

ÉPIDÉMIOLOGIE DES MALADIES VECTORIELLES CHEZ LES ÉQUIDÉS EN FRANCE

SURVEILLANCE OF VECTOR-BORNE DISEASES IN EQUIDS IN FRANCE

Par Agnès LEBLOND⁽¹⁾, François VALON⁽²⁾, Pascal HENDRIKX⁽³⁾
(Communication présentée le 18 février 2010)

RÉSUMÉ

L'épidémiosurveillance est devenue une activité essentielle du praticien vétérinaire. En médecine équine, les maladies vectorielles ont récemment pris une place importante dans l'actualité française et européenne du fait de la réémergence de la fièvre du Nil occidental, de foyers d'anémie infectieuse, et du risque potentiel d'introduction de la peste équine. Le présent article discute des modalités et de la méthodologie de la mise en œuvre d'un système d'épidémiosurveillance. Dans la plupart des cas, le système passif présente le meilleur rapport coût/efficacité. Les dernières acquisitions dans les domaines de l'informatique, les communications, la géomatique⁽⁴⁾ et l'analyse spatiale permettent de définir des axes de recherche pour la mise en œuvre de systèmes permettant la surveillance en temps réel et l'alerte précoce. Les maladies vectorielles, dépendantes de l'environnement, sont de bons exemples pour le développement de tels outils.

Mots-clés : épidémiosurveillance, cheval, fièvre du Nil occidental, analyse spatiale, surveillance syndromique.

SUMMARY

Epidemiosurveillance has become an important part of veterinary practice. In equine medicine, vector-borne diseases have recently become a serious concern in France and in Europe, following the re-emergence of West Nile Fever, equine infectious anaemia cases, and the possible introduction of African horse sickness. The aim of our paper is to discuss some methodological issues linked to the implementation of a surveillance system. In most cases, the passive system is the most cost-effective. Recent advances in information technology, geomatics and spatial analysis will help define research avenues for the implementation of real-time surveillance and early warning surveillance systems. Vector-borne diseases are dependant on the environment and thus good candidates for the development of such tools.

Keywords : *epidemiosurveillance, horse, West Nile Fever, spatial analysis, syndromic surveillance.*

(1) INRA, UR346 Épidémiologie Animale, Clermont Ferrand/Theix; Département Hippique, VetAgroSup, Université de Lyon, 1 avenue Bourgelat, 69280 Marcy l'Etoile, (a.leblond@vetagro-sup.fr).

(2) Président du Conseil Scientifique du RESPE, Clin. Vét. du Parc de Brières, ZA des Pedras, 44117 St André des Eaux, (francois.valon@wanadoo.fr).

(3) Chargé de mission surveillance épidémiologique, Direction scientifique, Afssa Lyon, 31 avenue Tony Garnier, 69364 Lyon Cedex 07, (p.hendrikx@afssa.fr).

(4) Définition de la géomatique selon l'Office de la Langue française : « Discipline ayant pour objet la gestion des données à référence spatiale et qui fait appel aux sciences et aux technologies reliées à leur acquisition, leur stockage, leur traitement et leur diffusion. La géomatique fait appel principalement à des disciplines comme la topométrie, la cartographie, la géodésie, la photogrammétrie, la télédétection et l'informatique ».

INTRODUCTION

L'importante épidémie de Chikungunya à la Réunion en 2005 et l'incroyable épizootie de fièvre catarrhale ovine qui sévit en Europe depuis 2006 ont porté les maladies à transmission vectorielle au sommet de l'actualité. Toutes ces maladies impliquent l'intervention d'arthropodes le plus souvent hématophages et les observations des dernières décennies montrent l'extension de la répartition géographique de ces maladies. Cette évolution est le plus souvent attribuée au réchauffement climatique susceptible de modifier la répartition géographique des vecteurs. Mais elle peut également résulter de l'introduction de vecteurs infectés dans de nouvelles zones, conséquence de la mondialisation des transports, de la modification du mode de vie de l'homme, plus proche de potentiels réservoirs sauvages, ou de l'adaptation des virus ou des bactéries à un nouveau vecteur.

