07 (0,01-0,26)
Saguenay-Lac-Saint-Jean	1	1	0,04 (0,001-0,22)	0,04 (0,001-0,22)

Figure 3 Taux brut d'incidence d'infection par le VNO, selon la RSS d'acquisition probable et le groupe d'âge, 2012-2018



2) Par municipalité

De façon générale, la distribution du VNO semble très variable dans le temps et dans l'espace. Entre 2003 et 2018, un total de 522 cas humains sont survenus dans 120 municipalités, mais la majorité des municipalités ($n = 95$) n'ont déclaré que des cas sporadiques pendant une ou deux saisons. Seulement quatre municipalités (Laval, Montréal, Longueuil et Repentigny) ont rapporté des cas au cours des quatre dernières années inclusivement (de 2015 à 2018), alors que 24 municipalités ont rapporté leurs premiers cas en 2018. Au fil du temps, nous avons noté une progression géographique dans la distribution du VNO, avec plus de territoires touchés. En effet, entre 2003 et 2010, seulement 16 municipalités du sud du Québec avaient déclaré des cas d'infection par le VNO, alors qu'en 2018, 59 municipalités avaient déclaré des cas de VNO. Trois municipalités affichaient un nombre de cas élevé, soit Montréal, Laval et Longueuil.

Les taux d'incidence par municipalité de résidence ont été estimés sur la période 2015-2018. Aucune différence statistiquement significative n'a été observée par municipalité. Le faible nombre de cas par municipalité a réduit la précision dans l'estimation des taux d'incidence. Ces taux sont présentés (sans IC) à l'annexe 1. Toutefois, la municipalité de Longueuil en Montérégie, et celle de Saint-Eustache aux Laurentides ont affiché des taux d'incidence significativement plus élevés que le taux de leur région respectives.

Saisonnalité des cas humains

Les figures 4 et 5 illustrent la distribution saisonnière du nombre de cas humains selon la semaine CDC⁷ de début des symptômes pour les cas symptomatiques ou la date de déclaration pour les cas asymptomatiques déclarés par Héma-Québec. Depuis 2011, une légère variation a été notée dans la date d'observation des premiers cas positifs, qui ont tendance à apparaître quelques semaines plus tôt par comparaison aux saisons précédentes (figure 4). Mais de façon générale, la majorité des premiers cas sont observés au début du mois d'août avec un pic entre la mi-août et la mi-septembre (CDC 33 à 36), alors que les derniers cas sont observés généralement vers la fin du mois d'octobre (figure 5). L'année 2018 s'est démarquée par une saison et un pic plus étalés. Le premier cas est survenu en début du mois de juin en Estrie (CDC 22)⁸ et les derniers cas ont été enregistrés au cours du mois de novembre (CDC 48). Le pic de cette saison a précédé de deux semaines celui de 2012.

Figure 4 Semaine CDC d'observation du premier cas humain de la saison, 2003-2018

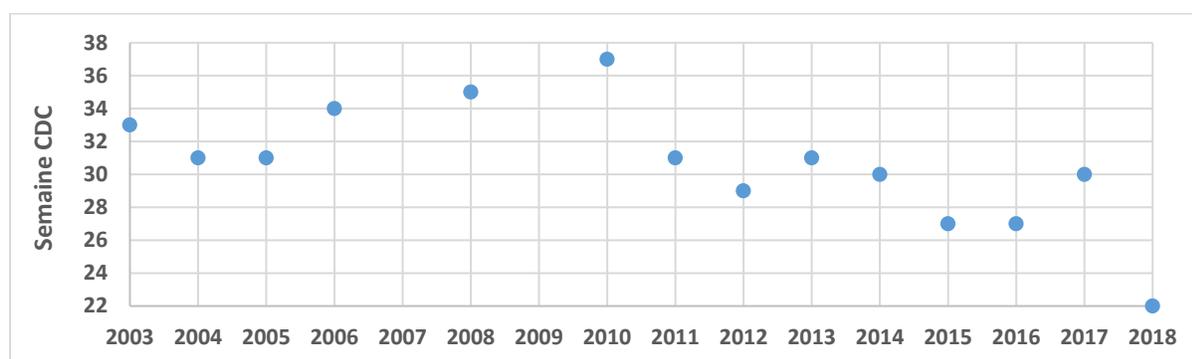
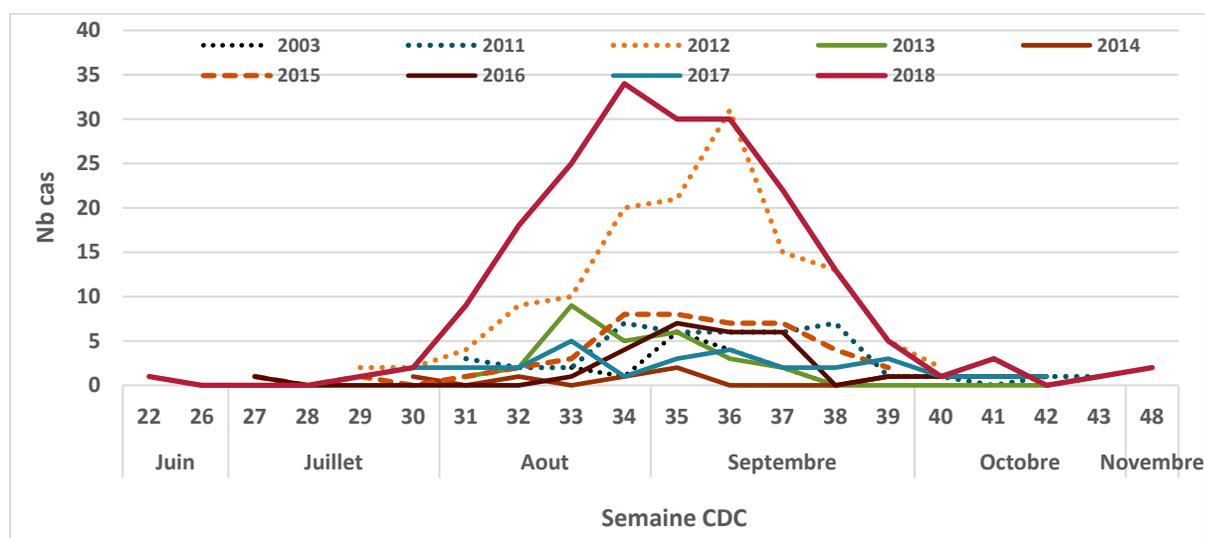


Figure 5 Distribution saisonnière des cas d'infection par le VNO, selon la semaine CDC de début des symptômes ou de déclaration des cas asymptomatiques, 2003-2018



⁷ Pour le détail des semaines CDC, voir : <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/58590>.

⁸ Il s'agit d'un cas isolé avec un délai de deux mois entre la date de début des symptômes et la date de déclaration. Les symptômes du deuxième cas de la saison ont débuté au cours de la semaine CDC 29.

Statut socioéconomique

L'analyse de l'indice de défavorisation a porté sur 486 cas d'infection par le VNO, après exclusion des cas n'ayant pas acquis l'infection dans leur municipalité de résidence (n = 19) et ceux pour qui aucun indice n'a pu être assigné (n = 36).

Le tableau 3 présente les résultats d'analyses brutes et multivariées d'association entre le taux d'incidence du VNO et la défavorisation matérielle et sociale. Le modèle multivarié a été ajusté pour l'âge, le sexe, la région de résidence, l'année d'acquisition et l'autre dimension de défavorisation. Les résultats ne soutiennent pas la présence de lien entre la défavorisation matérielle ou sociale et l'incidence du VNO. Les résultats étaient similaires en stratifiant par RSS de résidence ou en combinant les deux indices de défavorisation⁹ (données non présentées).

Tableau 3 Risque relatif (RR) d'infection par le VNO selon la défavorisation matérielle et sociale, Québec, 2012-2018

	RR brut (IC à 95 %)	RR ajusté ¹ (IC à 95 %)
Indice matériel		
Q1 (plus favorisé)	1,00	1,00
Q2	1,28 (0,97-1,70)	1,10 (0,83-1,45)
Q3	1,19 (0,89-1,60)	1,06 (0,79-1,42)
Q4	1,31 (0,97-1,75)	1,01 (0,75-1,36)
Q5 (plus défavorisé)	0,88 (0,63-1,23)	1,10 (0,77-1,54)
Indice social		
Q1 (plus favorisé)	1,00	1,00
Q2	1,08 (0,79-1,46)	1,00 (0,74-1,36)
Q3	0,96 (0,71-1,30)	1,12 (0,83-1,52)
Q4	0,96 (0,71-1,30)	1,04 (0,76-1,41)
Q5 (plus défavorisé)	0,83 (0,61-1,12)	1,03 (0,75-1,41)

¹ Ajusté pour l'âge, le sexe, la région de résidence, l'année de déclaration et l'autre dimension de défavorisation.

