

SURVEILLANCE SYNDROMIQUE DU VIRUS WEST-NILE UTILISANT LES DONNÉES DE RAPACES DES CENTRES DE SOINS DE LA FAUNE SAUVAGE *

Alba Anna¹, Perez Andrés¹, Ponder Julia¹, Puig Père², Wünschmann Arnold¹,
VanderWaal Kimberly¹, Alvarez Julio¹ et Willette Michelle¹



RÉSUMÉ

Les Centres de soins de la faune sauvage (CSFS) récoltent régulièrement de multiples données sur la santé de diverses espèces. Leur utilité pour détecter l'émergence d'agents pathogènes et améliorer la surveillance traditionnelle reste grandement inexplorée. Ce travail a évalué l'utilité des données enregistrées sur les rapaces admis au Centre de Rapaces (*The Raptor Center*, en abrégé TRC) pour indiquer la circulation du virus West-Nile (VWN) dans le Minnesota, États-Unis, entre 1990 et 2014. Au départ, pour identifier le groupe des rapaces qui pourrait indiquer la circulation du virus, on a effectué une analyse descriptive et une comparaison des séries temporelles regroupées par groupe aviaire, espèce et signes cliniques. Cette analyse a permis de visualiser l'évolution temporelle des admissions de différents groupes et d'identifier des variations notables après l'arrivée du VWN en 2002. Selon cette analyse, le groupe des buses et des éperviers admis au TRC avec des signes semblables à ceux d'une infection par le VWN pourrait indiquer la circulation du VWN. Pour évaluer l'effet du VWN dans ce groupe, une étude des séries temporelles interrompues a été réalisée. Les résultats suggèrent que la surveillance des buses et des éperviers admis au TRC avec des signes compatibles d'infection par VWN pourrait servir d'indicateur de circulation du virus. Ces conclusions ont été confortées par les résultats du laboratoire. Ainsi, nous démontrons que la surveillance de données recueillies par les CSFS peut révéler la propagation d'agents pathogènes chez les animaux sauvages, les animaux domestiques et l'Homme, en permettant la détection de l'apparition d'une maladie dans une région et une surveillance des tendances d'évolution de cette maladie. En conclusion, les données recueillies dans les CSFS peuvent aider à allouer plus efficacement des ressources financières et humaines pour la prévention de maladies.

Mots-clés : Centres de soins de la faune sauvage, surveillance syndromique, rapaces, données massives, séries temporelles, virus West-Nile.

* Texte de la communication orale présentée au cours de la Journée scientifique AEEMA, 24 mars 2017

¹ Université du Minnesota, St. Paul, Minnesota, États-Unis

² Université autonome de Barcelone, Cerdanyola del Vallès, Barcelone, Espagne

ABSTRACT

Wildlife rehabilitation centers routinely gather health-related data from diverse species. Their capability to signal the occurrence of emerging pathogens and improve traditional surveillance remains largely unexplored. This paper assessed the utility for syndromic surveillance of raptors admitted to The Raptor Center (TRC) to signal circulation of West Nile Virus (WNV) in Minnesota, USA, between 1990 and 2014. An exhaustive descriptive analysis using grouping time series structures and models of interrupted times series was conducted for indicator subsets. Results indicated that temporal patterns of accessions at the TRC changed distinctively after the incursion of WNV in 2002, suggesting that monitoring of hawks admitted to TRC with WNV-like signs could serve as an indicator of WNV circulation. These conclusions were also supported by the results of laboratory diagnosis. Thus, we demonstrate that monitoring of data routinely collected by wildlife rehabilitation centers has the potential to signal the spread of pathogens that may affect wild, domestic animals and humans, thus supporting the early detection of disease incursions in a region and monitoring of disease trends. Ultimately, data collected in rehabilitation centers may provide insights to efficiently allocate financial and human resources on disease prevention and surveillance.

Keywords: *Wildlife rehabilitation, Syndromic surveillance, Raptors, Big data, Time series, Virus West Nile.*



I - INTRODUCTION

La surveillance de la santé animale peut contribuer à la détection précoce et à la prévention des épidémies dans les populations humaines [Butler, 2006 ; Jebara, 2004 ; Morner *et al.*, 2002]. Les animaux sauvages jouent un rôle clé dans la transmission de nombreuses maladies infectieuses à l'Homme en servant de réservoirs pour des agents pathogènes importants tels que le virus West-Nile (WNV), le virus de la grippe aviaire (AIV) et l'agent de la maladie de Lyme. En plus de la santé humaine, les industries impliquées dans l'élevage du bétail, des volailles et la production halieutique sont également vulnérables aux maladies infectieuses transmises par la faune sauvage, ce qui peut entraîner des pertes économiques causées par des épizooties et l'imposition potentielle de restrictions commerciales strictes [Thiermann, 2005]. Aux États-Unis, bien qu'il existe des systèmes mis en place pour surveiller les maladies infectieuses chez l'Homme et certains animaux domestiques, ainsi que certains programmes pour des maladies spécifiques dans la faune sauvage libre, il n'existe actuellement aucune stratégie globale et intégrée pour surveiller les troubles de santé de la faune

sauvage [Willette *et al.*, 2013]. En outre, bien que la nécessité d'un tel système de suivi ait été identifiée, les difficultés telles que le coût, le temps, l'identification de cas et la mise en pratique de stratégies d'échantillonnage demeurent difficiles à surmonter. La collecte des échantillons y est actuellement limitée à des activités coûteuses de surveillance active, nécessitant souvent un piégeage d'animaux, ou un échantillonnage passif d'animaux chassés ou d'animaux sauvages soumis à des organismes de santé publique ou des CSFS [Randall *et al.*, 2012].

Les nouvelles approches, telles que la surveillance syndromique fondée sur l'utilisation de données numériques non spécifiques, peuvent aider à améliorer les systèmes de surveillance actuels. Les *Centers for Disease Control* (CDC) ont défini la surveillance syndromique comme une recherche fondée sur l'utilisation de données de santé qui précèdent le diagnostic pour détecter une épidémie et diminuer la morbidité et la mortalité [Henning, 2004]. En plus d'améliorer la détection précoce des maladies infectieuses, la surveillance syndromique peut également contribuer à la

surveillance des maladies endémiques et/ou être utilisée pour accumuler des preuves d'absence d'une maladie [Katz *et al.*, 2011]. On estime que plus de 500 000 amphibiens, reptiles, oiseaux et mammifères marins et terrestres sont admis chaque année dans des CSFS aux États-Unis [Willette *et al.*, 2013], représentant un éventail varié d'espèces provenant de différents écosystèmes et régions géographiques. L'utilisation des CSFS comme moyen alternatif de surveillance de la santé animale et environnementale a été proposée [Camacho *et al.*, 2016 ; Cox-Witton *et al.*, 2014 ; Doell *et al.*, 2016 ; Pultorak *et al.*, 2011 ; Randall *et al.*, 2012 ; Stitt *et al.*, 2007 ; Willette *et al.*, 2013]. Cependant, il existe un certain nombre de difficultés pour l'utilisation systématique des données des CSFS pour la surveillance syndromique. On peut citer en particulier : l'absence d'objectifs de surveillance spécifiques, l'absence de systèmes de base de données complets et intégrés, une infrastructure limitée des CSFS, la qualité des données et les problèmes logistiques. La condition préalable pour surmonter ces difficultés est la mise en place de nouvelles stratégies de surveillance et d'outils d'analyse pour les données recueillies régulièrement par des CSFS. En effet, il est essentiel de développer et de valider rigoureusement les approches analytiques pour le suivi et la détection d'aberrations dans les données, qui peuvent indiquer un événement de santé. Dans le présent travail, nous utilisons le virus West-Nile (VWN) dans l'Etat du Minnesota (MN), aux États-Unis, comme une « preuve de concept ». L'objectif de cette étude est d'évaluer si l'incursion initiale du VWN dans le MN aurait pu être détectée en surveillant les données des rapaces admis dans le CSFS.