Les épizooties récentes de la fièvre du Nil occidental, de l'artérite virale équine ont montré l'importance, pour les professionnels de la filière équine, de disposer de systèmes de surveillance fiables, capables de suivre l'incidence des maladies infectieuses d'année en année, de détecter l'apparition de pics d'infections signalant une élévation du risque pour la santé publique ou pour la population équine, ou d'identifier précocement l'émergence d'une nouvelle maladie. Un système de surveillance, sensible et spécifique permet de fournir une alerte précoce du risque d'épidémie et aide à la mise en œuvre de mesures de contrôle de ces maladies (Doherr & Audigé, 2001). Le praticien équin constitue le plus souvent le premier maillon de la chaîne d'épidémiosurveillance qui conduira à une alerte et à la mise en œuvre de mesures de prévention vis-à-vis de zoonoses ou de maladies d'importance économique majeure pour la filière.

Notre article a pour objet, outre de faire le point sur l'épidémiosurveillance des maladies vectorielles chez le cheval, de discuter de quelques aspects méthodologiques liés à la mise en œuvre des systèmes de surveillance et à leur utilité dans le déclenchement d'une alerte précoce.

OBJECTIFS ET MODALITÉS DE L'ÉPIDÉMIOURVEILLANCE

Quels sont les objectifs de la surveillance ?

Les objectifs du système doivent être clairement définis au moment de sa conception. L'alerte précoce, une meilleure connaissance de l'incidence et/ou de la prévalence des maladies constituent des objectifs d'un réseau d'épidémiosurveillance. Ces objectifs visent, par exemple, à définir des priorités dans le développement d'outils diagnostiques ou de méthodes de traitement et de prévention, à acquérir une meilleure connaissance du profil clinique et épidémiologique des maladies afin d'identifier des facteurs de risque, ou enfin, à évaluer l'efficacité de vaccins ou de protocoles vaccinaux afin de définir les souches qui doivent être incluses dans les nouveaux vaccins.

En fonction des objectifs définis et des moyens alloués à la surveillance, les modalités de celle-ci seront choisies pour parvenir au meilleur rapport coût/efficacité.

Modalités de l'épidémiosurveillance

La surveillance des maladies infectieuses peut être envisagée par surveillance active ou passive.

La surveillance active a pour objet de mesurer la prévalence et l'incidence de l'infection dans un échantillon de la population. L'échantillon étudié est constitué de façon à ce que les résultats obtenus soient représentatifs de la population surveillée. Les individus inclus dans l'échantillon font l'objet d'un prélèvement et le diagnostic est effectué par le laboratoire sur la base de ces prélèvements. Ce type de surveillance est coûteux, particulièrement lorsque l'incidence de la maladie surveillée est faible, ce qui implique une taille d'échantillon élevée.

La surveillance passive consiste en la détection de cas suspects par des praticiens, les critères d'inclusion étant définis à l'avance. Des prélèvements sont réalisés chez les animaux suspects pour confirmation par le laboratoire. Ce n'est donc plus l'incidence de l'infection qui est mesurée, mais l'incidence des cas cliniques. Ce type de surveillance repose sur un réseau qui peut être constitué de l'ensemble des praticiens de la zone surveillée ou bien restreint à un ensemble de volontaires : il s'agit alors d'un réseau de praticiens sentinelles comme, par exemple, le Réseau d'Epidémiosurveillance en Pathologie Équine (RESPE) pour la surveillance des maladies équines. Les coûts induits par ce type de surveillance sont beaucoup plus faibles que ceux générés par la surveillance active. Les données produites sont plus riches puisque, au-delà de la confirmation ou de l'infirmité des suspicions fournies par le laboratoire, les praticiens collectent une description de chaque cas en suivant une grille de signes cliniques préétablie. Cependant, la mesure d'une incidence par surveillance passive est biaisée, en particulier dans le cas des réseaux de praticiens sentinelles, du fait du volontariat de ceux-ci, même si les volontaires peuvent être sélectionnés de façon à obtenir une couverture géographique homogène. Les renseignements fournis par ces réseaux doivent être validés en comparant les résultats des surveillances active et passive et en évaluant la représentativité de la population suivie.