5.2 Surveillance animale

5.2.1 ANIMAUX DOMESTIQUES

Entre 2003 et 2018, un total de 66 chevaux et 4 autres animaux domestiques (trois canards d'élevage et une oie de Ross) ont été signalés et confirmés positifs pour le VNO par le MAPAQ dans neuf RSS où des cas humains ont été rapportés, avec près de 60 % ont été signalés en Montérégie et à Lanaudière (tableau 4). Toutefois, en Mauricie et-Centre-du-Québec, en Abitibi-Témiscamingue et à Chaudière-Appalaches, le signalement de chevaux positifs a précédé d'une à trois années la déclaration du premier cas humain de la RSS. Par ailleurs, à l'exception de 2012 où 20 chevaux ont été rapportés, le nombre de chevaux signalés annuellement était généralement faible (données non présentées). Ceci est probablement associé au taux élevé de vaccination des chevaux pour le VNO.

⁹ Le regroupement des deux dimensions de défavorisation a été effectué en cinq catégories : C1 : AD matériellement et socialement favorisées, C2 : AD avec une défavorisation moyenne, C3 : AD favorisées matériellement, mais défavorisées socialement, C4 : AD favorisées socialement, mais défavorisées matériellement et C5 : AD matériellement et socialement défavorisées (Gamache *et al.* 2019).

5.2.2 OISEAUX SAUVAGES

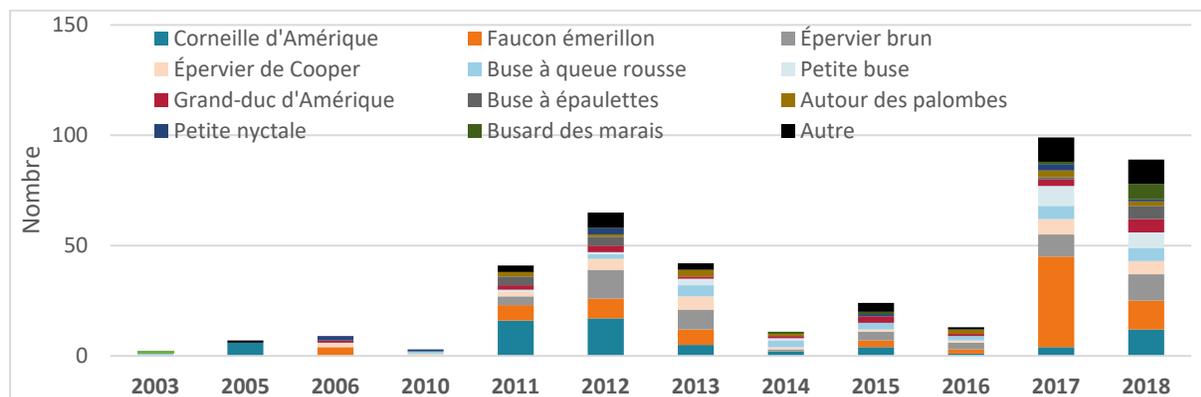
Un total de 408 oiseaux sauvages ont été confirmés positifs pour le VNO par le CQSAS par PCR dans 16 RSS (tableau 4). Des oiseaux positifs ont été trouvés dans les régions du Bas-Saint-Laurent, de la Côte-Nord, du Nord-du-Québec et de Gaspésie où aucun cas humain n'a été déclaré au cours de la période de l'étude.

Près d'une trentaine d'espèces d'oiseaux positifs ont été signalées au cours de la période de l'étude. Des Corneilles d'Amérique, des Faucons émerillon, des Éperviers brun, des Éperviers de Cooper et Buse à queue rousse sont les principales espèces signalées et représentent près de 70 % de l'ensemble des oiseaux rapportés chaque année (figure 6). L'année 2017 a été caractérisée par un nombre important de Faucons émerillon signalés.

Tableau 4 Nombre de chevaux et autres animaux domestiques confirmés positifs pour le VNO par le MAPAQ, Québec, 2003-2018

RSS	Nombre d'animaux domestiques	Nombre d'oiseaux sauvages	Nombre de cas humain
Bas-Saint-Laurent	0	6	0
Saguenay - Lac-Saint-Jean	0	8	1
Capitale-Nationale	1	28	14
Mauricie et Centre-du-Québec	5	28	5
Estrie	2	28	5
Montréal	0	57	125
Outaouais	0	16	12
Abitibi-Témiscamingue	6	4	6
Côte-Nord	0	6	0
Nord-du-Québec	0	1	0
Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine	0	1	0
Chaudière-Appalaches	3	15	4
Laval	1	11	86
Lanaudière	15	39	35
Laurentides	8	38	48
Montérégie	23	119	197
Inconnue	6	3	3
Total	70	408	541

Figure 6 Nombre d'oiseaux sauvages confirmés positifs pour le VNO par le CQSAS par espèces et année, 2003-2018



5.3 Surveillance entomologique

Entre 2003-2006 et 2013-2018, le nombre de stations entomologiques déployées a énormément varié d'une année à l'autre, allant de 43 stations en 2016 à 200 en 2014¹⁰, avec en moyenne, 89±53 stations déployées par année. Au total, 528 stations ont été installées au cours de la période de l'étude dans douze RSS, avec 72 % d'entre elles installées en Montérégie, à Montréal et à Laval (les trois RSS où la surveillance entomologique a été effectuée de façon continue pendant les 10 années de l'étude) (tableau 5).

Au total, 47 831 lots de moustiques ont été analysés au LSPQ par RT-PCR, dont 589 (1,2 %) se sont révélés positifs pour le VNO (tableau 5). Des lots positifs ont été collectés dans huit des douze régions où la surveillance entomologique a été effectuée avec des proportions similaires dans la majorité de ces régions. Aucun lot positif n'a été collecté au Saguenay-Lac-Saint-Jean, en Estrie, en Abitibi et à Chaudière-Appalaches où des cas humains et animaux ont été rapportés. Il faut toutefois noter que le nombre de stations déployées dans ces quatre RSS était relativement faible (de 3 à 7). Le TI des *Culex p-r* estimé sur la période 2016-2018 était particulièrement élevé à Laval, ce qui coïncide avec un taux d'incidence chez les cas humains plus élevé dans cette région (tableau 5).

Tableau 5 Distribution des stations entomologiques et stations avec des lots positifs pour le VNO, selon la RSS, 2003-2006 et 2013-2018

RSS	Années de surveillance	Nombre de stations déployées	Nombre de stations avec lots positifs pour le VNO (%)	Nombre de lots positifs pour VNO (%)*	Taux d'infection des <i>Culex p-r</i> /1 000 moustiques**
Saguenay-Lac-Saint-Jean	2004	7	0	0	0
Capitale-Nationale	2003 à 2005; 2015 à 2018	37	9 (24 %)	17 (1,4 %)	4,9 (2,9-7,8)
Mauricie et Centre-du-Québec	2003 à 2005; 2016 à 2018	22	2 (9 %)	7 (0,7 %)	4,4 (1,7-9,0)
Estrie	2004 et 2016	5	0	0	0
Montréal	2003 à 2006; 2013 à 2018	173	64 (37 %)	186 (1,3 %)	9,4 (6,6-13,1)
Outaouais	2003 à 2006; 2013; 2015 à 2018	30	5 (17 %)	8 (0,3 %)	1,7 (0,4-4,6)
Abitibi-Témiscamingue	2016	3	0	0	0
Chaudière-Appalaches	2003 et 2016	5	0	0	0
Laval	2003 à 2006; 2013 à 2018	39	20 (51 %)	70 (1,4 %)	17,4 (11,0-26,5)
Lanaudière	2003 à 2006; 2013; 2015 à 2018	25	12 (48 %)	16 (1,0 %)	4,4 (2,3-7,7)
Laurentides	2003 à 2006; 2013; 2015 et 2016	36	13 (36 %)	67 (1,3 %)	0
Montérégie	2003 à 2006; 2013 à 2018	146	56 (38 %)	228 (1,3 %)	9,2 (7,1-11,9)
Total		528	181 (34 %)	589 (1,2 %)	

* Proportion de lots positifs par rapport à ceux testés.

