



La qualité avant la quantité dans la surveillance active des tiques : la surveillance sentinelle surpassé la surveillance basée sur le risque pour suivre l'émergence des maladies transmises par les tiques dans le sud du Canada

Camille Guillot^{1,2,3*}, Catherine Bouchard⁴, Kayla Buhler⁵, Roxane Pelletier⁶, François Milord^{2,7}, Patrick Leighton^{1,3}

Résumé

Contexte : La maladie de Lyme (ML) est apparue dans le sud du Québec au début du siècle, et est maintenant endémique dans de nombreuses municipalités. Un programme coordonné de surveillance active est en place au Québec depuis 2014, qui comprend un nombre limité de sites sentinelles, échantillonnés à chaque année et un plus grand nombre de sites accessoires, qui changent chaque année en fonction du signal de surveillance de la ML. Nous avons cherché à déterminer si une approche sentinelle de la surveillance active était plus représentative du risque de la ML pour les populations humaines que la surveillance basée sur le risque.

Méthodes : Nous avons comparé les mesures de danger enzootique (densité moyenne des nymphes) des sites sentinelles et accessoires avec le risque de ML (nombre de cas humains de ML) dans la zone d'étude entre 2015 et 2019 en utilisant l'analyse bivariée de l'indice local de Moran.

Résultats : Les mesures de danger des sites sentinelles ont permis de mieux relever le risque spatial que les données des sites accessoires ($\chi^2 = 20,473$, $p < 0,001$). En outre, les sites sentinelles ont réussi à suivre la tendance interannuelle du nombre de cas de ML, alors que les sites accessoires n'ont montré aucune association malgré la taille plus importante de l'échantillon.

Conclusion : Lorsque la surveillance vise à documenter les changements du risque de maladie transmise par les tiques dans le temps et dans l'espace, nous suggérons qu'un échantillonnage répété de sites de terrain, attentivement sélectionnés peut être plus efficace, tandis que la surveillance basée sur le risque peut être plus utilement appliquée pour confirmer la présence d'un risque de maladie émergente dans une région d'intérêt ou pour identifier des sites appropriés pour une surveillance à long terme, alors que la ML et d'autres maladies transmises par les tiques continuent d'émerger.

Citation proposée : Guillot C, Bouchard C, Buhler K, Pelletier R, Milord F, Leighton PA. La qualité avant la quantité dans la surveillance active des tiques : la surveillance sentinelle surpassé la surveillance basée sur le risque pour suivre l'émergence des maladies transmises par les tiques dans le sud du Canada. Relevé des maladies transmissibles au Canada 2023;49(2/3):56–65. <https://doi.org/10.14745/ccdr.v49i23a04f>

Mots-clés : surveillance des tiques, surveillance sentinelle, maladies transmises par les tiques

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



Affiliations

¹ Groupe de recherche en épidémiologie des zoonoses et santé publique (GREZOSP), Faculté de médecine vétérinaire, Université de Montréal, Montréal, QC

² Faculté de médecine et des sciences de la santé, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, QC

³ Centre de recherche en santé publique de l'Université de Montréal et du CIUSSS du Centre-Sud-de-l'Île-de-Montréal, Université de Montréal, Montréal, QC

⁴ Division des sciences des risques pour la santé publique, Laboratoire national de microbiologie, Agence de la santé publique du Canada, Saint-Hyacinthe, QC

⁵ Département de microbiologie vétérinaire, Western College of Veterinary Medicine, Université de la Saskatchewan, Saskatoon, SK

⁶ Direction des risques biologiques, Institut national de santé publique du Québec (INSPQ), Montréal, QC

⁷ Direction de santé publique, Centre intégré de santé et de services sociaux (CISSS) de Montérégie-Centre, Longueuil, QC

*Correspondance :
camille.guillot@umontreal.ca



Introduction

La maladie de Lyme (ML) est une maladie transmise par les tiques qui est apparue dans le sud du Canada au cours des trois dernières décennies. La tique à pattes noires, ou *Ixodes scapularis*, est le vecteur de *Borrelia burgdorferi*, le principal agent de la ML au Canada, à l'est des Rocheuses (1,2). Les populations d'*I. scapularis*, d'abord établies dans le nord-est et le centre-ouest des États-Unis, ont étendu leur répartition géographique vers le nord par l'entremise d'oiseaux migrateurs pour envahir le sud du Canada (3), les premières populations établies apparaissant au Manitoba, en Ontario, au Québec et en Nouvelle-Écosse (4). En réponse à cette nouvelle menace pour la santé, les autorités de santé publique ont besoin de systèmes de surveillance efficaces pour contrôler le risque émergent de la ML.

La surveillance acarologique active, qui consiste à échantillonner des sites forestiers pour recueillir les tiques recherchées dans l'environnement, est couramment utilisée pour évaluer le danger enzootique de la ML (5). La surveillance active consiste habituellement en un échantillonnage à la flanelle, où un morceau de flanelle blanche est traîné sur le sol de sorte que les tiques s'accrochent au tissu, permettant aux spécimens d'être recueillis et analysés. À partir de ce travail de terrain, le danger enzootique est calculé comme la densité de nymphes ou la densité des nymphes infectées (6,7). La densité des nymphes et la densité des nymphes infectées ont toutes deux été associées au risque de la ML dans différentes études en Amérique du Nord (8–11). Bien que certaines études aient évalué l'association entre le danger enzootique et le risque de ML dans le sud du Canada, où la ML est en émergence, il est d'intérêt de réévaluer ce lien considérant le portrait épidémiologique en constante évolution (10,12). Il est nécessaire d'adapter les approches de surveillance active pour assurer leur durabilité et leur pertinence selon le contexte épidémiologique. Les tiques du genre *Ixodes* continuent d'étendre leur aire de répartition géographique, menant au besoin de surveiller des régions de plus en plus vastes du sud du Canada (13).

En raison de cycles écologiques complexes, les populations de tiques ont tendance à étendre leur aire de répartition géographique de façon hétérogène dans l'espace (14,15). Pour refléter cela, les systèmes de surveillance active doivent être en mesure de suivre le portrait hétérogène du risque de la ML dans l'espace. Certaines autorités provinciales de santé publique ont élaboré des critères basés sur le risque pour déterminer quels sites devraient être ciblés au cours de la surveillance active, tandis que d'autres programmes provinciaux tendent à visiter les mêmes sites dans le temps (16–18). Actuellement, on ne sait pas laquelle des approches représente le mieux le risque de ML dans l'espace et dans le temps.