La surveillance syndromique est un cas particulier de surveillance passive, définie comme une approche d'investigation dans laquelle les autorités sanitaires, assistées par un système de transmission automatisé des données, sont capables de suivre des indicateurs de la maladie en temps réel, afin de détecter précocement une émergence (Henning 2004). L'intérêt pour ces moyens de surveillance s'est développé depuis le 11 septembre 2001, tout d'abord pour la détection d'attaques bioterroristes, puis leur utilisation s'est élargie à la surveillance des maladies infectieuses (Lazarus *et al.* 2001). Son objectif est d'identifier des agrégats de malades avant même de disposer d'une confirmation du diagnostic par le laboratoire, afin de mettre en œuvre

des mesures de contrôle et de prévention (Buehler 2004). Pour en valider les résultats, la sensibilité, définie comme la proportion de semaines avec alerte effectivement suivies d'une épidémie et la spécificité, définie comme la proportion de semaines sans alerte non suivies d'épidémies doivent être évaluées. D'autres paramètres permettent ensuite de déterminer l'utilité de ces systèmes : la précocité de l'alerte et la possibilité de mise en œuvre de mesures de contrôle, l'acceptabilité, la stabilité et le rapport coût/efficacité (Martin & Bean, 1995).

MISE EN ŒUVRE D'UN RÉSEAU DE SURVEILLANCE CHEZ LE CHEVAL

Quelles maladies surveiller ?

Au moment de la mise en œuvre du réseau de surveillance, il faut élaborer la liste des maladies à surveiller et leurs critères de suspicion, de diagnostic et d'alerte. Cette liste dépend de facteurs économiques et sanitaires mais aussi de facteurs financiers et particulièrement, des moyens qui seront alloués à la surveillance. Elle est le résultat d'une expertise effectuée par des groupes de travail multidisciplinaires. Les spécialités de la médecine interne, de l'épidémiologie, du diagnostic de laboratoire et également des vétérinaires praticiens capables de faire remonter l'information et les préoccupations du terrain doivent être représentés.

Pour les maladies vectorielles équine, la liste initiale des maladies candidates est établie à partir des listes de maladies élaborées par des groupes de travail déjà existants, le comité d'experts spécialisés en santé animale de l'AFSSA, le groupe européen de réflexion sur le risque d'émergence de maladies vectorielles en Europe (projet Vector-Borne Diseases du CDC Européen) et par la liste de l'OIE. Sont également incluses dans cette liste initiale les maladies réputées contagieuses ou à déclaration obligatoire en France et les maladies à incidence socio-économique lourde pour la filière équine, identifiées par le conseil scientifique du RESPE.

Les maladies vectorielles sélectionnées selon cette méthode sont répertoriées dans le **tableau 1**. Parmi elles, les maladies exotiques et les maladies rares font l'objet d'une surveillance passive : leur détection précoce dépendra donc essentiellement d'une bonne connaissance, par le vétérinaire, des critères cliniques et des critères épidémiologiques de suspicion.

Parmi les maladies transmises par les tiques, certaines sont des zoonoses (maladie de Lyme, anaplasmose à *Anaplasma phagocytophilum*), d'autres présentent une importance économique non négligeable, parfois mal évaluée, pour la filière équine : les piroplasmoses sont probablement dans ce cas. Or toutes ces maladies ne sont pas encore considérées comme suffisamment prioritaires par les acteurs de la filière équine, pour relever de l'épidémiosurveillance. Plusieurs raisons peuvent expliquer cette situation : une mauvaise connaissance de l'incidence de la maladie, de son cycle épidémiologique et en particulier des