** Comme la surveillance entomologique n'a été déployée de façon stable dans le temps et dans l'espace qu'à partir de 2016, le taux d'infection n'a été estimé que sur la période 2016-2018.

¹⁰ En 2014, 200 stations entomologiques ont été installés dans le contexte d'une étude sur l'efficacité des larvicides.

L'ensemble des lots positifs appartenait à sept espèces de moustiques différentes (tableau 6). Les *Culex p-r* représentaient 88 % des lots positifs. Toutefois, il est important de rappeler que ce groupe d'espèce est préférentiellement ciblé pour le test du VNO (principal vecteur du virus au Québec) et que les autres espèces ne sont testées qu'en absence des *Culex p-r* (voir section 4.1.3).

Tableau 6 Nombre de lots de moustiques positifs pour le VNO, selon l'espèce de moustique et l'année de collecte, Québec, 2003-2006 et 2013-2018

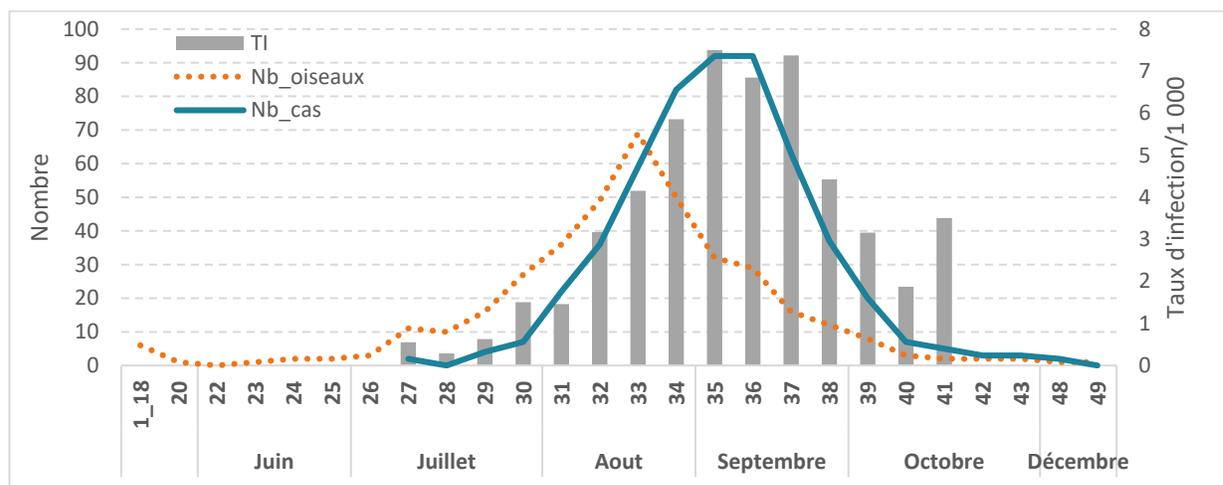
Espèce	2003	2004	2005	2006	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Total
Culex pipiens-restuans	82	12	88	7	51	107	25	25	83	38	518
Aedes vexans	5	1	12	5	9	7	8	3	1	5	56
Ochlerotatus japonicus	0	0	1	0	0	3	0	0	0	1	5
Anopheles punctipennis	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	4
Ochlerotatus triseriatus-hendersoni gr.	0	0	2	0	0	1	0	0	0	1	4
Coquilletidia perturbans	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Ochlerotatus canadensis	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Total	88	14	105	12	60	119	33	28	84	46	589

5.4 Surveillance intégrée du VNO

Une analyse croisée des données des trois volets de surveillance a été effectuée dans le but de décrire la relation entre les cas humains avec les cas animaux ou les données entomologiques. À cause du manque de sensibilité des données sur les chevaux, seuls les oiseaux sauvages ont été retenus pour le volet animal.

Les trois volets de surveillance semblent avoir une saisonnalité similaire (figure 7). À l'exception de quelques cas sporadiques rapportés très tôt, les premiers cas de VNO chez les oiseaux ont été signalés vers la mi-juin, soit quelques semaines CDC avant la collecte des premiers lots de moustiques positifs ou l'apparition des symptômes des premiers cas humains. Le pic des oiseaux positifs a été noté vers la deuxième semaine du mois d'août (CDC 33). Le TI des *Culex p-r* a augmenté graduellement pour atteindre un pic de l'ordre de 7/1 000 *Culex p-r* testés vers la fin du mois d'août et début septembre (CDC 35 à 37), ce qui correspond au pic des cas humains.

Figure 7 Distribution saisonnière du nombre de cas humains, d'oiseaux sauvages et du taux d'infection des *Culex p-r*, par semaine CDC, 2003-2018



Semaine CDC : date de début des symptômes pour les cas humains, date de découverte des oiseaux et date de collectes des moustiques pour le taux d'infection des moustiques.

Les oiseaux sauvages étaient souvent le premier signal de circulation du VNO au cours des saisons. En effet, au cours des dix années de surveillance intégrée, et en incluant uniquement les RSS où la surveillance entomologique a été effectuée (n = 43 observations), les oiseaux sauvages étaient le premier signal de circulation du VNO dans 57 % du temps, alors que les lots de moustiques positifs et les cas humains l'ont été dans 28 % et 15 %, respectivement (tableau 7). La différence entre le volet animal et entomologique était statistiquement non significative ($p=0,055$), ce qui est probablement dû au manque de précision statistique.

Tableau 7 Premier signal de circulation du VNO selon le volet de la surveillance, 2003-2006 et 2013-2018

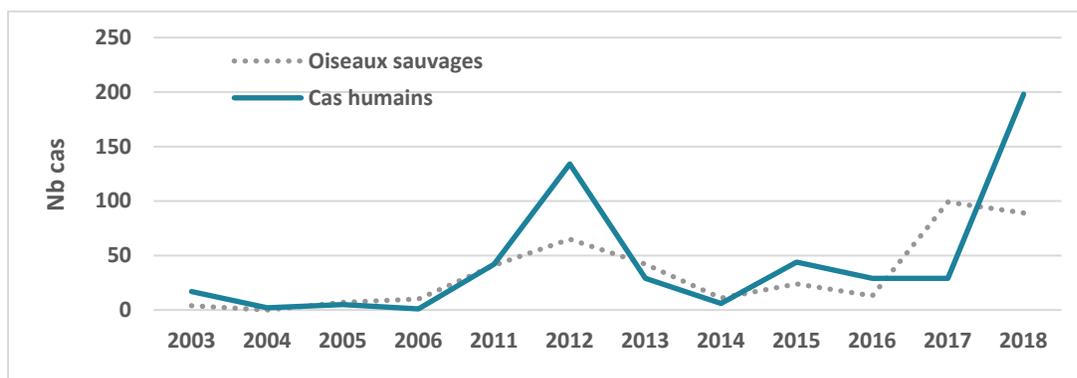
Premier signal de circulation du VNO (2003-2006 et 2013-2018)	Proportion (IC à 95 %)	Valeur- p^*	Valeur- p^{**}
Humain	15 % (4-27)	-	
Entomologique	28 % (14-42)	0,225	-
Animal (oiseaux sauvages)	57 % (40-72)	0,0025	0,055

* Valeur- p estimée par le Test de Chi-carré pour proportions égales comparant le volet entomologique au volet humain ($p = 0,225$) et volet animal au volet humain ($p = 0,0025$).

** Valeur- p estimée par le Test de Chi-carré pour proportions égales comparant le volet entomologique au volet animal ($p = 0,055$).