Le VWN (famille *Flaviviridae*, genre *Flavivirus*) est principalement transmis par un cycle oiseau-moustique-oiseau, qui provoque sporadiquement des épidémies et des épizooties chez les humains et les chevaux. Cet agent pathogène a causé une morbidité et une mortalité importantes chez l'Homme, les chevaux et la faune sauvage depuis son introduction en Amérique du Nord en 1999 [Beasley *et al.*, 2013]. Le premier signalement du VWN dans le MN a été pour deux corbeaux morts (*Corvus brachyrhynchos*) dans la Région métropolitaine de Minneapolis Saint-Paul en juillet 2002 [Bell *et al.*, 2006]. Le VWN est maintenant enzootique au MN, manifestant un cycle saisonnier pendant la période d'activité des moustiques adultes.

De nombreuses espèces de rapaces sont sensibles au VWN, ce qui entraîne une large gamme de signes cliniques et/ou des décès. Il a été suggéré que les oiseaux ont les premières infections pendant la saison de transmission, ce qui signifie qu'ils peuvent être infectés plus tôt par rapport aux moustiques, aux humains ou aux équidés [Nemeth *et al.*, 2007 ; Randall *et al.*, 2012]. Cela suggère que la surveillance des rapaces peut fournir des indicateurs pour la détection précoce des incursions du VWN dans des régions indemnes. Cette étude visait à évaluer l'utilité des données de CSFS pour favoriser le dépistage précoce et le suivi de l'activité des agents pathogènes de la faune sauvage. Plus précisément, les données rétrospectives des rapaces admis au TRC du MN ont été évaluées pour examiner leur potentiel de détection et de surveillance de la circulation du VWN.

II - MÉTHODES

1. LES DONNÉES

L'étude comprenait des données rétrospectives provenant de rapaces admis au TRC du MN entre 1990 et 2014. Ce Centre accueille plus de 1 000 rapaces malades et blessés chaque année. *The Raptor Center* possède des dossiers médicaux détaillés avec la majorité des données d'admission disponibles en format numérique comprenant les signes cliniques de l'admission. Les données ont été collectées dans Microsoft Access (Microsoft Corp, Redmond, WA) à l'aide d'une base de

données relationnelle. L'ensemble final de données contenait les attributs « identification de cas », « espèce », « groupe aviaire », « date d'admission », « état » où l'oiseau a été trouvé, « âge » et « signes cliniques ».

2. ANALYSE DESCRIPTIVE EXPLORATOIRE

Une analyse descriptive a été effectuée pour vérifier la qualité des données avec les vétérinaires du Centre et déterminer les caractéristiques de

base de la population du Minnesota pendant la période 1990-2014. Les admissions de rapaces sont agrégées par année et mois d'admission et stratifiées par groupe aviaire, espèce, âge, sexe, signes cliniques et état où les oiseaux ont été trouvés. Les rapaces pouvaient être catégorisés selon l'âge comme jeunes de première année (année d'éclosion) ou adultes, en raison du changement de plumage.

La fréquence des signes cliniques a également été décrite pour chaque groupe aviaire. Trente signes cliniques enregistrés pendant toute la durée de l'étude ont été utilisés.

Les signes cliniques ont été regroupés, en fonction des organes touchés, dans 10 catégories :

1. Système tégumentaire (plumes endommagées, pieds, lésions des tissus mous) ;
2. Système muscles du squelette (fracture, luxation, sub-luxation, paralysie postérieure) ;
3. Système nerveux (convulsions, tremblements de tête, inclinaison, désorientation de la tête, problèmes posturaux, déséquilibre) ;
4. Système gastro-intestinal (anorexie, diarrhée, lésions dans la bouche, régurgitation) ;
5. Système respiratoire (détresse respiratoire, sinus gonflé) ;
6. Système urinaire (polydipsie, polyurie, urates cloacaux) ;
7. Sens spéciaux (lésions auriculaires et maladies oculaires) ;
8. Signes cliniques non spécifiques (battements asymétriques des ailes, blessé mais alerte, incapable de voler ou de se tenir debout, perte de poids modérée, non émacié) ;
9. Signes cliniques systémiques (déshydratation, perte de poids, amaigrissement, dépression, faiblesse) ;
10. Aucun signe clinique détecté.

3. ANALYSE DES SÉRIES TEMPORELLES

3.1. ANALYSE DESCRIPTIVE DES SÉRIES TEMPORELLES POUR LES MODÈLES SOUS-JACENTS D'ADMISSION DES RAPACES

Le but de l'analyse des séries temporelles groupées était d'identifier des sous-ensembles d'admissions de rapaces qui pourraient suggérer une circulation du VWN au fil du temps. La fréquence des entrées agrégées par mois a été évaluée par le groupe

taxonomique aviaire, les espèces, les signes cliniques et l'âge en utilisant des structures de séries temporelles groupées [Athanasopoulos *et al.*, 2009 ; Hyndman *et al.*, 2011, 2013]. Les séries ont été décrites et comparées pour évaluer les différences avant et après l'incursion du VWN en termes de saisonnalité et de tendance. Les indicateurs potentiels du VWN ont été sélectionnés en fonction de :

1. La preuve visuelle ;
2. Le test de changements significatifs avant et après 2002 entre les distributions de fréquence observées pendant les périodes d'activité des moustiques adultes en utilisant des tests non paramétriques de Mann-Whitney [Mann et Whitney, 1947], et
3. Manifestation de signes cliniques compatibles avec VWN selon des résultats scientifiques antérieurs [Ellis *et al.*, 2007 ; Wünschmann *et al.*, 2005].