Parmi les dix provinces du Canada, le Québec a le troisième plus grand nombre de cas de ML déclarés (19,20). Le Québec est la plus grande et la deuxième province la plus peuplée du Canada,

avec une population totale de près de 8,5 millions d'habitants (21). La majeure partie de la population réside dans le sud de la province, où les densités d'*I. scapularis* sont les plus élevées. Au cours des cinq dernières années, le nombre de cas humains de ML a plus que triplé, une augmentation qui correspond à l'expansion de la répartition géographique d'*I. scapularis* dans le sud du Canada (22).

La surveillance active des tiques est faite dans le sud du Québec depuis 2007, et le premier système de surveillance provincial a été établi en 2014 par l'Institut national de santé publique du Québec en collaboration avec l'Université de Montréal (18,23). De 2015 à 2019, la surveillance active a été réalisée sur deux types de sites : les sites sentinelles, qui restent constants dans le temps et sont visités chaque année, et les sites accessoires, qui changent à chaque année et sont sélectionnés par un algorithme basé sur le risque (24). Ces deux types de sites ont été choisis pour répondre à des objectifs différents dans le cadre du programme de surveillance. Les sites sentinelles ont été conçus pour fournir un signal de surveillance géographiquement représentatif pour permettre de comparer le risque entre les régions et au fil du temps, tandis que les sites accessoires sont sélectionnés pour confirmer le niveau de risque de ML dans les zones avec un potentiel d'émergence. La surveillance sentinelle a débuté en 2015 selon l'hypothèse qu'un échantillonnage répété d'un nombre limité de sites attentivement sélectionnés pourrait fournir un portrait plus représentatif de l'évolution du risque de ML à l'échelle provinciale que la surveillance annuelle basée sur le risque. De plus, la surveillance sentinelle présente plusieurs avantages logistiques importants, notamment une réduction de l'effort requis pour la sélection des sites et pour l'échantillonnage. Cependant, la représentativité spatiotemporelle de la surveillance sentinelle par rapport à la surveillance basée sur le risque n'a pas encore été officiellement comparée.

Dans le cadre de cette étude, nous avons analysé les données de surveillance recueillies sur une période de cinq ans (2015 à 2019), afin de vérifier l'hypothèse que la surveillance sentinelle fournit un signal plus représentatif du risque de la ML dans l'espace et dans le temps qu'une approche basée sur le risque, et ce dans un contexte épidémiologique de risque pré-émergent/émergent de ML dans le sud du Québec.

Méthodes

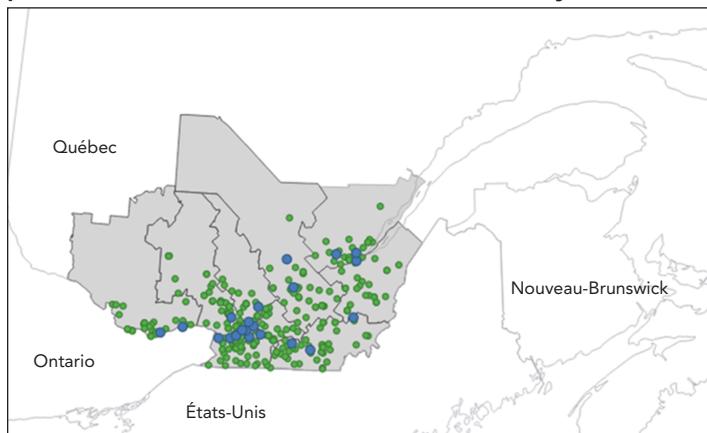
Site d'étude

La province de Québec se retrouve dans l'est du Canada, située entre les provinces de l'Ontario et du Nouveau-Brunswick. Les dix régions administratives les plus méridionales de la province englobent la zone d'émergence des tiques aux pattes noires et sont ciblées annuellement par l'Institut national de santé



publique du Québec pour la surveillance active (**figure 1**). Cette étude a analysé les données recueillies de 2015 à 2019 par la surveillance active dans cette zone d'étude.

Figure 1 : Les dix régions administratives les plus méridionales de la province de Québec, constituant la zone de surveillance active ciblée^a par le programme provincial de surveillance de la maladie de Lyme



^aLes points bleus représentent les sites sentinelles. Deux sites sentinelles ont été choisis par région administrative, sauf à Montréal où trois sites ont été sélectionnés. Les points verts représentent les sites accessoires échantillonnés pendant la période d'étude de 2015 à 2019

La surveillance active au Québec

Un réseau de surveillance active composé de 21 sites sentinelles a été conçu par le Groupe d'experts sur les maladies transmises par les tiques (Tick-Borne Disease Expert Panel) pour suivre le risque de ML dans l'environnement. Ce groupe réuni les autorités de santé publique, les experts de laboratoire, les conseillers scientifiques et médicaux et épidémiologistes. Deux sites sentinelles ont été choisis par région administrative, sauf à Montréal où trois sites ont été sélectionnés (figure 1) (25). Les sites ont été placés dans des parcs provinciaux ou régionaux, qui sont facilement accessibles au public, contiennent un habitat propice à l'établissement de populations de tiques et sont situés dans des zones géographiques distinctes de la région administrative. Ces sites sentinelles sont demeurés les mêmes tout au long de la période d'étude (2015 à 2019) et ont habituellement été visités deux fois pendant la saison de terrain (de mai à août), la première fois en mai-juin, puis une deuxième visite au moins deux semaines plus tard. Les sites retrouvés dans des régions endémiques pour la ML (un site en Montérégie et un autre en Estrie) n'ont été visités qu'une seule fois par année. Occasionnellement, d'autres sites n'ont été visités qu'une fois par année en raison de contraintes logistiques (e.g. fermeture du parc).