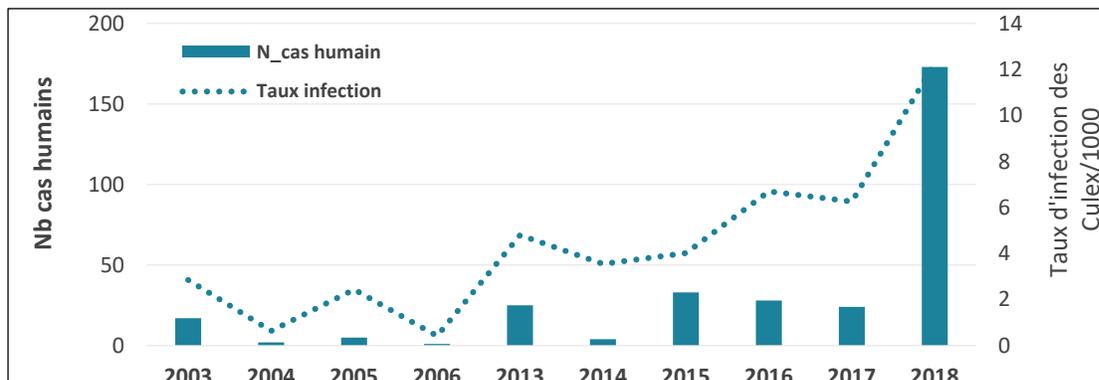
De plus, le nombre d'oiseaux signalés positifs au VNO a connu des fluctuations au fil des années, similaires à celles des cas humains, avec un premier pic observé en 2012 et un deuxième plus important en 2017-2018 (figure 8). L'analyse par GAM a montré une relation significative d'ordre quadratique entre le nombre d'oiseaux sauvages et de cas humains. Le nombre d'oiseaux sauvages a permis d'expliquer plus de 38 % de la variance du taux d'incidence ($R^2=0,389$).

Figure 8 Nombre de cas humains et d'oiseaux sauvages infectés par le VNO, par année



Pour le volet entomologique, le TI des *Culex p-r* était au moins deux fois plus élevé en 2018 (année enregistrant un nombre record de cas humains) par comparaison aux années précédentes (figure 9). Une relation quadratique a également été notée entre le nombre de cas humains et le TI des *Culex p-r*, ce dernier a permis d'expliquer près de 60 % de la variance du taux d'incidence ($R^2 = 0,593$).

Figure 9 Nombre de cas humains et taux d'infection des *Culex p-r*, par année



6 Discussion

6.1 Surveillance humaine

Le présent rapport décrit l'évolution spatio-temporelle de l'infection par le VNO au Québec au cours des deux dernières décennies. Entre 2003 et 2018, un total de 541 cas d'infection par le VNO ont été déclarés au Québec, dont la majorité (70 %) s'est présentée avec une atteinte neurologique et 4 % en sont décédés. Cette proportion élevée de cas avec une atteinte neurologique pourrait s'expliquer en grande partie par un sous-diagnostic plus important des cas moins sévères ou asymptomatiques qui ne requièrent pas nécessairement des soins. À cet effet, des données américaines indiquent que parmi des donneurs de sang asymptomatiques qui ont été confirmés positifs pour le VNO, 26 % ont développé des symptômes non neurologiques. Parmi eux, moins de 40 % ont rapporté avoir consulté à cause de leurs symptômes et seulement 5 % de ceux qui ont consulté ont reçu un diagnostic (Petersen *et al.*, 2013). Au Québec, la séroprévalence du VNO chez les humains a été estimée à 0,6 % dans le sud du Québec, ce qui correspond à un ratio d'infection symptomatique/asymptomatique de 1/100 au cours de la période 2011-2014 (Rocheleau *et al.*, 2017).

L'âge avancé constitue le principal facteur de risque d'une atteinte neurologique et du décès suite à une infection par le VNO (Yeung *et al.*, 2017). Au Québec, la proportion des cas avec une atteinte neurologique est passée de 30 % chez les moins de 40 ans à 86 % chez les 70 ans ou plus, et aucun décès lié au VNO n'a été rapporté chez les personnes âgées de moins de 58 ans. Les études sur les facteurs de risque de l'infection par le VNO indiquent également que l'âge avancé et la présence de conditions médicales sous-jacentes (en particulier les antécédents de diabète, d'hypertension et de maladie cardiovasculaire) représentent des facteurs de risque associés à une forme sévère du VNO et du décès lié à cette infection (Ouhoumanne *et al.*, 2018). Nos données indiquent que l'incidence du VNO est similaire chez les hommes et les femmes de moins de 75 ans. Après cet âge, le taux d'incidence était au moins 2,5 fois plus élevé chez les hommes que les femmes de mêmes groupes d'âge, ce qui pourrait refléter des facteurs de comportement différents entre les deux sexes (ex. : plus d'activité à l'extérieur parmi les hommes plus âgés) conduisant à un plus grand risque d'exposition au virus).

Les résultats de ce rapport ne soutiennent pas la présence de lien entre la défavorisation matérielle ou sociale et l'incidence du VNO chez les humains. Bien que plusieurs études aient démontré un lien entre le faible statut socioéconomique et le risque du VNO chez l'humain (Liu, Weng, et Gaines 2011; Ozdenerol *et al.*, 2008), d'autres ont rapporté un risque plus élevé chez les personnes de classe moyenne avec un revenu médian et un niveau d'éducation collégial et suggèrent que la relation entre les facteurs socioéconomiques et l'environnement naturel peut être spécifique au contexte régional (Rochlin *et al.*, 2011). Aussi, les études ayant observé un lien entre le faible statut socioéconomique et le risque du VNO chez l'humain sont des études américaines, avec des conditions différentes de la situation québécoise. Par ailleurs, si le sous-diagnostic des cas du VNO est différentiel selon le statut socioéconomique (sous-diagnostic plus important parmi les plus défavorisés), cela pourrait expliquer les résultats observés dans notre étude.

Variation dans le temps

Le nombre de cas déclarés annuellement a connu de fortes fluctuations au cours de la période de l'étude. Deux pics épidémiques sont survenus en 2012 et en 2018 avec 134 et 200 cas respectivement. Outre ces deux années, le nombre de cas était généralement faible et a varié entre 0 en 2007 et 44 cas en 2015 avec des taux d'incidence de moins de 0,5/100 000 p.-a. Ces fluctuations annuelles demeurent mal comprises, mais pourraient être largement influencées par les variations climatiques qui jouent un rôle important dans le développement des moustiques et dans l'amplification du virus chez les moustiques. À cet effet, l'accumulation d'un certain nombre de degrés-jours (DJ) au-dessus d'une température seuil serait nécessaire pour favoriser le développement du virus chez les moustiques, et par conséquent, le risque de transmission à l'humain. Reisen *et al.* ont pu estimer lors d'une étude expérimentale qu'un cumul moyen de 109 DJ au-dessus d'une température minimale¹¹ de 14,3 °C serait nécessaire pour l'amplification du VNO chez l'espèce de moustiques *Culex tarsalis* (Reisen *et al.*, 2006). Cette accumulation de DJ, appelée période d'incubation extrinsèque (PIE) correspond au nombre de jours nécessaire pour que près de 50 % des moustiques femelles soient capables de transmettre le VNO après un repas de sang infectieux. Ce cumul de DJ permet de prévoir la période pendant laquelle le moustique représente un risque élevé pour la population.

Plusieurs études américaines ont utilisé le modèle de DJ cumulés pour explorer le risque spatio-temporel de transmission du VNO (Zou *et al.*, 2007; Konrad et Miller 2012; Konrad *et al.*, 2009; Chen *et al.*, 2013). Le Québec effectue chaque saison du VNO un suivi météorologique, basé sur le calcul des DJ, en utilisant les paramètres développés par Reisen *et al.* Une étude de validation de cet indicateur météorologique a été effectuée en 2019 et les résultats laissent supposer que les paramètres de Reisen *et al.* ne seraient pas adaptés au *Culex p-r* et que le seuil prédictif au Québec serait plus bas que 109 DJ et serait variable d'une région à l'autre en fonction des conditions climatiques et environnementales locales (données non publiées). Toutefois, le manque de puissance de ce projet a rendu difficile l'interprétation des résultats. De plus, le calcul des DJ effectué actuellement ne tient pas compte des fluctuations journalières de la température qui jouent un rôle important dans la phénologie du vecteur (Paaijmans *et al.*, 2010). Au printemps, il arrive que la température moyenne quotidienne soit en dessous de la température seuil, mais que la température maximale dans une journée soit supérieure au seuil pendant quelques heures. La réplication du virus peut donc avoir lieu et le moustique peut accumuler une proportion de DJ au cours de cette journée. Chen *et al.* (2013) ont proposé une équation améliorée pour calculer les DJ qui permet en effet de tenir compte de ces fluctuations. Elle inclut en plus des températures minimales et maximales quotidiennes, le nombre de jours de l'année et la latitude. Ces données sont disponibles et peuvent être intégrées au calcul des DJ au Québec.