vecteurs potentiels ou, plus simplement, un manque de moyens financiers et humains. Par exemple, la prévalence de l'infection par *Borrelia burgdorferi* peut atteindre 30 % dans certaines régions du nord et de l'est de la France, mais le diagnostic de la maladie reste complexe du fait de l'aspect protéiforme des signes cliniques et de la difficulté d'interprétation des résultats de laboratoire. L'anaplasmose à *Anaplasma phagocytophilum* est probablement sous estimée dans notre pays : deux études effectuées en Camargue, sur un échantillon représentatif de la population équine, en 2001 et 2007, ont montré une augmentation significative de la séroprévalence chez les chevaux et une extension géographique de la répartition des infections dans cette zone, en faveur d'une émergence de la maladie (séroprévalence de 1,4 % [0,8 – 2,0] en 2002 ; 8,6 % [7,5 – 9,7] en 2007) (Leblond *et al.* 2005 ; Tilliette *et al.* 2009). Or, le vecteur principal de l'agent pathogène, la tique *Ixodes ricinus*, semble absent de cette région. Des études complémentaires sont nécessaires pour mieux connaître l'incidence de la maladie chez le cheval et les vecteurs potentiels dans cette région.

La fièvre du Nil occidental ou du West Nile (WN) constitue un cas particulier dans cette liste. Les épizooties récentes en France, Italie et Europe de l'Est ont montré la capacité du virus WN à persister dans certaines zones, même pendant des conditions climatiques défavorables, et à réémerger et s'étendre à d'autres zones géographiques l'année suivante. En France, après presque 40 ans de silence apparent, des épizooties d'encéphalites équine ont été observées en août 2000 vers Montpellier, puis en 2003 dans le Var, en 2004 en Camargue et en 2006 au sud de Perpignan (Murgue *et al.* 2001 ; Durand *et al.* 2005). Des cas humains ont été diagnostiqués en 2003 dans le Var (Gallian *et al.* 2005). Ces épizooties fragilisent l'économie touristique régionale, fortement marquée par les activités équine et taurines. Les conséquences sur la santé publique sont également non négligeables : depuis 2003, les dons de sang effectués dans les zones à risque pendant les périodes de transmission doivent être soit écartés de l'usage thérapeutique, soit testés en laboratoire pour s'assurer de l'absence du virus dans le prélèvement.

Les chevaux semblent particulièrement sensibles à l'infection par le virus de la fièvre du Nil occidental et sont souvent considérés comme les révélateurs de sa circulation. L'infection chez le cheval entraîne des signes d'atteinte du système nerveux central et/ou périphérique, Ces signes sont difficiles à différencier de ceux observés lors d'encéphalomyélite due à une autre cause, infectieuse ou non (Ostlund *et al.* 2000 ; Trock *et al.* 2001). La surveillance de la fièvre du Nil occidental doit donc être intégrée dans un système de surveillance syndromique, en l'occurrence le syndrome nerveux chez le cheval.

Application à la surveillance syndromique de la Fièvre du Nil occidental et alerte précoce

En Europe, contrairement aux Etats-Unis, le virus de la fièvre du Nil occidental n'entraîne pas de mortalité significative chez les oiseaux (Guptill *et al.* 2003). Ce fut également le cas en France en 1962, 2000, 2003-2004 (Joubert *et al.* 1970 ;