En plus du réseau de sites sentinelles, 60 à 80 sites accessoires ont été échantillonnés une fois par saison de terrain. Les sites accessoires ont été sélectionnés en fonction du signal de risque de ML, généré à partir de données de surveillance acarologique passive et active antérieures et de cas humains déclarés. Un protocole standardisé d'échantillonnage à la

flanelle a été réalisé lors de chaque visite, à la fois dans les sites sentinelles et accessoires. Deux techniciens de terrain ont traîné une flanelle blanche de 1 m² de dimensions le long de deux transects parallèles : le premier dans la végétation au bord d'un sentier public; et le second dans la forêt à une distance de 25 m du sentier. Chaque membre de l'équipe a échantilloné 1 000 m² pour une surface totale échantillonnée de 2 000 m² par site. La présence de tiques sur la flanelle a été vérifiée tous les 25 m et les tiques recueillies ont été conservées dans des tubes contenant de l'éthanol (70 %). Par la suite, les tiques ont été classées par espèce au Laboratoire de santé publique du Québec.

Surveillance de la maladie de Lyme chez des humains

Le risque de ML a été calculé en fonction du nombre de cas humains de ML signalés à l'échelle municipale au cours de la période d'étude de cinq ans, divisé par le logarithme de la taille de la population humaine. Une source potentielle d'erreur est la mauvaise classification de la municipalité dans laquelle la ML a été acquise. Comme seulement la moitié des cas de ML se souvenaient avoir été piqués par une tique (26), il était parfois difficile pour les individus d'identifier l'endroit précis où ils ont acquis la ML. Toutefois, au Québec, chaque cas de ML fait l'objet d'une enquête de santé publique afin de déterminer le lieu d'acquisition le plus probable, limitant ainsi cette source d'erreur.

Analyses statistiques

Danger enzootique dérivé de la surveillance active

La densité des tiques nymphales a été calculée comme une mesure du danger enzootique (24). En raison de leur petite taille, les nymphes représentent un plus grand danger pour les humains, car elles risquent de passer inaperçues pendant l'auto-examen des individus (27). Comme les densités de tiques sont relativement faibles dans le sud du Québec, nous avons décidé de ne pas utiliser la densité des nymphes infectées, qui peut ne pas être représentative en raison du faible nombre de tiques recueillies.

En utilisant des modèles saisonniers de la phénologie d'*I. scapularis* dans le sud du Québec, nous avons estimé les densités de nymphes normalisées pour une date de référence du 15 juin (28). Cela nous a permis de corriger la variabilité temporelle des densités de nymphes en raison des visites de sites à différentes périodes du cycle de vie des tiques. Nous avons utilisé ces densités de nymphes estimées pour calculer la densité moyenne par site pendant la période d'étude. Les données ont été géoréférencées en utilisant le lieu de début du transect de surveillance.

Les densités de nymphes mesurées annuellement aux sites sentinelles et aux sites accessoires ont été interpolées dans la zone d'étude afin de produire une carte de risque dérivée des données des deux types de sites. L'interpolation a été effectuée à l'aide d'une estimation de la densité par noyaux (QGIS



RAPPORT DE TÉMOIN OCULAIRE

version 3.18; Zurich, Suisse). Une distance de 80 kilomètres a été utilisée comme rayon d'interpolation, car un corrélogramme a révélé une dépendance spatiale des données de surveillance active jusqu'à cette distance (24,29). Les cartes de risque produites ont été utilisées pour attribuer une valeur estimée de la densité des tiques nymphales dérivée de la surveillance sentinelle et la surveillance basée sur le risque au niveau municipal dans la zone d'étude.

Association temporelle entre le danger enzootique et le risque de ML

Les corrélations de Pearson entre ces deux variables ont été effectuées dans R version 4.0.4 pour évaluer l'association entre le danger enzootique (densité moyenne de nymphes) et le risque de ML (nombre de cas humains de ML) pendant la période d'étude (30). L'estimation de la densité de nymphes a été calculée à partir des sites sentinelles et accessoires comme décrit dans la section précédente. La densité moyenne de nymphes obtenue pour l'ensemble des sites sentinelles ou accessoires au cours de la même année a ensuite été corrélée avec le nombre total de cas humains déclarés cette année-là.

Association spatiale entre le danger enzootique et le risque de ML

Des analyses bivariées de l'indice local de Moran ont été réalisées à l'aide de GeoDa 1.18.0 pour déterminer l'association spatiale entre le danger enzootique et le risque de ML. L'analyse bivariée de l'indice local de Moran peut révéler la relation entre une variable et les valeurs voisines moyennes d'une autre variable (31). GeoDa crée des cartes d'agrégats qui déterminent si l'association spatiale entre les variables est significative. Si elles sont significatives, les cartes indiquent si 1) les deux variables représentent des valeurs élevées, 2) les deux représentent des valeurs faibles, ou 3) une variable est d'une valeur élevée et la seconde est d'une valeur faible. De plus, certaines municipalités peuvent demeurer « indéfinies » si elles n'ont pas de valeur attribuée à l'une ou l'autre des variables ou être « sans voisins » si les polygones adjacents ne contiennent pas de données.

Les résultats des analyses de l'indice de Moran ont été transcrits dans un tableau de contingence. À partir de ce tableau de contingence, nous avons pu calculer si les mesures de danger étaient positivement associées au risque comme prévu (i.e. que le risque et le danger sont faibles ou élevés), ou s'ils divergeaient (i.e. que le risque est élevé alors que le danger est faible, ou vice versa), pour les mesures de danger dérivées des sites sentinelles et accessoires. Des tests du khi carré ont été effectués pour évaluer les différences statistiques significatives dans les associations danger-risque entre les types de sites.