3.2. ANALYSE DES SÉRIES TEMPORELLES INTERROMPUES DANS LE SOUS-ENSEMBLE DES RAPACES IDENTIFIÉ COMME INDICATEUR POUR LE VIRUS WEST-NILE AVANT ET APRÈS 2002

Les changements au cours du temps qui pourraient signaler la circulation du VWN ont été évalués avec une analyse des séries temporelles interrompues en utilisant le sous-ensemble des rapaces sélectionnés comme indicateur pour sa circulation [Afonso *et al.*, 2013 ; McDowall, 1980]. La série temporelle Y_t , qui représente le nombre d'admissions mensuelles de rapaces indicateurs, a été segmentée en deux parties : les données recueillies entre janvier 1990 et décembre 2001 et les données recueillies entre janvier 2002 et décembre 2014. Les séries temporelles ont été ajustées en utilisant un modèle de régression linéaire incluant des covariants trigonométriques comme composantes saisonnières et cycliques, comme $\alpha_i \cos(\omega_i t)$ ou/et $\beta_i \sin(\omega_i t)$, où $\omega_i = 2\pi/T_i$, T_i étant les périodes. Les composants de la tendance linéaire, désignés par $\delta(t)$ et $\delta'(t)$, ont également été inclus, et les erreurs du modèle linéaire (ϵ_t) ont été ajustées en séries temporelles autorégressives-moyennes mobiles (ARMA) avec différentes variances pour les deux parties considérées. Les coefficients de régression avant et après les épidémies de VWN ont été estimés en introduisant une variable factice (I_t), soit 1 si $t \leq$ décembre 2001 et 0 si $t >$ janvier 2002. Par conséquent, le modèle a été exprimé comme :

$$Y_t = [(\mu + \delta(t) + \alpha \cos(\omega t) + \beta \sin(\omega t) + \dots + I_t)] + [(\mu' + \delta'(t) + \alpha' \cos(\omega t) + \beta' \sin(\omega t) + \dots + (1 - I_t))] + \epsilon_t$$

avec

$$\epsilon_t = \varphi_1 \epsilon_{t-1} + \dots + \varphi_p \epsilon_{t-p} + \dots + Z_t + \theta_1 Z_{t-1} + \dots + \theta_q Z_{t-q},$$

où p correspond à l'ordre de la partie autorégressive de la série temporelle des erreurs et q indique l'ordre de la partie moyenne mobile.

Les ordres des composants du processus ARMA, ainsi que les termes de régression, ont été sélectionnés selon les critères d'information bayésiens (BIC) [Schwarz, 1978]. Les résidus normalisés du modèle final ont été analysés pour vérifier l'absence d'autocorrélation et d'autocorrélation partielle.

4. LES CAS POSITIFS DU VWN CHEZ LES RAPACES CONFIRMÉS PAR DES TESTS DE LABORATOIRE

Pour valider la vraisemblance de notre modèle

statistique, nous avons analysé les données descriptives des rapaces soupçonnés d'infection à VWN soumis au Laboratoire de diagnostic vétérinaire de l'Université de MN (VDL) entre 2007 et 2014.

Un rapace a été considéré comme « positif » pour le VWN lorsque les tissus individuels ou groupés (cerveau, cœur et rein) donnaient une réponse positive pour l'ARN du VWN par PCR [Lanciotti *et al.*, 2000] et/ou si l'antigène du VWN était détecté dans des coupes tissulaires d'au moins un organe par immunohistochimie en utilisant un anticorps monoclonal spécifique de l'antigène du VWN [Wünschmann *et al.*, 2005].

5. LOGICIEL

Des analyses ont été mises en œuvre avec le logiciel R [Team Core, 2014], avec les packages « base », « hts » [Hyndman *et al.*, 2015], « forecast » [Hyndman *et al.*, 2016] et « nlme » packages [Pinheiro *et al.*, 2016].

III - RÉSULTATS

1. ANALYSE DESCRIPTIVE EXPLORATOIRE

Au total, 16 595 rapaces de 37 États différents ont été admis au TRC entre 1990 et 2014, mais notre analyse a été conduite uniquement sur les admissions de l'Etat de MN ($n = 13\,080$, 78,8 %). Cinq des 28 espèces de rapaces admises représentaient 66 % des entrées : 2 360 Buses à queue rousses (*Buteo jamaicensis*) (18 %) ; 2 148 Grands-ducs d'Amérique (*Bubo virginianus*) (16,4 %) ; 1 538 Éperviers de Cooper (*Accipiter cooperii*) (11,8 %) ; 1 347 Crécerelles d'Amérique (*Falco sparverius*) (10,3 %) ; et 1 193 Pygargues à tête blanche (*Haliaeetus leucocephalus*) (9,1 %). La plupart des rapaces sont inclus dans quatre groupes aviaires : 5 278 buses et éperviers (39 %), 4 272 hiboux (31 %) ; 1 897 faucons (14 %) ; et 1 208 aigles (9 %). Seulement 425 (3 %) des rapaces appartenaient à d'autres groupes (tableau 1).

2. ANALYSE DES SÉRIES TEMPORELLES

Le nombre de rapaces admis a augmenté avec le

temps. Le nombre médian d'admissions par année était de 542 avec un minimum de 318 en 1990 et un maximum de 818 en 2013. Les admissions ont augmenté chaque année en juillet et en août (figure 1).

Initialement, les données d'admission ont été analysées en une seule série. Les données ne semblent pas signaler la circulation du VWN. Ensuite, les données ont été regroupées par groupe taxonomique, espèce, âge et signes cliniques. Les données du groupe taxonomique ont montré qu'après 2002 [Wünschmann *et al.*, 2005 ; Ellis *et al.*, 2007], il y avait une augmentation marquée du nombre de buses et d'éperviers, alors que, dans les groupes de hiboux et d'aigles, les augmentations étaient faibles. En revanche, le nombre d'entrées de faucons a diminué avec le temps. Les cycles saisonniers étaient plus évidents chez les buses, les éperviers et les faucons que chez les hiboux et les aigles (voir la figure 2A-D).

Tableau 1
Liste des rapaces reçus au Centre des Rapaces dans le Minnesota, entre 1990 et 2014 :
groupe aviaire, espèce, nombre et pourcentage

Groupe aviaire	Espèce	Nom Latin	Nombre d'admissions	%
Buses et Éperviers	Buse à queue rousse	<i>Buteo jamaicensis</i>	2 360	18,0 %
	Épervier de Cooper	<i>Accipiter cooperii</i>	1 538	11,8 %
	Petite buse	<i>Buteo platypterus</i>	618	4,7 %
	Épervier brun	<i>Accipiter striatus</i>	380	2,9 %
	Buse à épaulettes	<i>Buteo lineatus</i>	145	1,1 %
	Buse pattue	<i>Buteo lagopus</i>	123	0,9 %
	Autour d'Amérique	<i>Accipiter gentilis</i>	93	0,7 %
	Buse de Swainson	<i>Buteo swainsoni</i>	18	0,1 %
	Buse rouilleuse	<i>Buteo regalis</i>	3	0,0 %
Hiboux	Grand-duc d'Amérique	<i>Bubo virginianus</i>	2 148	16,4 %
	Chouette rayée	<i>Strix varia</i>	797	6,1 %
	Petite nyctale	<i>Aegolius acadicus</i>	372	2,8 %
	Petit-duc maculé	<i>Megascops asio</i>	368	2,8 %
	Chouette lapone	<i>Strix nebulosa</i>	197	1,5 %
	Hibou moyen-duc	<i>Asio otus</i>	136	1,0 %
	Harfang des neiges	<i>Bubo scandiacus</i>	111	0,8 %
	Hibou des marais	<i>Asio flammeus</i>	92	0,7 %
	Nyctale de Tengmalm	<i>Aegolius funereus</i>	43	0,3 %
	Chouette épervière	<i>Surnia ulula</i>	8	0,1 %
Faucons	Crécerelle d'Amérique	<i>Falco sparverius</i>	1 347	10,3 %
	Faucon pèlerin	<i>Falco peregrinus</i>	300	2,3 %
	Faucon émerillon	<i>Falco columbarius</i>	244	1,9 %
	Faucon des prairies	<i>Falco mexicanus</i>	6	0,0 %
Aigles	Pygargue à tête blanche	<i>Haliaeetus leucocephalus</i>	1 193	9,1 %
	Aigle royal	<i>Aquila chrysaetos</i>	15	0,1 %
Autres	Balbusard pêcheur	<i>Pandion haliaetus</i>	225	1,7 %
	Urubu à tête rouge	<i>Cathartes aura</i>	132	1,0 %
	Busard Saint-Martin	<i>Circus cyaneus</i>	68	0,5 %
TOTAL			13 080	100