Par ailleurs, des études de modélisation ont mis en évidence l'importance des températures hivernales et printanières dans l'émergence du VNO chez l'humain. Mallya *et al.* (2018) ont noté qu'une augmentation de 1 °C dans la température minimale du mois de février serait associée à une augmentation de 58 % dans l'incidence du VNO chez l'humain en Ontario, alors qu'une augmentation de 1 °C dans la température minimale du mois d'avril serait associée à une réduction de 47 % dans le taux d'incidence. Des résultats similaires ont également été rapportés par des études américaines qui ont démontré que les températures minimales des mois de décembre et/ou de janvier prédisent le risque chez l'humain au cours la saison suivante (Manore *et al.*, 2014; Wimberly *et al.*, 2014). Les auteurs indiquent que les températures hivernales ont un impact considérable sur la capacité du VNO à survivre au printemps (des hivers doux augmentent la capacité du moustique à hiverner) (Nasci *et al.*, 2001), alors que les températures du mois d'avril

¹¹ La température minimale est celle au-dessus de laquelle le virus se multiplie dans l'organisme du moustique vecteur.

influenceraient l'amplification du virus chez les hôtes aviaires en début du printemps. Des températures printanières trop chaudes pourraient entraîner une fonte plus rapide des neiges et rincer les sites de reproduction des *Culex*, empêchant la prolifération larvaire (Paz 2015). Au Québec, El Adlouni *et al.* (2007) ont démontré qu'un nombre de degrés-jours inférieur à -5 °C au cours de l'hiver précédant et qu'un nombre de degrés-jour supérieur à 25 °C pendant l'été étaient prédicteurs de l'éclosion du VNO en 2002 à Montréal et dans d'autres régions en Amérique du Nord (El Adlouni *et al.*, 2007).

Les précipitations auraient aussi un impact sur l'incidence du VNO chez l'humain, mais à des niveaux variables en fonction, entre autres, de la région et de l'espèce du vecteur impliqué (Mallya *et al.*, 2018). Des pluies modérées peuvent favoriser l'apparition de bassins aquatiques favorables au développement larvaire, ce qui peut faire augmenter le taux de reproduction des moustiques, alors que des pluies excessives peuvent provoquer un ruissèlement qui emporte les larves à l'extérieur de leurs zones de développement. La sécheresse au début du printemps peut concentrer les vecteurs et les hôtes autour des bassins d'eau (Ogden *et al.*, 2019).

Des anomalies météorologiques sont suspectées devenir de plus en plus fréquentes en lien avec les changements climatiques. Les modèles prédictifs basés sur les prédictions météorologiques peuvent fournir aux autorités de santé publique des indicateurs pertinents qui pourraient servir de signal d'alerte précoce du niveau d'activité du VNO pour la saison à venir afin d'adapter les stratégies de prévention appropriées.

Actuellement, un projet de recherche, soit une collaboration entre l'INSPQ et l'Agence de santé publique du Canada (ASPC), est en cours et a pour objectif d'évaluer le potentiel de certaines variables climatiques, incluant la température, les précipitations et l'humidité à prédire l'intensité de la saison du VNO dans le sud du Québec. Les résultats préliminaires de ce projet ont démontré la présence d'associations entre les températures et les précipitations moyennes des mois de mai à juillet et les taux d'infection des moustiques récoltés en mois d'août. Cependant, certaines années (notamment 2013, 2014 et 2018) ont influencé la force des associations entre les taux d'infection et les données météorologiques. Ces résultats préliminaires suggèrent que plusieurs années de données supplémentaires seront nécessaires pour bâtir un outil d'alerte précoce suffisamment fiable.

Variation dans l'espace

Au Québec, l'infection par le VNO touche particulièrement le sud de la province avec plus de 90 % des cas rapportés dans les régions de Montréal, Laval, Lanaudière, Laurentides et Montérégie. La distribution du risque du VNO n'est pas non plus uniforme dans le sud du Québec puisque, ce sont les régions de Laval et de la Montérégie qui seraient les plus affectées avec des taux d'incidence au moins deux fois plus élevés par rapport aux autres régions. Malheureusement, il a été difficile d'interpréter les résultats sur une échelle plus fine, comme la municipalité, à cause du faible nombre de cas humains dans cette unité géographique. L'analyse par municipalité a démontré qu'à l'exception de quelques municipalités où le risque d'infection par le VNO était présent de façon continue sur plusieurs années, la distribution des cas par municipalité a largement varié d'une année à l'autre. En effet, entre 2003 et 2018, un total de 120 municipalités ont rapporté des cas de VNO, dont la majorité (n = 95) n'ont déclaré que des cas sporadiques au cours d'une ou deux saisons. Seulement quatre municipalités (Laval, Montréal, Longueuil et Repentigny) ont rapporté des cas au cours des quatre dernières années inclusivement et pourraient présenter des conditions écologiques et climatiques favorables à la circulation du VNO. Aussi, en Montérégie, la municipalité de Longueuil s'est démarquée par un taux d'incidence significativement plus élevé que le taux régional. Des résultats similaires ont récemment été rapportés par Rocheleau *et al.* qui ont démontré, pour la période 2011-2016, la présence de deux agrégats spatiaux statistiquement significatifs, situés dans

des zones suburbaines bordées de champs cultivés, le premier à la ville de Laval et au nord des Laurentides et le deuxième situé dans la partie nord-est de la Montérégie (Rocheleau *et al.*, 2020). À l'exception de ces deux agrégats, les auteurs ont noté une instabilité dans la distribution spatio-temporelle des cas humains dans le sud du Québec (Rocheleau *et al.*, 2020).

L'environnement local joue un rôle important dans la diversité régionale du risque (Rocheleau *et al.*, 2017). Les *Culex p-r*, vecteur principal du VNO au Québec, sont plus abondants dans les milieux urbains et suburbains, où les gîtes principaux sont les égouts pluviaux et les gîtes artificiels et où les températures journalières sont souvent plus élevées. Les données de surveillance entomologique ont démontré une abondance des *Culex p-r* particulièrement élevée en Montérégie et à Montréal. Par contre, le taux d'infection des *Culex p-r* a été plus élevé à Laval et en Montérégie (en particulier à Longueuil), ce qui coïncide avec un taux d'incidence des cas humains plus élevé dans ces deux régions. Le taux d'incidence dans la RSS de Montréal (RSS fortement urbanisée) était significativement plus faible par comparaison aux RSS de Laval et de la Montérégie, et ce, malgré une abondance élevée de *Culex p-r* dans cette région. Les études suggèrent toutefois une faible corrélation entre l'abondance du vecteur et le risque chez l'humain (Marini *et al.*, 2020).

Rochlin *et al.* ont évalué via une approche cas-témoins, le risque du VNO chez les humains dans le comté de Suffolk (État de New York) en fonction de l'écologie du vecteur et des caractéristiques socioéconomiques de l'environnement des cas humains (Rochlin *et al.*, 2011). Les auteurs ont mis en évidence que le fait d'habiter en milieu suburbain, la fragmentation accrue de l'habitat (par le réseau routier) et la proximité de bassins de moustiques positifs pour le VNO étaient fortement associés au risque d'infection chez l'humain, alors que la proximité de milieux humides naturels semblait réduire le risque d'infection. Pour leur part, Rocheleau *et al.* suggèrent un risque plus élevé chez l'humain dans les zones suburbaines et agricoles du sud du Québec. La proximité de ces deux environnements offre des conditions particulièrement favorables aux interactions entre hôtes amplificateurs, vecteurs compétents et populations humaines (Rocheleau *et al.*, 2017).

6.2 Surveillance animale

La surveillance des animaux domestiques fournit un indicateur complémentaire du risque d'acquisition pour les humains et permet ainsi de bonifier l'information sur la distribution géographique du risque. Toutefois, la vaccination des chevaux et le fait que les propriétaires des chevaux doivent payer pour le test de diagnostic du VNO limitent largement la sensibilité de cette surveillance et son utilité et expliquent en grande partie le faible nombre de chevaux déclarés.