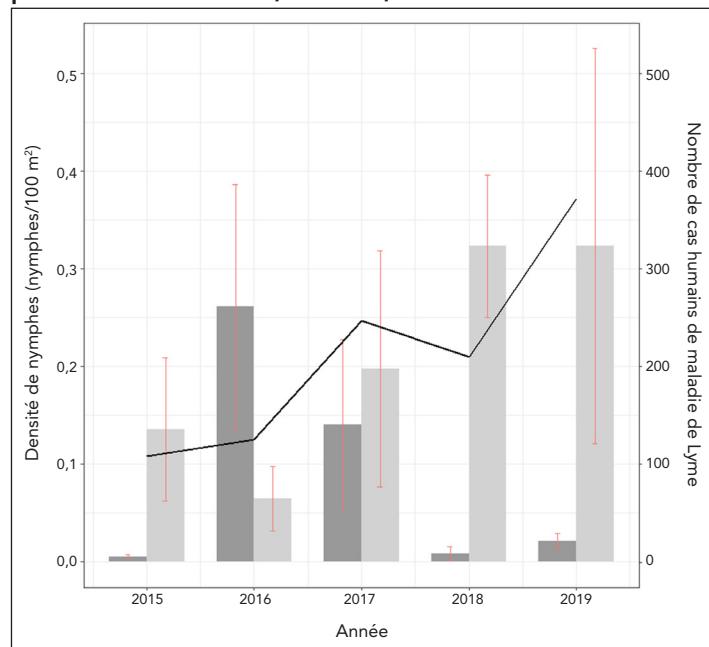
Résultats

Surveillance active

Au total, 197 visites ont été effectuées dans des sites sentinelles entre 2015 et 2019 : 28 en 2015; 45 en 2016; 43 en 2017; 39 en 2018; et 42 en 2019. Au total, 346 visites de sites accessoires ont été effectuées au cours de la même période : 47 en 2015; 104 en 2016; 55 en 2017; 65 en 2018; et 75 en 2019. La densité moyenne de nymphes au cours de la période d'étude était de 0,13 (0,10–0,16) nymphes/100 m² dans les sites sentinelles et de 0,08 (0,07–0,11) nymphes/100 m² dans les sites accessoires. Les sites sentinelles ont identifié les régions de la Montérégie, de l'Estrie et de l'Outaouais comme ayant la densité de nymphes la plus élevée (**tableau 1**), tandis que pour les sites accessoires, la densité de nymphes la plus élevée a été observée en Outaouais, suivi de la Montérégie. Il faut noter que pour les sites accessoires de la Mauricie-et-Centre-du-Québec, la forte densité moyenne de nymphes en 2016 était attribuable à un seul site où 2,17 nymphes/100 m² ont été mesurées.

Ces densités ont par la suite été ajustées à l'aide du modèle saisonnier pour tenir compte de la phénologie des tiques avant d'utiliser les données pour une analyse plus approfondie (**figure 2**).

Figure 2 : Densité moyenne de nymphes (nymphes/100 m²)^a avec erreurs-types au niveau provincial au Québec, Canada, de 2015 à 2019^b



^a Ajustée à l'aide de modèles saisonniers pour les densités estimées le 15 juin

^b Les densités annuelles de nymphes mesurées aux sites sentinelles (barres gris clair) et aux sites accessoires (barres gris foncé) sont comparées au nombre de cas humains de maladie de Lyme au Québec (ligne noire)



Tableau 1 : Densités moyennes de nymphes^a pour les sites sentinelles et accessoires dans les dix régions administratives incluses dans le système de surveillance active de la maladie de Lyme au Québec, Canada, de 2015 à 2019

Région administrative	Densité de nymphes (nymphes/100 m ²) ^b					Moyenne	
	Année						
	2015	2016	2017	2018	2019		
Sites sentinelles							
Cap.-N.	0	0	0	0	0	0	
Maur. et C.-Qc	0,02 (0–0,05)	0,01 (0–0,03)	0	0	0	0,01 (0–0,01)	
Estrie	0,74 (0–1,47) ^c	0,22 (0–0,43) ^c	0,27 (0–0,53) ^c	0,05 (0–0,1)	0,05 (0–0,1)	0,23 (0,11–0,35) ^c	
Mtl	0,02 (0–0,05)	0,05 (0–0,1)	0,25 (0,09–0,41) ^c	0	0,1 (0,02–0,18)	0,09 (0,05–0,14)	
Out.	0,13 (0,09–0,17)	0,06 (0,02–0,1)	0,20 (0,15–0,25) ^c	0,03 (0,01–0,04)	0,85 (0,3–1,4) ^c	0,20 (0,10–0,30) ^c	
Ch.-App.	0	0	0	0	0	0	
Laval	0,02 (0–0,05)	0,01 (0–0,03)	0,01 (0–0,03)	0,03 (0–0,05)	0,05 (0,01–0,09)	0,02 (0,01–0,04)	
Lan.	0	0	0,02 (0–0,03)	0	0	0,005 (0–0,01)	
Laur.	0,04 (0–0,08)	0,04 (0,01–0,06)	0,11 (0,05–0,18)	0	0,02 (0–0,03)	0,05 (0,03–0,06)	
Mgie	0,45 (0,02–0,88) ^c	0,38 (0,14–0,62) ^c	1,23 (0,55–1,90) ^c	0,47 (0–0,93) ^c	0,05 (0–0,1)	0,57 (0,36–0,77) ^c	
Sites accessoires							
Cap.-N.	0	0	0	0,05 (0–0,1)	0,01 (0–0,02)	0,01 (0–0,02)	
Maur. et C.-Qc	0	0,54 (0–1,09) ^c	0	0,01 (0–0,01)	0	0,06 (0–0,13)	
Estrie	0,01 (0–0,02)	0	0,2 (0,05–0,35)	0	0,02 (0,01–0,04)	0,02 (0,01–0,04)	
Mtl	0	0	0,06 (0–0,13)	0	0	0,02 (0–0,03)	
Out.	0	0,35 (0,13–0,57) ^c	0,81 (0,28–1,36) ^c	0	0	0,31 (0,31–0,49) ^c	
Ch.-App.	0	0	0	0	0,01 (0–0,01)	0,002 (0–0,004)	
Laval	0,01 (0–0,02)	0	0,06 (0–0,12)	0	0	0,02 (0–0,04)	
Lan.	0	0	0,12 (0,01–0,23)	0	0,12 (0,001–0,25)	0,05 (0,02–0,09)	
Laur.	0	0,002 (0–0,003)	0	0	0,03 (0,01–0,05)	0,005 (0–0,008)	
Mgie	0,02 (0–0,04)	0,37 (0,28–0,46) ^c	0,05 (0,01–0,08)	0,01 (0–0,01)	0,01 (0,01–0,02)	0,19 (0,14–0,24)	

Abréviations : Cap.-N., Capitale-Nationale; Ch.-App., Chaudière-Appalaches; Lan., Lanaudière; Laur., Laurentides; Maur. et C.-Qc, Mauricie-et-Centre-du-Québec; Mgie, Montérégie; Mtl, Montréal; Out., Outaouais

^a Intervalles de confiance à 95 % sur toute la période d'étude

^b < 0,20 nymphe/100 m²

^c > 0,20 nymphe/100 m²

Analyses statistiques

La corrélation entre le danger enzootique (densité moyenne de nymphes) et le risque de ML (nombre de cas humains) a montré une association positive ($r = 0,88$; IC à 95 %, -0,02–0,99) pour les données obtenues des sites sentinelles. Cette association était faiblement significative selon le test de corrélation de Pearson ($p = 0,05$). En revanche, pour les données recueillies sur les sites accessoires, la corrélation entre le danger enzootique et le risque de ML était négative ($r = -0,32$; IC à 95 %, -0,937–0,784) et non significative ($p = 0,60$).