En examinant les entrées selon l'âge, les rapaces jeunes représentaient 33,1 % des admissions avec une augmentation marquée en juillet et août pendant toute la durée de l'étude. Cependant, il est intéressant de noter que pour différents groupes taxonomiques, le profil d'âge a varié après l'incursion du VWN. Après 2002, pendant les périodes de circulation du VWN (entre juillet et

octobre), la proportion de buses et éperviers jeunes a augmenté, tandis que chez les hiboux, la proportion d'adultes a augmenté (figure 3A-B).

Les rapaces avec signes compatibles de VWN ont augmenté entre juillet et octobre après l'incursion en 2002 du VWN, alors que le nombre d'admissions des rapaces sans problème a diminué.

Figure 1

Séries temporelles des rapaces du Minnesota arrivés mensuellement au Centre des Rapaces entre janvier 1990 et décembre 2014

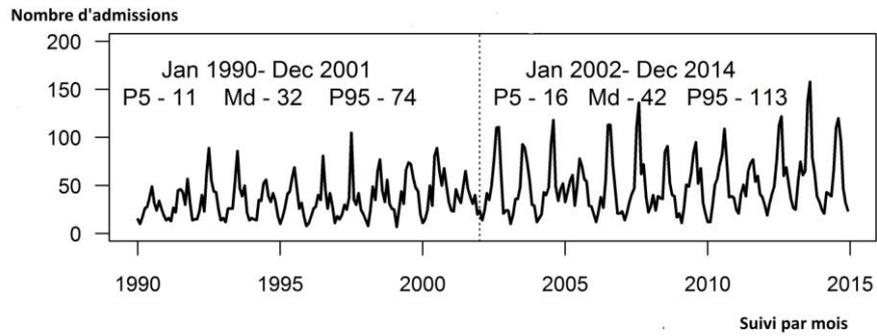


Figure 2A-D

Séries temporelles de groupes aviaires du Minnesota admis au Centre des Rapaces du Minnesota entre janvier 1990 et décembre 2014

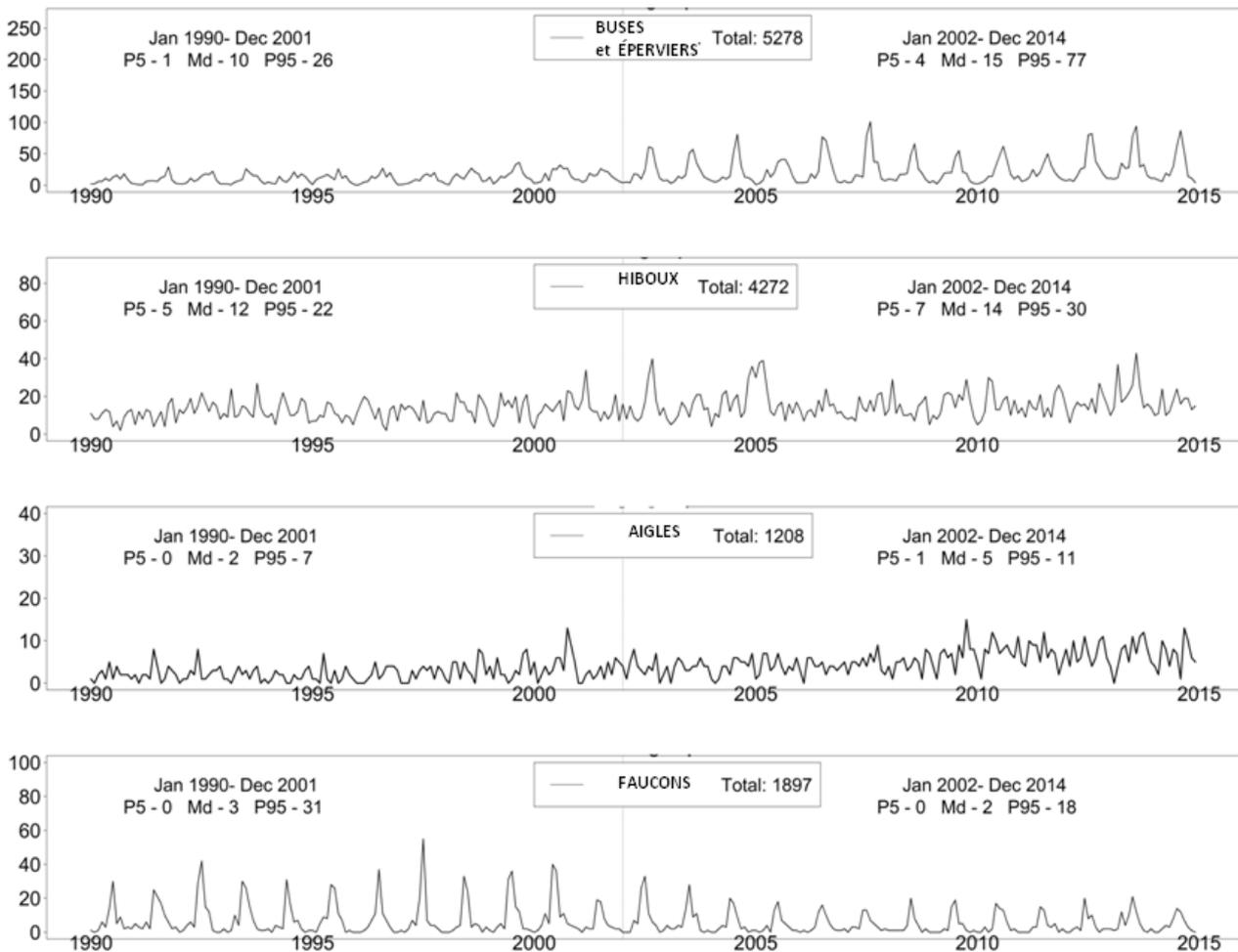
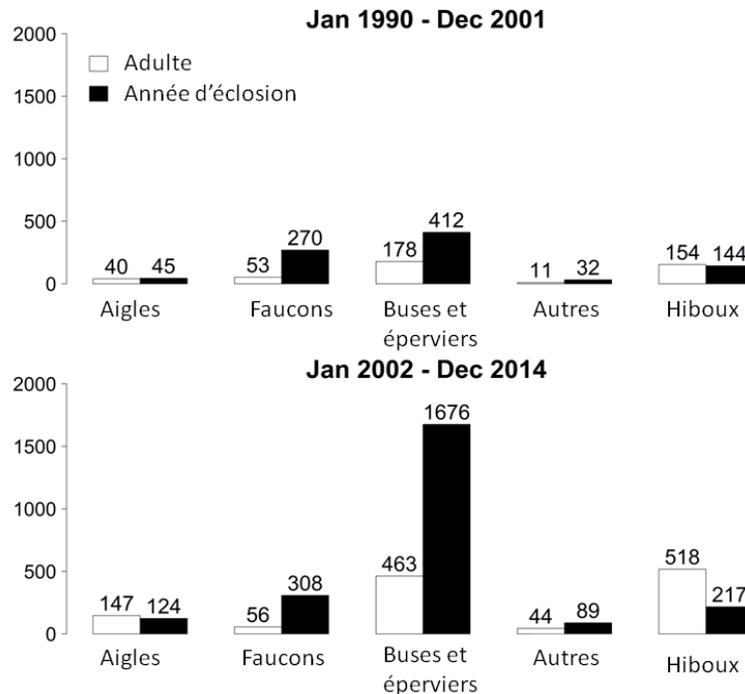