Pour les oiseaux sauvages, les résultats de ce rapport suggèrent que ces derniers pourraient être un bon indicateur du début de saison, puisqu'ils étaient plus souvent signalés avant la déclaration des premiers cas humains ou la collecte des premiers lots de moustiques positifs. Ceci reflète en effet l'épidémiologie de l'infection par le VNO où il se crée d'abord un cycle d'amplification du VNO entre les oiseaux et les moustiques; par la suite, des hôtes comme les humains sont aussi infectés. Toutefois, l'utilité de l'information issue des données des oiseaux sauvages sur la distribution géographique de l'activité virale demeure à confirmer. En effet, plusieurs espèces d'oiseaux se déplacent sur de grandes distances et donc peuvent avoir été infectés ailleurs, bien qu'une bonne proportion des oiseaux sauvages signalés au Québec sont des corvidés qui seraient un meilleur indicateur du risque local étant donné que ces derniers se déplacent moins que les oiseaux de proie.

6.3 Surveillance entomologique

Le taux d'infection des *Culex p-r* semble corrélér positivement au taux d'incidence du VNO chez l'humain, ce qui corrobore les résultats d'autres études (Giordano, Kaur, et Hunter 2017; DeFelice et al., 2017). L'année 2018 (année record en termes de nombre de cas humains) a été caractérisée par un taux d'infection des *Culex p-r* plus important comparativement aux années précédentes, et ce, dès le début de la saison. De plus le taux d'infection chez les moustiques a permis d'expliquer près de 60 % de la variance du taux d'incidence. Ces résultats portent à croire que le taux d'infection des *Culex p-r* pourrait servir d'indicateur précoce de l'évolution du risque chez l'humain en cours de saison. Une augmentation inhabituelle du taux d'infection tôt en saison pourrait indiquer qu'une éventuelle éclosion du VNO est sur le point de se produire. L'effet potentiel prédictif du taux d'infection des moustiques sera davantage exploré dans le cadre d'un projet de recherche réalisé par l'INSPQ en collaboration avec l'ASPC.

Il est important de noter que l'utilisation pratique du TI est compliquée par le court délai entre la collecte des premiers lots de moustiques positifs et le début des symptômes des cas humains (3 semaines en moyenne) et par le délai supplémentaire avant la déclaration des cas. Avec la période d'incubation du VNO de 2 à 12 jours entre la pique du moustique infecté et l'apparition des symptômes (Petersen et al., 2013), l'infection des premiers cas humains est suspectée se produire en même temps que la collecte des premiers lots positifs. Aussi, au Québec, le pic des cas humains survient généralement vers la mi-août, ce qui suggère une infection vers la fin du mois de juillet. Pour que l'utilisation du TI soit utile sur le plan opérationnel et pouvoir prédire l'ampleur de la saison en cours (en particulier le pic de la saison), il est nécessaire d'avoir un nombre suffisant de pièges, de procéder rapidement au dépistage du VNO dès la collecte des moustiques et d'effectuer le calcul du TI en temps réel afin d'adapter en cours de saison les interventions préventives ou leur intensité.

6.4 Limites des données de surveillance

Les épidémies dues à l'infection par le VNO demeurent difficiles à étudier au Québec, à cause du faible nombre de cas déclarés annuellement, mais aussi des variations considérables liées à la biologie des vecteurs et à la diversité des hôtes réservoirs et d'une dépendance aux conditions climatiques et environnementales locales (Mavrouli et al., 2019).

L'infection par le VNO est sous-estimée au Québec et ne présente qu'un portrait partiel de l'activité réelle du virus au Québec. Les caractéristiques démographiques et cliniques des cas reflètent en grande partie celles des cas les plus sévères. Mais même les cas sévères sont aussi sous-diagnostiqués. Au Canada, les résultats d'une étude rétrospective portant sur plus de 24 000 hospitalisations pour encéphalites survenues entre 1994 et 2008 ont indiqué que la cause étiologique de la maladie était inexplicée (n'a pas été cherchée) dans 50 % des cas. Ce sous-diagnostic était encore plus important au Québec (65 %) que dans les autres provinces. La concordance spatio-temporelle de la distribution de ces encéphalites idiopathiques et celles liées au VNO suggère une étiologie commune. Des données plus récentes sont nécessaires pour évaluer s'il y a eu une amélioration dans le temps dans le diagnostic des cas avec une atteinte neurologique. Un projet de surveillance active du VNO parmi des cas hospitalisés pour une encéphalite virale pourrait nous renseigner sur l'ampleur du sous-diagnostic actuel des cas neurologiques.

La surveillance animale a également des limites. Les oiseaux sauvages et les chevaux sont utiles pour la surveillance du VNO étant d'importants hôtes amplificateurs du virus. Cependant, chaque espèce animale possède des caractéristiques qui lui sont propres rendant difficile l'interprétation précise des données obtenues. Les oiseaux sauvages sont reconnus pour se déplacer sur le territoire, et les données disponibles pour la réalisation de ce rapport ne permettent pas de confirmer la RSS d'infection. Chez les animaux domestiques, bien qu'on n'observe pas cette grande mobilité territoriale, on fait toutefois face à d'autres biais, notamment vu les hauts taux de vaccination pour le VNO qui pourraient nuire à leur rôle sentinelle du VNO.

Concernant la surveillance entomologique, elle est fortement affectée par de nombreuses contraintes méthodologiques et par son manque de puissance qui réduit la sensibilité du système pour détecter des lots de moustiques positifs et induit ainsi à une sous-estimation du taux d'infection du vecteur. De plus, la surveillance entomologique est réalisée principalement dans les zones où l'activité du VNO a été documentée par le passé et des limites d'ordre financier empêchent d'élargir la surveillance entomologique qui reste, année après année sous-optimale. Il est donc difficile de généraliser les résultats obtenus des données collectées à l'ensemble du territoire québécois.

La comparaison dans le temps du taux d'infection du vecteur devrait se faire avec prudence. Une surveillance stable dans le temps avec des stations fixes n'a été effectuée qu'à partir de 2017. De même, l'application des larvicides jusqu'à 2014 a probablement influencé l'abondance des moustiques et l'amplification du VNO. L'absence de données historiques à ce sujet limite la possibilité d'apprécier l'impact de l'application des larvicides.

7 Conclusion

Au Québec, le VNO demeure une infection sporadique avec un faible nombre de cas déclarés annuellement. Des éclosions périodiques peuvent survenir, mais dont l'intensité et la temporalité demeurent difficiles à prédire à cause de l'interaction de plusieurs facteurs incluant la biologie des vecteurs, la diversité des hôtes réservoirs et les changements climatiques. Toutefois, le VNO est bien présent dans la province, en particulier au sud du Québec, mais progresse géographiquement dans le temps, avec plus de territoires affectés, ce qui laisse supposer que le risque est en continuelle évolution.

L'infection par le VNO touche autant les hommes que les femmes, mais se manifeste davantage chez les adultes âgés de 40 ans et plus et prédomine chez les personnes âgées de 75-79 ans. Les résultats de ce rapport ne soutiennent pas la présence de lien entre les inégalités sociales et l'incidence du VNO au Québec.

L'analyse rétrospective des données suggère la présence d'une corrélation positive entre les cas humains et le nombre d'oiseaux sauvages positifs au VNO et d'une corrélation positive, plus importante, entre les cas humains et le taux d'infection des moustiques *Culex p-r*. Ces résultats portent à croire que les données animales et entomologiques pourraient servir d'indicateurs précoces de l'évolution du risque chez l'humain en cours de saison. À cet effet, l'effet potentiel prédictif du taux d'infection des moustiques sera davantage exploré dans le cadre d'un projet de recherche réalisé par l'INSPQ en collaboration avec l'ASPC; ceci devrait aider les autorités de santé publique à mieux adapter les stratégies de prévention de l'infection humaine au VNO.