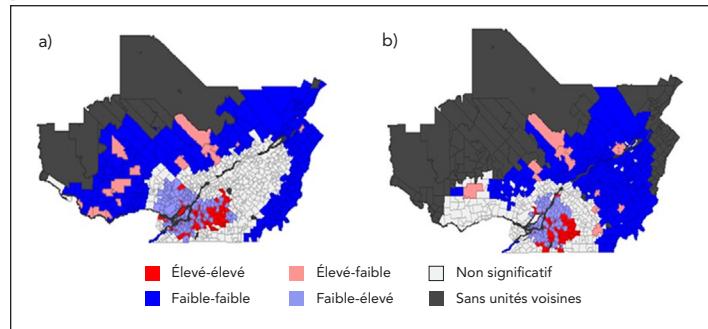
Des données interpolées à l'échelle municipale au Québec ont été utilisées dans l'analyse bivariée de l'indice local de Moran pour déterminer si les densités de nymphes recueillies au cours des différentes stratégies de surveillance active étaient associées

au degré de risque de ML (nombre de cas humains/logarithme de la population) (figure 3). Les cartes d'agrégats montrent s'il existe une association spatiale significative entre ces deux variables. Les données sur les sites accessoires présentaient une plus grande proportion de classifications non significatives ($n = 490$, 46,4 %) que les données sur les sites sentinelles ($n = 348$, 33,0 %) (tableau 2). Vu le nombre limité de sites d'échantillonnage pour la surveillance active, une partie de la zone d'étude était indéfinie ou sans voisins dans les analyses, car aucune donnée n'a été recueillie dans ces zones.



RAPPORT DE TÉMOIN OCULAIRE

Figure 3 : Cartes d'agrégats dérivés de l'analyse bivariée de l'indice local de Moran comparant l'incidence de la maladie de Lyme chez les humains avec des données de surveillance active interpolées provenant de sites sentinelles et accessoires^a



^aCôté a) Données de surveillance active interpolées provenant de sites sentinelles, et côté b) Données de surveillance active interpolées provenant de sites accessoires

Tableau 2 : Résultats de l'analyse bivariée de l'indice local de Moran pour les données sur les cas humains comparativement aux données de surveillance active des sites sentinelles et accessoires

Résultat de l'analyse bivariée de l'indice local de Moran	Sentinelle	Accessoire
Non significatif	348	490
Élevé-elevé	44	53
Faible-faible	344	249
Faible-elevé	124	181
Élevé-faible	13	15
Sans voisins	17	22
Indéfini	165	45
Totaux		
Association positive	388	302
Association négative	137	196

Au sein des associations significatives, certaines ont montré des associations positives (les deux variables sont « élevées » ou « faibles »), tandis que d'autres ont montré des associations négatives (une variable était « élevée » tandis que l'autre était « faible »). Dans le contexte de la surveillance, les associations positives entre la surveillance active et le risque de ML suggèrent la fiabilité des sites de surveillance active pour suivre le risque de ML. Dans cette analyse, les sites sentinelles ont montré une association positive avec le risque de ML pour 388 municipalités (36,8 %), tandis que les sites accessoires ont montré une association positive avec le risque de ML pour 302 (28,6 %). La proportion d'association positive par rapport à celle négative était significativement plus élevée pour les sites sentinelles par rapport aux sites accessoires ($\chi^2 = 20,473$, $p < 0,001$).

Discussion

Cet article démontre la capacité de la surveillance sentinelle active de suivre les tendances du risque spatiotemporel de ML sur une période de cinq ans dans un contexte d'émergence, avec un nombre limité de sites sentinelles de qualité. En revanche, l'approche basée sur le risque qui emploie environ deux fois plus de visites de sites accessoires au cours de la même période a fourni un portrait géographique moins précis du risque émergent et n'a pas réussi à relever la forte augmentation des cas humains au fil du temps, laissant même supposer que le risque avait diminué plutôt qu'augmenté au cours de la période d'étude. La surveillance sentinelle et la surveillance basée sur le risque fournissent des renseignements complémentaires et servent à des fins différentes au sein d'un système de surveillance; cette étude démontre que l'analyse et l'interprétation des données de surveillance devraient tenir compte de ces différences.

Plus précisément, lorsque la surveillance vise à documenter les changements du risque de maladies transmises par les tiques dans le temps et dans l'espace, nous suggérons qu'un échantillonnage répété de sites stratégiques peut être plus efficace, tandis que la surveillance basée sur le risque peut être plus utile pour confirmer la présence d'un risque de maladie émergente dans une région d'intérêt spécifique ou pour identifier des sites appropriés pour une surveillance à long terme.

Dans nos analyses, nous avons utilisé des mesures de danger enzootique, sous forme de densité de nymphes dérivée des données de sites sentinelles et accessoires, pour suivre la tendance temporelle du risque de ML entre 2015 et 2019. Un test de corrélation de Pearson à l'échelle provinciale a démontré que la densité moyenne de nymphes calculée à partir des sites sentinelles était positivement corrélée au risque de ML (nombre de cas humains de ML) ($r = 0,88$), comparativement à la densité moyenne des nymphes calculée à partir des sites accessoires où aucune corrélation significative n'a été trouvée. À mesure que les sites accessoires changent d'année en année, la densité moyenne de nymphes tient compte non seulement de la variation interannuelle, mais aussi de la répartition spatiale hétérogène des populations de tiques, ce qui rend la variation annuelle plus difficile à interpréter. Cependant, comme notre période d'étude était limitée à cinq ans, ce résultat devrait être interprété avec prudence. De plus, dans des recherches antérieures, nous avons constaté qu'une association positive entre les densités de nymphes provenant des sites sentinelles et les cas humains annuels n'était pas toujours évidente à l'échelle régionale (e.g. dans la région de l'Estrie) (24). Il serait intéressant d'étudier les raisons de la variation régionale de cette relation; par exemple, il est possible que les sites sentinelles choisis en Estrie n'aient pas été optimaux pour représenter le portrait épidémiologique à cette échelle. Pendant ce temps, nous suggérons que la densité moyenne de nymphes calculée à partir de sites sentinelles à plus grande échelle pourrait être plus robuste et instructive pour évaluer la variation interannuelle du risque de ML.