Figure 3A-B

Fréquence des entrées de rapaces entre juillet et octobre selon le groupe aviaire et la catégorie d'âge avant et après 2002



2.1. IDENTIFICATION DE SOUS-POPULATIONS DE RAPACES POUVANT INDIQUER LA CIRCULATION DU VWN

L'analyse des séries temporelles considérant les groupes taxonomiques, l'âge et les signes cliniques a suggéré que les admissions de buses et éperviers avec des signes cliniques compatibles pourraient indiquer la circulation du VWN. Le groupe des faucons a montré les changements les plus évidents avant et après 2002 et les médianes mensuelles des troubles systémiques, tégumentaires, oculaires, des lésions auditives, nerveuses, gastro-intestinales, des signes respiratoires ou d'autres signes non spécifiques ont augmenté significativement après 2002 (valeur $p < 0,005$, Test de Mann-Whitney) (figure 4A-F).

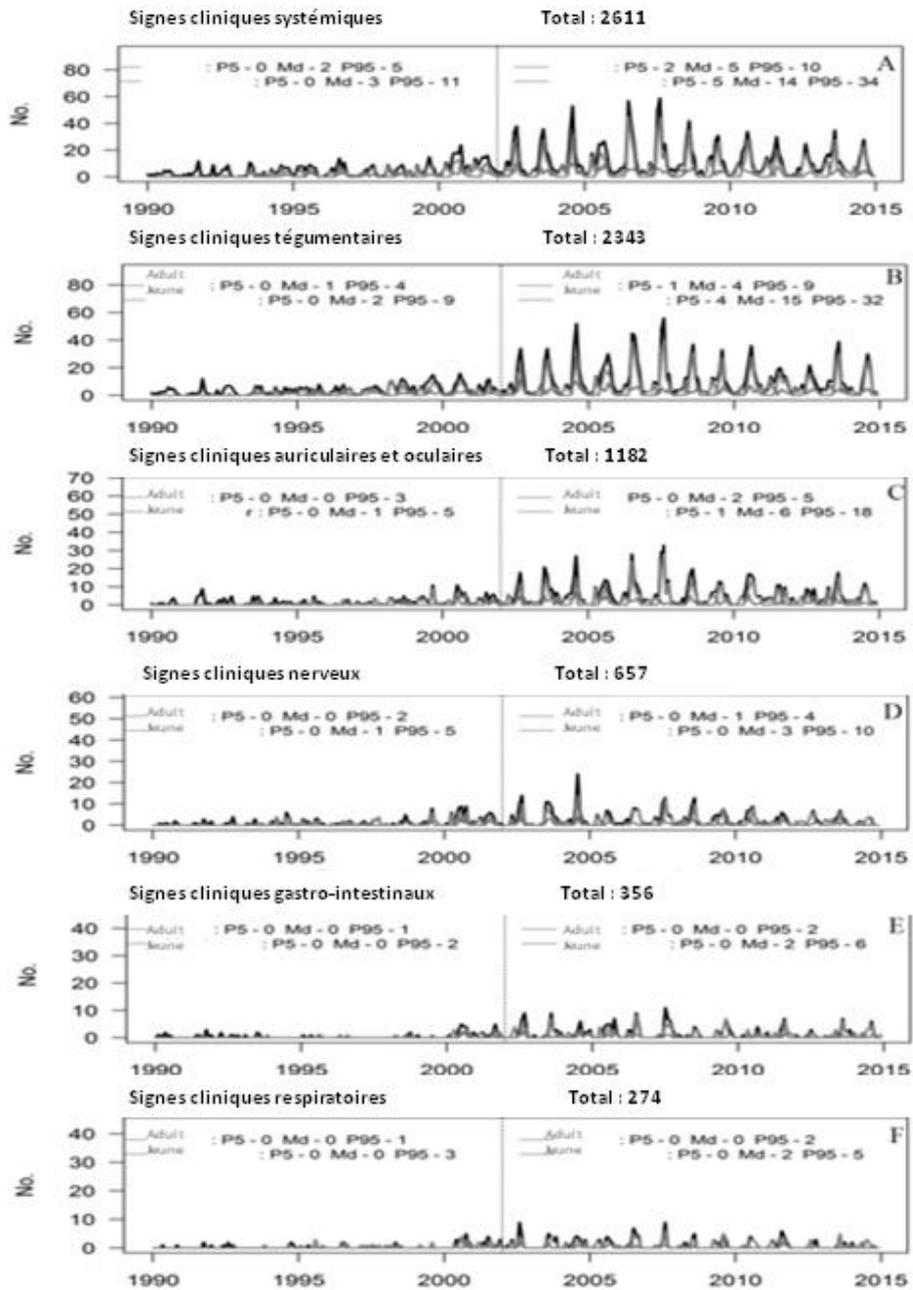
L'évolution mensuelle des signes cliniques dans ce sous-ensemble était régulière avant 2002. Cependant, au cours de l'été 2002 et durant les

étés suivants, le nombre d'entrées pour les signes cliniques les plus fréquents a augmenté considérablement par rapport à la période 1990-2001. Ces augmentations ont coïncidé avec l'incursion du VWN détecté chez l'Homme, les chevaux et les oiseaux dans le MN. Ces changements ont été plus marqués chez les jeunes buses et éperviers.

Sur la base de ces résultats, toutes les admissions de buses et éperviers montrant des signes semblables à ceux d'une infection par le VWN (troubles systémiques, tégumentaires, oculaires, auditifs, signes cliniques nerveux, gastro-intestinaux ou non spécifiques) ont été sélectionnées comme indicateurs de la circulation du VWN. Les changements observés dans les modèles lors de l'incursion du VWN ne sont pas aussi évidents dans d'autres groupes taxonomiques.