8 Références

- Carson, Paul J., Stephanie M. Borchardt, Brian Custer, Harry E. Prince, Joan Dunn-Williams, Valerie Winkelman, Leslie Tobler, *et al.* 2012. « Neuroinvasive Disease and West Nile Virus Infection, North Dakota, USA, 1999-2008 ». *Emerging Infectious Diseases* 18 (4): 684-86. <https://doi.org/10.3201/eid1804.111313>.
- Chen Shi, Justine I. Blanford, Shelby J. Fleischer, Michael Hutchinson, Michael C. Saunders, et Matthew B. Thomas. 2013. « Estimating West Nile Virus Transmission Period in Pennsylvania Using an Optimized Degree-Day Model ». *Vector Borne and Zoonotic Diseases (Larchmont, N.Y.)* 13 (7) : 489-97. <https://doi.org/10.1089/vbz.2012.1094>.
- Chung, Wendy M., Christen M. Buseman, Sibeso N. Joyner, Sonya M. Hughes, Thomas B. Fomby, James P. Luby, et Robert W. Haley. 2013. « The 2012 West Nile Encephalitis Epidemic in Dallas, Texas ». *JAMA* 310 (3) : 297-307. <https://doi.org/10.1001/jama.2013.8267>.
- DeFelice NB, Little E, Campbell SR, Shaman J. 2017. « Ensemble forecast of human West Nile virus cases and mosquito infection rates ». *Nat Commun*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5333106/>.
- El Adlouni Salaheddine, Claudie Beaulieu, Taha B. M. J. Ouarda, Pierre L. Gosselin, et André Saint-Hilaire. 2007. « Effects of Climate on West Nile Virus Transmission Risk Used for Public Health Decision-Making in Quebec ». *International Journal of Health Geographics* 6 (septembre) : 40. <https://doi.org/10.1186/1476-072X-6-40>.
- Gamache P, Hamel D et Blaser C. 2019. « L'indice de défavorisation matérielle et sociale : en bref. » Institut national de santé publique du Québec. Site web de l'INSPQ : https://www.inspq.qc.ca/sites/default/files/publications/2639_indice_defavorisation_materielle_sociale.pdf.
- Ginsberg Howard S., Ilia Rochlin, et Scott R. Campbell. 2010. « The Use of Early Summer Mosquito Surveillance to Predict Late Summer West Nile Virus Activity ». *Journal of Vector Ecology: Journal of the Society for Vector Ecology* 35 (1): 35-42. <https://doi.org/10.1111/j.1948-7134.2010.00025.x>.
- Giordano Bryan V., Sukhdeep Kaur, et Fiona F. Hunter. 2017. « West Nile Virus in Ontario, Canada: A Twelve-Year Analysis of Human Case Prevalence, Mosquito Surveillance, and Climate Data ». *PLoS One* 12 (8) : e0183568. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183568>.
- Gosselin Pierre, Germain Lebel, Sonia Rivest, et Monique Douville-Fradet. 2005. « The Integrated System for Public Health Monitoring of West Nile Virus (ISPHM-WNV): A Real-Time GIS for Surveillance and Decision-Making ». *International Journal of Health Geographics* 4 (septembre) : 21. <https://doi.org/10.1186/1476-072X-4-21>.
- Groupe scientifique sur les maladies transmises par les moustiques. 2016. « Proposition d'un programme de surveillance entomologique du virus du Nil occidental au Québec ». Institut national de santé publique du Québec. Site web de l'INSPQ : https://www.inspq.qc.ca/sites/default/files/publications/2087_proposition_surveillance_virus_nil_occidental.pdf.
- Gyure Kimberly A. 2009. « West Nile Virus Infections ». *Journal of Neuropathology and Experimental Neurology* 68 (10): 1053-60. <https://doi.org/10.1097/NEN.0b013e3181b88114>.
- Harrigan Ryan J., Henri A. Thomassen, Wolfgang Buermann, Robert F. Cummings, Matthew E. Kahn, et Thomas B. Smith. 2010. « Economic Conditions Predict Prevalence of West Nile Virus ». *PLoS One* 5 (11) : e15437. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0015437>.

- Karki S., N. E. Westcott, E. J. Muturi, W. M. Brown, et M. O. Ruiz. 2018. « Assessing Human Risk of Illness with West Nile Virus Mosquito Surveillance Data to Improve Public Health Preparedness ». *Zoonoses and Public Health* 65 (1) : 177-84. <https://doi.org/10.1111/zph.12386>.
- Konrad Sarah K., et Scott N. Miller. 2012. « Application of a Degree-Day Model of West Nile Virus Transmission Risk to the East Coast of the United States of America ». *Geospatial Health* 7 (1): 15-20. <https://doi.org/10.4081/gh.2012.100>.
- Konrad Sarah K., Scott N. Miller, Will K. Reeves, et Noor S. Tietze. 2009. « Spatially Explicit West Nile Virus Risk Modeling in Santa Clara County, California ». *Vector Borne and Zoonotic Diseases (Larchmont, N.Y.)* 9 (3): 267-74. <https://doi.org/10.1089/vbz.2008.0084>.
- Lindsey Nicole P., J. Erin Staples, Jennifer A. Lehman, et Marc Fischer. 2012. « Medical Risk Factors for Severe West Nile Virus Disease, United States, 2008-2010 ». *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 87 (1): 179-84. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.2012.12-0113>.
- Liu Hua, Qihao Weng, et David Gaines. 2011. « Geographic Incidence of Human West Nile Virus in Northern Virginia, USA, in Relation to Incidence in Birds and Variations in Urban Environment ». *The Science of the Total Environment* 409 (20): 4235-41. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.07.012>.
- Lockaby Graeme, Navideh Noori, Wayde Morse, Wayne Zipperer, Latif Kalin, Robin Governo, Rajesh Sawant, et Matthew Ricker. 2016. « Climatic, Ecological, and Socioeconomic Factors Associated with West Nile Virus Incidence in Atlanta, Georgia, U.S.A ». *Journal of Vector Ecology: Journal of the Society for Vector Ecology* 41 (2): 232-43. <https://doi.org/10.1111/jvec.12218>.
- Mallya Shruti, Beate Sander, Marie-Hélène Roy-Gagnon, Monica Taljaard, Ann Jolly, et Manisha A. Kulkarni. 2018. « Factors Associated with Human West Nile Virus Infection in Ontario: A Generalized Linear Mixed Modelling Approach ». *BMC Infectious Diseases* 18 (1): 141. <https://doi.org/10.1186/s12879-018-3052-6>.
- Manore Carrie A., Justin Davis, Rebecca C. Christofferson, Dawn Wesson, James M. Hyman, et Christopher N. Mores. 2014. « Towards an Early Warning System for Forecasting Human West Nile Virus Incidence ». *PLoS Currents* 6 (mars). <https://doi.org/10.1371/currents.outbreaks.ed6f0f8a61d20ae5f32aaa5c2b8d3c23>.
- Marini Giovanni, Mattia Calzolari, Paola Angelini, Romeo Bellini, Silvia Bellini, Luca Bolzoni, Deborah Torri, et al. 2020. « A Quantitative Comparison of West Nile Virus Incidence from 2013 to 2018 in Emilia-Romagna, Italy ». *PLoS Neglected Tropical Diseases* 14 (1): e0007953. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0007953>.
- Mavrouli Maria, Georgia Vrioni, Violetta Kapsimali, Constantinos Tsiamis, Spyridon Mavroulis, Danai Pervanidou, Charalambos Billinis, Christos Hadjichristodoulou, et Athanassios Tsakris. 2019. « Reemergence of West Nile Virus Infections in Southern Greece, 2017 ». *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 100 (2): 420-26. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.18-0339>.
- Murray K. O., E. Koers, S. Baraniuk, E. Herrington, H. Carter, M. Sierra, C. Kilborn, et R. Arafat. 2009. « Risk Factors for Encephalitis from West Nile Virus: A Matched Case-Control Study Using Hospitalized Controls ». *Zoonoses and Public Health* 56 (6-7): 370-75. <https://doi.org/10.1111/j.1863-2378.2008.01197.x>.