La relation spatiale entre le danger enzootique et le risque de ML était représentée de manière plus fiable par les sites sentinelles que par les sites accessoires. Pour les deux analyses, une interpolation a été utilisée pour permettre la représentation du danger enzootique sur toute l'étendue de la zone d'étude; par conséquent, l'interpolation ne relèvera pas l'hétérogénéité à petite échelle dans l'établissement de la population de tiques dans l'espace, ce qui pourrait par la suite entraîner un biais d'information. Il faut donc considérer que la surveillance sentinelle fournit un indicateur général du risque pour suivre les tendances spatiotemporelles, alors que les données dérivées de la surveillance basée sur le risque peuvent être plus appropriées pour confirmer la présence du risque de ML à l'échelle municipale (13). Les zones où le risque n'a pas été bien cerné par la surveillance sentinelle (e.g. la Rive-Nord de Montréal) (voir la figure 3) pourraient ensuite faire l'objet d'une étude exploratoire; la surveillance basée sur le risque (via des sites accessoires) pourrait faire partie de la stratégie de surveillance pour cibler quels sites sont les plus informatifs. Par la suite, ces sites pourraient être retenus dans le cadre du système de surveillance sentinelle. Bien que nous montrions que deux sites sentinelles par région administrative étaient en mesure de suivre les tendances à grande échelle du risque de ML, l'augmentation du nombre de sites sentinelles par région serait utile pour permettre une meilleure représentativité géographique et fournir des estimations de risque plus précis. Une source de biais d'information pourrait provenir de la sous-déclaration des cas de ML, par exemple dans les régions à faible risque en raison d'une sensibilisation réduite du public et des cliniciens. Des études antérieures suggèrent que ce n'est peut-être pas un problème important au Canada (32); cependant, cela réitère l'avantage d'avoir une série chronologique plus longue ou de répéter une étude semblable pour déterminer si la relation entre le danger enzootique et le risque de ML se maintient, d'autant plus que la prise de conscience de ML peut changer avec le temps.

La surveillance sentinelle des maladies transmises par les tiques n'est pas un concept nouveau. De nombreuses études, dont certaines dans le sud du Canada, ont échantillonné des sites à plusieurs reprises pour déterminer le risque géographique ou écologique de ML associé à la présence de tiques (33–35). Aux États-Unis, les données provenant d'échantillonnages répétés sur le terrain ont montré une corrélation positive entre la densité de nymphes infectées et les cas humains (11); toutefois, ces sites ne faisaient pas partie d'un système de surveillance coordonné. Au Canada, les données recueillies sur des sites de terrain échantillonnés de manière répétée ont servi à élaborer et à évaluer des indicateurs pour déterminer la probabilité d'établissement de populations d'*I. scapularis* — ceci a pu contribuer à comprendre la répartition du danger acarologique sur le territoire (34,36). Un système national de surveillance sentinelle des maladies transmises par les tiques a été lancé en 2019 par le Réseau canadien de recherche sur la ML; cependant, les données générées par cette nouvelle initiative de surveillance restent à être analysées (37). Le système de surveillance active

mis en place au Québec, qui utilise à la fois la surveillance sentinelle et la surveillance basée sur le risque, a permis la première comparaison de ces approches de surveillance dans le sud du Canada, une région où la ML est en émergence. Comme le portrait épidémiologique de la ML évolue rapidement, la relation entre le danger enzootique mesuré aux sites sentinelles et le risque de ML devra être réévaluée régulièrement pour déterminer si cette relation se maintient. Clow *et al.* (13) ont proposé un cadre de surveillance des maladies transmises par les tiques où la surveillance est décrite comme un processus adaptatif, avec des objectifs de surveillance modulables au fil du temps à mesure que le contexte épidémiologique continue d'évoluer.

Forces et limites

Selon le cadre de Clow *et al.* (13), la surveillance active de sites sentinelles est jugée appropriée pour la phase d'émergence et la phase endémique du processus de la maladie. Bien que nous ayons démontré la capacité des sites sentinelles à suivre le risque spatiotemporel de façon plus fiable que les sites accessoires, cela reste à démontrer pour les régions endémiques. De plus, une limite importante de la surveillance sentinelle est son inefficacité en contexte de pré-émergence; comme les sites sentinelles sont un petit sous-ensemble de l'ensemble de la région de surveillance, ils ont une sensibilité limitée pour capter les signaux précoce d'émergence. Cela met en évidence le rôle complémentaire de la surveillance sentinelle au sein d'un réseau de surveillance plus large qui comprend d'autres méthodes de surveillance telle que la surveillance acarologique passive (e.g. eTick) (10,38).

Conclusion

Notre étude a démontré la capacité de la surveillance sentinelle à suivre le risque spatiotemporel de ML dans une région où le risque se propage. Au Canada, où les maladies transmises par les tiques continuent d'émerger, cette étude peut appuyer la planification de stratégies de surveillance active. La surveillance active aux sites sentinelles permet une comparabilité des mesures de danger acarologique, tout en concentrer l'effort d'échantillonnage à un nombre restreint de sites. Un processus décisionnel stratégique doit appuyer la sélection des sites, afin de s'assurer qu'ils sont représentatifs du contexte épidémiologique sous-jacent et que les données qui en résultent fournissent un portrait fiable des tendances d'émergence des maladies dans l'espace et dans le temps.

Déclaration des auteurs

C. G. — Conceptualisation, méthodologie, analyse, interprétation, rédaction de l'ébauche originale, examen et révision

P. A. L. — Supervision, conceptualisation, méthodologie, interprétation, examen et révision

C. B. — Supervision, méthodologie, interprétation, examen et révision



RAPPORT DE TÉMOIN OCULAIRE

F. M. — Supervision, examen et révision
K. B. — Examen et révision
R. P. — Examen et révision

Intérêts concurrents

Aucun.

Remerciements

Nous remercions les nombreux techniciens de terrain et de laboratoire qui ont participé à la collecte et à l'analyse des tiques. Nous tenons à remercier les parcs locaux, régionaux et nationaux d'avoir donné accès aux sites pour le travail sur le terrain.