Figure 4A-F

Séries temporelles d'admissions mensuelles de buses et éperviers selon les signes cliniques et l'âge



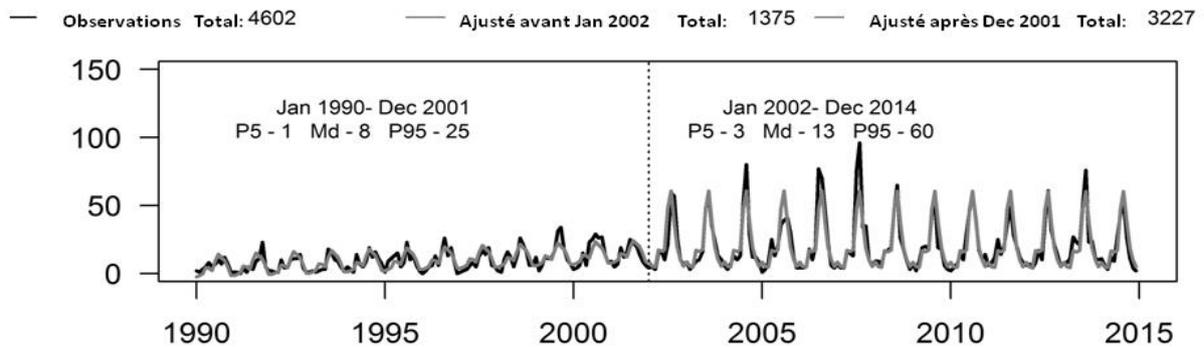
2.2. ANALYSE DES SÉRIES TEMPORELLES INTERROMPUES CHEZ LES BUSES ET LES ÉPERVIERS MONTRANT DES SIGNES SEMBLABLES À CEUX D'UNE INFECTION PAR VWN AVANT ET APRÈS 2002

Les résultats du modèle des séries temporelles interrompues ont fourni des preuves statistiques sur l'augmentation du nombre de buses et d'éperviers montrant des signes cliniques semblables à ceux d'une infection par VWN admis au TRC pendant les périodes de circulation du VWN. Cet effet a été évalué en examinant et en comparant les coefficients du modèle de régression avant et après 2002 (tableau 2).

Les coefficients des covariables trigonométriques (β_i et α_i pour $i = 12, 6, 4$ et 3) ont montré que la fréquence des entrées de buses et éperviers avec des signes semblables à ceux d'une infection par VWN a suivi une saisonnalité annuelle marquée et une évolution cyclique moins évidente tous les 6, 4 et 3 mois (figure 5 et tableau 2). La valeur de δ a prouvé que la tendance générale des admissions augmentait entre 1990 et 2002. En revanche, la tendance après 2002 représentée par δ' était stable au fil du temps.

Figure 5

Série temporelle des valeurs des admissions de buses et d'éperviers avec signes semblables à ceux d'une infection par VWN, ajustées par le modèle avant janvier 2002 et après



La circulation du VWN a semblé augmenter la fréquence des buses et des éperviers montrant des signes semblables à ceux d'une infection par le VWN, de presque trois fois les mois de juillet et août. En outre, les écarts types élevés obtenus après 2002 ont indiqué que pendant la circulation du VWN l'incertitude dans le nombre d'admissions a augmenté également. La vérification diagnostique dans les résidus a mis en évidence le manque d'autocorrélation ou d'autocorrélation partielle de notre modèle, indiquant la bonne qualité de l'ajustement.

3. CAS CONFIRMÉS PAR DES TESTS DE LABORATOIRE

Selon l'étude préliminaire des résultats de laboratoire, entre 2007 et 2014, 333 rapaces ont été soumis par le TRC au Minnesota Veterinary Diagnostic Laboratory (VDL) comme soupçonnés d'infection par VWN et 162 ont été confirmés positifs pour le VWN. La plupart des cas (110, 67,9 %) étaient des buses et des éperviers, et 80 % de ces rapaces positifs étaient des oiseaux de l'année.

Tableau 2
Coefficients du modèle de régression et erreurs adaptées à une structure ARMA

Coefficients du modèle avant 2002	Période janvier 1990 - décembre 2001				Coefficients du modèle après 2002	Période janvier 2002 - décembre 2014			
	Valeur Std	Erreur	t-valeur	p-valeur		Valeur Std	Erreur	t-valeur	p-valeur
Intercept	4,04	0,83	4,87	0,00	Intercept	21,50	3,80	5,66	0,00
δ	0,08	0,01	7,66	0,00	δ'	-0,004	0,02	-0,22	0,83
β_{12}	-5,79	0,57	-10,10	0,00	β_{12}'	-16,60	1,05	-15,85	0,00
α_{12}	-3,20	0,57	-5,60	0,00	α_{12}'	-12,96	1,04	-12,42	0,00
β_6	-0,36	0,54	-0,68	0,50	β_6'	8,55	0,98	8,69	0,00
α_6	-2,89	0,54	-5,36	0,00	α_6'	-4,96	0,98	-5,05	0,00
α_4	1,08	0,49	2,21	0,03	α_4'	6,90	0,89	7,72	0,03
α_3	-1,58	0,44	-3,62	0,00	α_3'	-4,53	0,80	-5,69	0,00
ϵ_t	$Z_t + 0,22_1 Z_{t-1}$								
		AIC : 1 913,46		BIC : 1 983,83		logLik -937,73			
Résidus standardisés : Min : -3,47 Q1 : -0,61 Med : -0,12 Q3 : 0,47 Max : 4,60									

IV - DISCUSSION

Nos résultats démontrent que les données des rapaces des CSFS, en particulier les buses et les éperviers, ont présenté des différences temporelles marquées avant et après l'incursion du VWN dans le MN. Ces résultats coïncident avec ceux d'autres études réalisées dans différentes régions des États-Unis où ces espèces ont montré leur grande sensibilité au VWN [Ellis *et al.*, 2007]. La conclusion selon laquelle ces changements étaient probablement attribuables au VWN a été montrée par la variation abrupte de la fréquence des entrées de ces espèces présentant des signes cliniques semblables à ceux dus au VWN en 2002 et la confirmation diagnostique des cas positifs au VWN après 2002. Cette étude sert de preuve du concept que certains événements de santé animale, tels que l'incursion d'une nouvelle maladie infectieuse, entraînent des variations inhabituelles sur les tendances des données à long terme collectées par les CSFS. Ainsi, l'analyse en temps quasi réel des données de réadaptation dans un cadre de surveillance syndromique pourrait contribuer à la détection d'anomalies de la

santé et au suivi des tendances de la santé animale dans les populations sauvages.

Plusieurs programmes de surveillance du VWN ont été mis en œuvre chez l'Homme, les chevaux, les oiseaux et les moustiques aux États-Unis, y compris dans le MN, bien que de nombreux programmes s'appuyant sur une surveillance active du VWN aient été interrompus en raison de leur faible sensibilité et de leur coût élevé [Hadler *et al.*, 2015]. Ainsi, l'approche de la surveillance syndromique démontre ici l'impact potentiel qu'une source d'information alternative et abordable peut avoir pour espérer la détection précoce et le suivi du VWN. L'exemple de ce travail montre ici le potentiel des données provenant des CSFS pour détecter l'introduction et la circulation d'agents pathogènes émergents dans les populations d'animaux sauvages.