- Nasci R. S., H. M. Savage, D. J. White, J. R. Miller, B. C. Cropp, M. S. Godsey, A. J. Kerst, P. Bennett, K. Gottfried, et R. S. Lanciotti. 2001. « West Nile Virus in Overwintering Culex Mosquitoes, New York City, 2000 ». *Emerging Infectious Diseases* 7 (4): 742-44. <https://doi.org/10.3201/eid0704.010426>.
- Ogden N. H., L. R. Lindsay, A. Ludwig, A. P. Morse, H. Zheng, et H. Zhu. 2019. « Weather-Based Forecasting of Mosquito-Borne Disease Outbreaks in Canada ». *Canada Communicable Disease Report*. 45 (5): 127-32. <https://doi.org/10.14745/ccdr.v45i05a03>.
- Ouhoumanne N., A.-M. Lowe, A. Fortin, D. Kairy, A. Vibien, J. K-Lensch, T.-N. Tannenbaum, et F. Milord. 2018. « Morbidity, Mortality and Long-Term Sequelae of West Nile Virus Disease in Québec ». *Epidemiology and Infection* 146 (7): 867-74. <https://doi.org/10.1017/S0950268818000687>.
- Ouhoummane Najwa, Eric Tchouaket, Anne-Marie Lowe, Ann Fortin, Dahlia Kairy, Anne Vibien, Jessica Kovitz-Lensch, Terry-Nan Tannenbaum, et François Milord. 2019. « Economic Burden of West Nile Virus Disease, Quebec, Canada, 2012-2013 ». *Emerging Infectious Diseases* 25 (10): 1943-50. <https://doi.org/10.3201/eid2510.181608>.
- Ozdegerol Esra, Elzbieta Bialkowska-Jelinska, et Gregory N. Taff. 2008. « Locating Suitable Habitats for West Nile Virus-Infected Mosquitoes through Association of Environmental Characteristics with Infected Mosquito Locations: A Case Study in Shelby County, Tennessee ». *International Journal of Health Geographics* 7 (mars): 12. <https://doi.org/10.1186/1476-072X-7-12>.
- Paaajmans Krijn P., Simon Blanford, Andrew S. Bell, Justine I. Blanford, Andrew F. Read, et Matthew B. Thomas. 2010. « Influence of Climate on Malaria Transmission Depends on Daily Temperature Variation ». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 107 (34): 15135-39. <https://doi.org/10.1073/pnas.1006422107>.
- Paz Shlomit. 2015. « Climate Change Impacts on West Nile Virus Transmission in a Global Context ». *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 370 (1665). <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0561>.
- Petersen Lyle R., Aaron C. Brault, et Roger S. Nasci. 2013. « West Nile Virus: Review of the Literature ». *JAMA* 310 (3): 308-15. <https://doi.org/10.1001/jama.2013.8042>.
- Reisen William K., Ying Fang, et Vincent M. Martinez. 2006. « Effects of Temperature on the Transmission of West Nile Virus by Culex Tarsalis (Diptera: Culicidae) ». *Journal of Medical Entomology* 43 (2): 309-17. [https://doi.org/10.1603/0022-2585\(2006\)043\[0309:EOTOTT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0022-2585(2006)043[0309:EOTOTT]2.0.CO;2).
- Rocheleau J. P., P. Michel, L. R. Lindsay, M. Drebot, A. Dibernardo, N. H. Ogden, A. Fortin, et J. Arsenault. 2017. « Emerging Arboviruses in Quebec, Canada: Assessing Public Health Risk by Serology in Humans, Horses and Pet Dogs ». *Epidemiology and Infection* 145 (14): 2940-48. <https://doi.org/10.1017/S0950268817002205>.
- Rocheleau Jean-Philippe, Serge-Olivier Kotchi, et Julie Arsenault. 2020. « Can Local Risk of West Nile Virus Infection Be Predicted from Previous Cases? A Descriptive Study in Quebec, 2011-2016 ». *Canadian Journal of Public Health*. <https://doi.org/10.17269/s41997-019-00279-0>.
- Rocheleau J.-P., J. Arsenault, N. H. Ogden, L. R. Lindsay, M. Drebot, et P. Michel. 2017. « Characterizing Areas of Potential Human Exposure to Eastern Equine Encephalitis Virus Using Serological and Clinical Data from Horses ». *Epidemiology and Infection* 145 (4): 667-77. <https://doi.org/10.1017/S0950268816002661>.
- Rochlin Ilia, David Turbow, Frank Gomez, Dominick V. Ninivaggi, et Scott R. Campbell. 2011. « Predictive Mapping of Human Risk for West Nile Virus (WNV) Based on Environmental and Socioeconomic Factors ». *PLoS One* 6 (8): e23280. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023280>.

Wimberly Michael C., Aashis Lamsal, Paolla Giacomo, et Ting-Wu Chuang. 2014. « Regional Variation of Climatic Influences on West Nile Virus Outbreaks in the United States ». *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 91 (4): 677-84. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.14-0239>.

Yeung Man Wah, Emily Shing, Mark Nelder, et Beate Sander. 2017. « Epidemiologic and Clinical Parameters of West Nile Virus Infections in Humans: A Scoping Review ». *BMC Infectious Diseases* 17 (1): 609. <https://doi.org/10.1186/s12879-017-2637-9>.

Zhang D, A. 2017. « Coefficient of Determination for Generalized Linear Models ». *Am Stat* 71 (4): 310-6.

Zou Li, Scott N. Miller, et Edward T. Schmidtman. 2007. « A GIS Tool to Estimate West Nile Virus Risk Based on a Degree-Day Model ». *Environmental Monitoring and Assessment* 129 (1-3): 413-20. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-9373-8>.

Annexe

**Taux d'incidence standardisé d'infection par le VNO
par municipalité d'acquisition, 2015-2018**

Tableau 8 Nombre de cas et taux d'incidence standardisé d'infection par le VNO par municipalité d'acquisition, 2015-2018

Région d'acquisition probable	Municipalité	Nombre de cas 2015-2018	Taux d'incidence/100 000
02-Saguenay - Lac-Saint-Jean	Saguenay	1	0,17
03-Capitale-Nationale	Québec	9	0,42
	Saint-Basile	1	-
	Cap-Santé	1	-
04-Mauricie et du Centre-du-Québec	Shawinigan	1	0,51
	Drummondville	1	0,33
	Trois-Rivières	1	0,19
05-Estrie	Granby	1	0,38
	Sainte-Sabine	1	-
	Roxton Pond	2	-
	Saint-Paul-d'Abbotsford	1	-
06-Montréal	Pointe-Claire	2	1,59
	Dollard-Des Ormeaux	3	1,53
	Beaconsfield	1	1,29
	Kirkland	1	1,24
	Mont-Royal	1	1,23
	Montréal	55	0,81
	Montréal-Est	1	-
07-Outaouais	Gatineau	1	0,09
	Cantley	1	-
	Val-des-Monts	1	-
08-Abitibi-Témiscamingue	Val-d'Or	1	0,77
	Launay	1	-
	Saint-Édouard-de-Fabre	1	-
	Macamic	1	-
12-Chaudière-Appalaches	Lévis	1	0,17
	Saint-Joseph-de-Beauce	1	-
13-Laval	Laval	47	2,78
14-Lanaudière	Repentigny	9	2,67
	Mascouche	4	2,14
	Terrebonne	7	1,57
	Saint-Pierre	1	-
	Mandeville	1	-
	Charlemagne	1	-
15-Laurentides	Saint-Eustache	7	3,98
	Sainte-Thérèse	2	1,92
	Boisbriand	2	1,86
	Blainville	2	0,88
	Mirabel	1	0,49
	Pointe-Calumet	1	-
	Saint-Joseph-du-Lac	1	-
	Bois-des-Filion	1	-
	Saint-Sauveur	1	-
Rosemère	1	-	

Tableau 8 Nombre de cas et taux d'incidence standardisé d'infection par le VNO par municipalité d'acquisition, 2015-2018 (suite)

Région d'acquisition probable	Municipalité	Nombre de cas 2015-2018	Taux d'incidence/100 000
16-Montérégie	Mont-Saint-Hilaire	4	5,38
	Belœil	4	4,45
	Varenes	3	3,53
	Longueuil	33	3,44
	Sainte-Julie	4	3,35
	Saint-Basile-le-Grand	2	2,93
	Saint-Hyacinthe	6	2,70
	Salaberry-de-Valleyfield	4	2,45
	Boucherville	4	2,40
	Saint-Jean-sur-Richelieu	8	2,10
	Vaudreuil-Dorion	3	1,97
	Brossard	6	1,75
	Chambly	2	1,72
	Sainte-Catherine	1	1,47
	Saint-Lambert	1	1,14
	Châteauguay	2	1,04
	La Prairie	1	1,04
	Saint-Bruno-de-Montarville	1	0,95
	Saint-Télesphore	1	-
	Saint-Simon	1	-
	Saint-Bernard-de-Lacolle	1	-
	Saint-Michel	2	-
	Napierville	2	-
	Saint-Paul-de-l'Île-aux-Noix	1	-
	Sainte-Madeleine	1	-
	Lacolle	1	-
	Rougemont	1	-
	Mont-Saint-Grégoire	1	-
	Saint-Jean-Baptiste	1	-
	Saint-Mathias-sur-Richelieu	1	-
	Richelieu	1	-
	McMasterville	1	-
	Verchères	1	-
	Les Cèdres	1	-
Coteau-du-Lac	1	-	
Saint-Zotique	1	-	
Saint-Rémi	1	-	
Marieville	1	-	
Saint-Amable	1	-	

Les taux d'incidence ne sont pas présentés pour les municipalités de moins de 16 000 habitants.

www.inspq.qc.ca