Financement

L'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) et le ministère de la Santé et des Services sociaux (MSSS) ont financé le recueil de données dans des sites d'échantillonnage partout au Québec dans le cadre d'activités de surveillance annuelles. Le Laboratoire de Santé publique du Québec (LSPQ) a identifié les espèces de spécimens de tiques recueillis. Le Laboratoire national de microbiologie a confirmé l'espèce et a effectué des tests de détection d'agents pathogènes associés aux tiques.

Références

1. Kulkarni MA, Berrang-Ford L, Buck PA, Drebot MA, Lindsay LR, Ogden NH. Major emerging vector-borne zoonotic diseases of public health importance in Canada. *Emerg Microbes Infect* 2015;4(6):e33. [DOI](#) [PubMed](#)
2. Leighton PA, Lindsay LR, Ogden NH. Climate and the emergence of tick-borne disease in Canada. In: Climate, Ticks and Disease. CABI Digital Library. Dec 3, 2021. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/abs/10.1079/9781789249637.0073>
3. Ogden NH, Maarouf A, Barker IK, Bigras-Poulin M, Lindsay LR, Morshed MG, O'Callaghan CJ, Ramay F, Waltner-Toews D, Charron DF. Climate change and the potential for range expansion of the Lyme disease vector *Ixodes scapularis* in Canada. *Int J Parasitol* 2006;36(1):63–70. [DOI](#) [PubMed](#)
4. Ogden NH, Koffi JK, Pelcat Y, Lindsay LR. Risque environnemental pour la maladie de Lyme dans l'est et le centre du Canada : un sommaire d'informations récentes en matière de surveillance. *Relevé des maladies transmissibles au Canada* 2014;40(5):77–86. [DOI](#)
5. Ogden NH, Koffi JK, Lindsay LR. Évaluation d'un test de dépistage devant servir à déterminer le risque de la maladie de Lyme. *Relevé des maladies transmissibles au Canada* 2014;40(5):87–92. [DOI](#)
6. Jouda F, Perret JL, Gern L. Density of questing *Ixodes ricinus* nymphs and adults infected by *Borrelia burgdorferi* sensu lato in Switzerland: spatio-temporal pattern at a regional scale. *Vector Borne Zoonotic Dis* 2004;4(1):23–32. [DOI](#) [PubMed](#)
7. Diuk-Wasser MA, VanAcker MC, Fernandez MP. Impact of Land Use Changes and Habitat Fragmentation on the Eco-epidemiology of Tick-Borne Diseases. *J Med Entomol* 2021;58(4):1546–64. [DOI](#) [PubMed](#)
8. Diuk-Wasser MA, Hoen AG, Cislo P, Brinkerhoff R, Hamer SA, Rowland M, Cortinas R, Vourc'h G, Melton F, Hickling GJ, Tsao JI, Bunikis J, Barbour AG, Kitron U, Piesman J, Fish D. Human risk of infection with *Borrelia burgdorferi*, the Lyme disease agent, in eastern United States. *Am J Trop Med Hyg* 2012;86(2):320–7. [DOI](#) [PubMed](#)
9. Eisen L, Eisen RJ. Critical Evaluation of the Linkage Between Tick-Based Risk Measures and the Occurrence of Lyme Disease Cases. *J Med Entomol* 2016;53(5):1050–62. [DOI](#) [PubMed](#)
10. Ripoche M, Gasmi S, Adam-Poupart A, Koffi JK, Lindsay LR, Ludwig A, Milord F, Ogden NH, Thivierge K, Leighton PA. Passive Tick Surveillance Provides an Accurate Early Signal of Emerging Lyme Disease Risk and Human Cases in Southern Canada. *J Med Entomol* 2018;55(4):1016–26. [DOI](#) [PubMed](#)
11. Pepin KM, Eisen RJ, Mead PS, Piesman J, Fish D, Hoen AG, Barbour AG, Hamer S, Diuk-Wasser MA. Geographic variation in the relationship between human Lyme disease incidence and density of infected host-seeking *Ixodes scapularis* nymphs in the Eastern United States. *Am J Trop Med Hyg* 2012;86(6):1062–71. [DOI](#) [PubMed](#)
12. Burrows H, Slatculescu AM, Feng CX, Clow KM, Guillot C, Jardine CM, Leighton PA, Krause PJ, Kulkarni MA. The utility of a maximum entropy species distribution model for *Ixodes scapularis* in predicting the public health risk of Lyme disease in Ontario, Canada. *Ticks Tick Borne Dis* 2022;13(5):101969. [DOI](#) [PubMed](#)
13. Clow KM, Leighton PA, Pearl DL, Jardine CM. A framework for adaptive surveillance of emerging tick-borne zoonoses. *One Health* 2019;7:100083. [DOI](#) [PubMed](#)