En outre, comme les rapaces sont placés au sommet de la chaîne alimentaire et occupent de larges zones, le suivi de leurs admissions peut aider à surveiller l'état de santé d'autres populations dans l'écosystème. Le suivi de routine des données

des CSFS peut aider à évaluer l'impact et l'évolution d'une maladie spécifique sur la faune sauvage et à obtenir une meilleure compréhension de sa transmission dans les écosystèmes naturels. Cependant, le suivi des entrées de rapaces ne peut pas être simplement général. Ainsi, lorsque les admissions de rapaces ont été analysées collectivement, il n'y a pas eu de changement évident dans les paramètres des modèles qui pourraient signaler la circulation du VWN. En revanche, lorsque la fréquence des admissions a été évaluée par groupe taxonomique, âge et signes cliniques, il était évident que certains modèles ont sensiblement coïncidé avec l'apparition d'épizooties de VWN. Les variations temporelles ont été claires chez les buses et les éperviers avec des signes semblables à ceux d'une infection par VWN au cours de l'été 2002 et les étés consécutifs, en particulier chez les jeunes rapaces de l'année. Ainsi, les programmes de surveillance syndromique fondés sur les données de CSFS devront non seulement surveiller les tendances générales, mais également se concentrer sur l'identification des aberrations ou des tendances, lorsque les données sont sous-jacentes par groupe aviaire, âge et signes cliniques. La surveillance de divers sous-groupes taxonomiques ou syndromiques pour les aberrations de données est particulièrement importante si la surveillance syndromique est destinée à détecter l'émergence d'agents pathogènes dans une région géographique plutôt que de surveiller les agents pathogènes déjà en circulation.

Malgré le potentiel des données des CSFS pour la surveillance syndromique, certaines limites

devraient être prises en considération. Les animaux admis dans ces centres ne sont pas représentatifs du statut de la population de la faune car la collecte des animaux est liée à l'activité humaine. Par conséquent, il faut aussi analyser l'information de la population dans la nature et les recensements de rapaces pourraient être essentiels comme information complémentaire.

En outre, la rapidité de ces récoltes peut également être déterminée par le degré de sensibilisation. La présence d'un tel biais de collecte peut affecter nos résultats étant donné que le nombre de rapaces trouvés après 2002 était plus élevé.

Une autre limite potentielle peut être due au manque de spécificité des signes cliniques. Différents agents pathogènes peuvent entraîner des modèles cliniques similaires. Pour cette raison, l'évaluation des modèles sous-jacents selon les espèces, l'âge ou les signes cliniques, complétés par un diagnostic spécifique en cas de pics d'admissions, pourrait être nécessaire pour identifier les indicateurs de maladies spécifiques. Étant donné que ces limites sont reconnues et, idéalement, contrôlées, les données des CSFS peuvent servir de source d'information abordable et fiable pour surveiller les conditions à l'interface de la santé publique, animale et environnementale, en soutenant ainsi le concept « Une seule santé » (One Health) aux niveaux local et régional.

V - CONCLUSION

L'analyse rétrospective des données des CSFS relatives aux rapaces a mis en évidence des différences temporelles marquées avant et après l'incursion du virus West-Nile dans le MN, ce qui indique que le suivi des données recueillies régulièrement par les CSFS peut détecter l'émergence géographique d'un nouveau pathogène dans la faune sauvage. Cette étude sert comme « preuve-de-concept ». Les variations inhabituelles dans les tendances à long terme des

ensembles de données collectées par les CSFS peuvent refléter les événements de santé animale qui se produisent dans des populations sauvages en pleine nature. Ces résultats démontrent que ces centres peuvent servir de ressource « à faible coût » pour compléter le suivi de routine et, en fin de compte, améliorer la détection précoce et la prévention de la santé publique, animale et environnementale dans le pays.

BIBLIOGRAPHIE

- Afonso E.T., Minamisava R., Bierrenbach A.L., Escalante J.J., Alencar A.P., Domingues C.M., Morais-Neto O.L., Toscano C.M., Andrade A.L. - Effect of 10-valent pneumococcal vaccine on pneumonia among children, Brazil. *Emerging infectious diseases*, 2013, **19**(4), 589-597.
- Athanasopoulos G., Ahmed R.A., Hyndman R.J. - Hierarchical forecasts for Australian domestic tourism. *International Journal of Forecasting*, 2009, **25**(1), 146-166.
- Beasley D.W., Barrett A.D., Tesh R.B. - Resurgence of West Nile neurologic disease in the United States in 2012: what happened? What needs to be done? *Antiviral research*, 2013, **99**(1), 1-5.
- Bell J.A., Brewer C.M., Mickelson N.J., Garman G.W., Vaughan J.A. - West Nile Virus Epizootiology, Central Red River Valley, North Dakota and Minnesota, 2002-2005. *Emerging infectious diseases*, 2006, **12**(8), 1245-1247. DOI: <https://dx.doi.org/10.3201/eid1208.060129>
- Bowerman W.W., Roe A.S., Gilbertson M.J., Best D.A., Sikarskie J.G., Mitchell R.S., Summer C.L. - Using Bald Eagles to indicate the health of the Great Lakes' environment. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, 2002, **7**(3), 183-187.
- Butler D. - Disease surveillance needs a revolution. *Nature*, 2006, **440**(7080), 6-7.
- Camacho M., Hernández J.M., Lima-Barbero J.F., Höfle U. - Use of wildlife rehabilitation centres in pathogen surveillance: A case study in white storks (*Ciconia ciconia*). *Preventive Veterinary Medicine*, 2016, **130**, 106-111.
- Cox-Witton K., Reiss A., Woods R., Grillo V., Baker R.T., Blyde D.J., Boardman W., Cutter S., Lacasse C., McCracken H., Pyne M. - Emerging infectious diseases in free-ranging wildlife—Australian zoo based wildlife hospitals contribute to national surveillance. *PLoS one*, 2014, **9**(5), e95127. DOI:10.1371/journal.pone.0095127
- Doell D., Locky D.A. - Trends in wildlife intake at a rehabilitation center in Central Alberta: A retrospective analysis of birds, mammals, and reptiles, from 1990 through 2012. *Journal of Wildlife Rehabilitation*, 2016, **36**(1), 17-29.
- Dórea F.C., Sanchez J., Revie C.W. - Veterinary syndromic surveillance: Current initiatives and potential for development. *Preventive Veterinary Medicine*, 2011, **101**(1), 1-17.
- Ellis A.E., Mead D.G., Allison A.B., Stallknecht D.E., Howerth E.W. - Pathology and epidemiology of natural West Nile viral infection of raptors in Georgia. *Journal of wildlife diseases*, 2007, **43**(2), 214-223.
- Giesy J.P., Bowerman W.W., Mora M.A., Verbrugge D.A., Othoudt R.A., Newsted J.L., Summer C.L., Aulerich R.J., Bursian S.J., Ludwig J.P. - Dawson GA. Contaminants in fishes from Great Lakes-influenced sections and above dams of three Michigan rivers: III. Implications for health of bald eagles. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 1995, **29**(3), 309-321.
- Hadler J.L., Patel D., Nasci R.S., Petersen L.R., Hughes J.M., Bradley K., Etkind P., Kan L., Engel J. - Assessment of arbovirus surveillance 13 years after introduction of west Nile virus, United States. *Emerging infectious diseases*, 2015, **21**(7), 1159.
- Healy J.M., Reisen W.K., Kramer V.L., Fischer M., Lindsey N.P., Nasci R.S., Macedo P.A., White G., Takahashi R., Khang L., Barker C.M. - Comparison of the efficiency and cost of West Nile surveillance methods in California. *Vector Borne Zoonotic Diseases*, 2015, **15**(2), 147-155.
- Henning K.J. - What is syndromic surveillance? *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 2004, **24**, 7-11.
- Hyndman R.J., Ahmed R.A., Athanasopoulos G., Shang H.L. - Optimal combination forecasts for hierarchical time series. *Computational Statistics & Data Analysis*, 2011, **55**(9), 2579-2589.
- Hyndman R.J., Ahmed R.A., Shang H.L. - hts: An R Package for Forecasting Hierarchical or Grouped Time Series. R package version 3.00. 2013. <http://CRAN.R-project.org/package=hts>
- Hyndman R.J., Wang E., Lee A. - hts: Hierarchical and Grouped Time Series. R package version 4.5. 2015. <http://CRAN.R-project.org/package=hts>
- Hyndman R.J., Hyndman M.R. - Package 'forecast'. 2016.