14. Millins C, Gilbert L, Johnson P, James M, Kilbride E, Birtles R, Biek R. Heterogeneity in the abundance and distribution of *Ixodes ricinus* and *Borrelia burgdorferi* (*sensu lato*) in Scotland: implications for risk prediction. *Parasit Vectors* 2016;9(1):595. [DOI](#) [PubMed](#)
15. Clow KM, Leighton PA, Ogden NH, Lindsay LR, Michel P, Pearl DL, Jardine CM. Northward range expansion of *Ixodes scapularis* evident over a short timescale in Ontario, Canada. *PLoS One* 2017;12(12):e0189393. [DOI](#) [PubMed](#)
16. Public Health Ontario. Technical report: Update on Lyme disease prevention and control. Second edition. Toronto, ON: Queen's Printer for Ontario; 2016. https://www.publichealthontario.ca/-/media/Documents/L/2016/lyme-disease-prevention-technical.pdf?sc_lang=en
17. Office of the Chief Medical Officer of Health. New Brunswick Lyme Disease Strategy 2017. [Consulté le 3 mars 2022]. <https://www2.gnb.ca/content/dam/gnb/Departments/h-s/pdf/en/CDC/LymeDiseaseStrategy.pdf>
18. Institut national de santé publique du Québec. Plan d'analyse de la surveillance intégrée de la maladie de Lyme. INSPQ; 2016. https://www.inspq.qc.ca/sites/default/files/publications/2257_plan_analyse_surveillance_lyme.pdf
19. Courtin F, Camara O, Camara M, Kagbadouno M, Bucheton B, Solano P, Jamonneau V. Sleeping sickness in the historical focus of forested Guinea: update using a geographically based method. *Parasite* 2019;26:61. [DOI](#) [PubMed](#)
20. Amerasinghe FP, Ariyasena TG. Survey of adult mosquitoes (Diptera: Culicidae) during irrigation development in the Mahaweli Project, Sri Lanka. *J Med Entomol* 1991;28(3): 387–93. [DOI](#) [PubMed](#)
21. Abuaku B, Duah N, Quaye L, Quashie N, Koram K. Therapeutic efficacy of artemether-lumefantrine combination in the treatment of uncomplicated malaria among children under five years of age in three ecological zones in Ghana. *Malar J* 2012;11(1):388. [DOI](#) [PubMed](#)
22. Gasmi S, Ogden NH, Lindsay LR, Burns S, Fleming S, Badcock J, Hanan S, Gaulin C, Leblanc MA, Russell C, Nelder M, Hobbs L, Graham-Derham S, Lachance L, Scott AN, Galanis E, Koffi JK. Surveillance de la maladie de Lyme au Canada, de 2009 à 2015. Relevé des maladies transmissibles au Canada. 2017;43(10):219–25. [DOI](#)
23. Institut national de santé publique du Québec. Portrait de la maladie de Lyme au Québec: 2006–2019. [Consulté le 14 juillet 2022]. <https://www.inspq.qc.ca/publications/2844>
24. Guillot C, Bouchard C, Buhler K, Dumas A, Milord F, Ripoche M, Pelletier R, Leighton PA. Sentinel Surveillance Contributes to Tracking Lyme Disease Spatiotemporal Risk Trends in Southern Quebec, Canada. *Pathogens* 2022;11(5):531. [DOI](#) [PubMed](#)
25. St George TD, Cybinski DH, Standfast HA, Gard GP, Della-Porta AJ. The isolation of five different viruses of the epizootic haemorrhagic disease of deer serogroup. *Aust Vet J* 1983;60(7):216–7. [DOI](#) [PubMed](#)
26. Nigrovic LE, Neville DN, Balamuth F, Bennett JE, Levas MN, Garro AC; for Pedi Lyme Net. A minority of children diagnosed with Lyme disease recall a preceding tick bite. *Ticks Tick Borne Dis* 2019;10(3):694–6. [DOI](#) [PubMed](#)
27. Spielman A, Wilson ML, Levine JF, Piesman J. Ecology of *Ixodes dammini*-borne human babesiosis and Lyme disease. *Annu Rev Entomol* 1985;30:439–60. [DOI](#) [PubMed](#)
28. Dumas A, Bouchard C, Lindsay LR, Ogden NH, Leighton PA. Fine-scale determinants of the spatiotemporal distribution of *Ixodes scapularis* in Quebec (Canada). *Ticks Tick Borne Dis* 2022;13(1):101833. [DOI](#) [PubMed](#)
29. Fletcher R, Fortin MJ. Spatial Ecology and Conservation Modeling: Applications with R. New York: Springer; 2019.
30. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Vienna (AT): R Project; 2021. <https://www.R-project.org/>
31. Anselin L. 2022. Local Spatial Autorrelation. GeoDa. [Consulté le 14 juillet 2022; mis à jour le 15 octobre 2020]. https://geodacenter.github.io/workbook/6c_local_multi/lab6c.html
32. Ogden NH, Bouchard C, Badcock J, Drebot MA, Elias SP, Hatchette TF, Koffi JK, Leighton PA, Lindsay LR, Lubelczyk CB, Peregrine AS, Smith RP, Webster D. What is the real number of Lyme disease cases in Canada? *BMC Public Health* 2019;19(1):849. [DOI](#) [PubMed](#)
33. Clow KM, Ogden NH, Lindsay LR, Michel P, Pearl DL, Jardine CM. Distribution of Ticks and the Risk of Lyme Disease and Other Tick-Borne Pathogens of Public Health Significance in Ontario, Canada. *Vector Borne Zoonotic Dis* 2016;16(4): 215–22. [DOI](#) [PubMed](#)
34. Burrows H, Talbot B, McKay R, Slatculescu A, Logan J, Thickstun C, Lindsay LR, Dibernardo A, Koffi JK, Ogden NH, Kulkarni MA. A multi-year assessment of blacklegged tick (*Ixodes scapularis*) population establishment and Lyme disease risk areas in Ottawa, Canada, 2017–2019. *PLoS One* 2021;16(2):e0246484. [DOI](#) [PubMed](#)



RAPPORT DE TÉMOIN OCULAIRE

35. Wongnak P, Bord S, Jacquot M, Agoulon A, Beugnet F, Bournez L, Cèbe N, Chevalier A, Cosson JF, Dambrine N, Hoch T, Huard F, Korboulewsky N, Lebert I, Madouasse A, Mårell A, Moutailler S, Plantard O, Pollet T, Poux V, René-Martellet M, Vayssier-Taussat M, Verheyden H, Vourc'h G, Chalvet-Monfray K. Meteorological and climatic variables predict the phenology of *Ixodes ricinus* nymph activity in France, accounting for habitat heterogeneity. *Sci Rep* 2022;12(1):7833. [DOI](#) [PubMed](#)
36. Clow KM, Ogden NH, Lindsay LR, Russell CB, Michel P, Pearl DL, Jardine CM. A field-based indicator for determining the likelihood of *Ixodes scapularis* establishment at sites in Ontario, Canada. *PLoS One* 2018;13(2):e0193524. [DOI](#) [PubMed](#)
37. Guillot C, Badcock J, Clow K, Cram J, Dergousoff S, Dibernardo A, Evasion M, Fraser E, Galanis E, Gasmie S, German GJ, Howse DT, Jardine C, Jenkins E, Koffi J, Kulkarni M, Lindsay LR, Lumsden G, McKay R, Moore K, Morshed M, Munn D, Nelder M, Nocera J, Ripoche M, Rochon K, Russell C, Slatculescu A, Talbot B, Thivierge K, Voordouw M, Bouchard C, Leighton P. Surveillance sentinel du risque de la maladie de Lyme au Canada, 2019 : résultats de la première année du Réseau sentinel canadien de surveillance de la maladie de Lyme (ReSCal). Relevé des maladies transmissibles au Canada 2020;46(10):399–407. [DOI](#)
38. eTick. <https://www.etick.ca/>



RMTC RELEVÉ DES MALADIES
TRANSMISSIBLES
AU CANADA