- Jebara K.B. - Surveillance, detection and response: managing emerging diseases at national and international levels. *Revue Scientifique et Technique-Office International des Epizooties*, 2004, **23**(2), 709-715.
- Katz R., May L., Baker J., Test E. - Redefining syndromic surveillance. *Journal of epidemiology and global health*, 2011, **1**(1), 21-31.
- Kilpatrick A.M., LaDeau S.L., Marra P.P. - Ecology of West Nile virus transmission and its impact on birds in the western hemisphere. *The Auk*, 2007, **124**(4), 1121-1136.
- Lanciotti R.S., Kerst A.J., Nasci R.S., Godsey M.S., Mitchell C.J., Savage H.M., Komar N., Panella N.A., Allen B.C., Volpe K.E., Davis B.S. - Rapid detection of West Nile virus from human clinical specimens, field-collected mosquitoes, and avian samples by a TaqMan reverse transcriptase-PCR assay. *Journal of clinical microbiology*, 2000, **38**(11), 4066-4071.
- LaDeau S.L., Kilpatrick A.M., Marra P.P. - West Nile virus emergence and large-scale declines of North American bird populations. *Nature*, 2007, **447**(7145), 710-713.
- Lueck D., Michael J.A.. - Preemptive habitat destruction under the Endangered Species Act. 2000. Available at SSRN 223871
- Mann H.B., Whitney D.R. - On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *The annals of mathematical statistics*, 1947, 50-60.
- McDowall D. - Interrupted time series analysis, 1980 (Vol. 21). Sage.
- MNDNR Minnesota Department of Natural Resources. Great horned owl. 2016. <http://www.dnr.state.mn.us/birds/greathornedowl.html>
- Morner T., Obendorf D.L., Artois M., Woodford M.H. - Surveillance and monitoring of wildlife diseases. *Revue Scientifique et Technique - Office International des Epizooties* 2002, **21**(1), 67-76.
- Nemeth N., Kratz G., Edwards E., Scherpelz J., Bowen R., Komar N.- Surveillance for West Nile virus in clinic-admitted raptors, Colorado. *Emerging infectious diseases*, 2007, **13**(2), 305.
- Osburn B., Scott C., Gibbs P. - One world-one medicine-one health: Emerging veterinary challenges and opportunities. *Revue scientifique et Technique - Office International des Epizooties*, 2009, **28**(2), 481.
- Perez A.M. - Past, Present, and Future of Veterinary Epidemiology and Economics: One Health, Many Challenges, No Silver Bullets. *Frontiers Veterinary Science*, 2015, **2**, 60.
- Pinheiro J., Bates D., DebRoy S., Sarkar D., Team Core R. - nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package version 3.1-127, 2016. <http://CRAN.R-project.org/package=nlme>
- Pultorak E., Nadler Y., Travis D., Glaser A., McNamara T., Mehta S.D. - Zoological institution participation in a West Nile Virus surveillance system: implications for public health. *Public health*, 2011, **125**(9), 592-599.
- Randall N.J., Blitvich B.J., Blanchong J.A. - Efficacy of wildlife rehabilitation centers in surveillance and monitoring of pathogen activity: a case study with West Nile virus. *Journal of wildlife diseases*, 2012, **48**(3), 646-653.
- Roth D. - Surveillance for Emerging Infectious Diseases: A Canadian Perspective. National Collaborating Centre for Environmental Health, 2011.
- Ryser-Degiorgis M.P. - Wildlife health investigations: needs, challenges and recommendations. *BMC veterinary research*, 2013, **9**(1), 223.
- Schwarz G. - Estimating the dimension of a model. *The annals of statistics*, 1978, **6**(2), 461-464.
- Sleeman J.M. - Has the time come for big science in wildlife health? *EcoHealth*, 2013, **10**(4), 335-8.
- Stitt T., Mountifield J., Stephen C. - Opportunities and obstacles to collecting wildlife disease data for public health purposes: results of a pilot study on Vancouver Island, British Columbia. *The Canadian Veterinary Journal*, 2007, **48**(1), 83.
- Stoto M.A., Fricker Jr R.D., Jain A., Diamond A., Davies-Cole J.O., Glymph C., Kidane G., Lum G., Jones L., Dehan K., Yuan C. - Evaluating statistical methods for syndromic surveillance. In *Statistical Methods in Counterterrorism* Springer New York. 2006, pp. 141-172.
- Team Core R. - A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2014. <http://www.R-project.org>

Thiermann A.B. - Globalization, international trade and animal health: the new roles of OIE. *Preventive Veterinary Medicine*, 2005, 67(2), 101-108.

Van der Loo M.P.J., de Jonge E. - Learning R Studio for R Statistical Computing. Packt Publishing. open source Birmingham-UK, 2012.

Warns-Petit E., Morignat E., Artois M., Calavas D. - Unsupervised clustering of wildlife necropsy data for syndromic surveillance. *BMC veterinary research*, 2010, 6(1), 1.

Willette M., Ponder J., McRuer D.L., Clark E.E. Jr. - Wildlife Health Monitoring Systems in North America: From Sentinel Species to Public Policy. In: Aguirre, A. (Ed.) - *Conservation Medicine: Applied Cases of Ecological Health*, 2013.

Wünschmann A., Shivers J., Bender J., Carroll L., Fuller S., Saggese M., van Wettere A., Redig P.- Pathologic and immunohistochemical findings in goshawks (*Accipiter gentilis*) and great horned owls (*Bubo virginianus*) naturally infected with West Nile virus. *Avian diseases*. 2005, 49(2), 252-259.



Remerciements

Nous remercions le personnel du Centre des Rapaces (The Raptor Center) avec une reconnaissance spéciale à Devin Tunseth et Kathleen MacAulay pour leur préparation des données. Ce travail a été soutenu par l'Université du Minnesota - Bureau du vice-président du Programme de subventions de recherche