MALADIE	AGENT PATHOGENE	VECTEUR	ZOONOSE	STATUT	RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE	SYNDROME	Probabilité de survenue de la maladie	Conséquences pour la filière
Anaplasmose granulocytaire équine	Bactérie Ordre des Rickettsiales : <i>Anaplasma phagocytophilum</i>	Biologique : tiques <i>Ixodes ricinus</i> et <i>Rhipicephalus</i>	?? (pas de consensus)		Amérique, France, Italie, Espagne, Royaume Uni, Allemagne, Suisse, Suède, Israël	GÉNÉRAL	FAIBLE (séroprévalence moyenne)	MOYEN (?)
Anémie infectieuse des équides	<i>Retroviridae</i> , genre <i>Lentivirus</i>	Mécanique : <i>Tabanidae</i> ou <i>Stomox</i>	NON	MARC	Cas sporadiques dans différentes régions de France (Ardèche, Var, ...)	GÉNÉRAL	FAIBLE	MOYEN
Encephalose équine	<i>Orbivirus</i>	Biologique : type <i>Culicoides</i>	NON		Afrique du Sud, Proche et Moyen Orient	GÉNÉRAL NERVEUX	FAIBLE	ÉLEVÉE
Encephalite japonaise équine	<i>Flaviviridae</i> , genre <i>Flavivirus</i>	Biologique : moustiques <i>Culex</i> , <i>Aedes</i>	OUI mais pas à partir du cheval	MARC	Maladie exotique (Asie)	NERVEUX	FAIBLE	MOYEN
Encéphalites virales de l'Est, de l'Ouest ou du Venezuela	<i>Togaviridae</i> , genre <i>Alphavirus</i>	Biologique : moustiques <i>Culex</i> , <i>Aedes</i>	OUI mais pas à partir du cheval	MARC	Maladie exotique (Amérique)	NERVEUX GÉNÉRAL	TRÈS FAIBLE	ÉLEVÉE
Fèvre à virus West Nile	<i>Flaviviridae</i> , genre <i>Flavivirus</i>	Biologique : moustiques <i>Culex</i> , <i>Aedes</i>	OUI mais pas à partir du cheval	MARC	Foyers dans le sud de la France (Carnaque, Pyrénées Orientales, Var, ...)	NERVEUX GÉNÉRAL	FAIBLE à MOYEN (pourtour méditerranéen)	MOYEN
Louping ill	<i>Flaviviridae</i> , genre <i>Flavivirus</i>	Tiques <i>Ixodes ricinus</i>	OUI mais pas à partir du cheval		Royaume Uni, Irlande, Norvège, Bulgarie, Turquie, Espagne	NERVEUX	TRÈS FAIBLE	FAIBLE
Maladie de Lyme	Bactérie spirochète <i>Borrelia burgdorferi</i>	Biologique : tiques <i>Ixodes ricinus</i>	OUI mais pas à partir du cheval		Foyers dans le Nord-Est, Bretagne et dans une moindre mesure, Centre, Auvergne, Ile-de-France, Sud-Ouest et Corse	GÉNÉRAL	MOYEN (mais séroprévalence élevée)	FAIBLE
Murray Valley fever	<i>Flaviviridae</i> , genre <i>Flavivirus</i>	Biologique moustique <i>Culex</i>	OUI mais pas à partir du cheval		Australie	NERVEUX	TRÈS FAIBLE	ÉLEVÉE
Peste équine	<i>Reoviridae</i> , genre <i>Orbivirus</i>	Biologique de type <i>Culicoides</i>	NON	MARC (plan d'urgence)	Maladie exotique pour la France. Présente en Afrique	GÉNÉRAL	FAIBLE (?)	TRÈS ÉLEVÉE
Piroplasmose	Parasites protozoaires : <i>Theileria equi</i> <i>Babesia caballi</i>	Biologique : tiques <i>Dermacentor</i> , <i>Rhipicephalus</i>	NON	OIE	Maladie enzootique (hyperendémique) en France	GÉNÉRAL	ÉLEVÉE	MOYEN (?)
Surra	Protozoaire <i>Trypanosoma evansi</i>	Mécanique stomoxes (mouche à boeuf) et taons	OUI (rares cas humains rapportés en Inde et Sri Lanka)	MARC	Maladie habituellement exotique. Un foyer identifié sur des ovins dans l'Aveyron en 2006 (source : dromadaire importé)	GÉNÉRAL	FAIBLE	FAIBLE
Tahyna, Toscana	<i>Buyaviridae</i> , genre <i>Bunyavirus</i> et <i>Phlebotovirus</i>	Biologique moustiques <i>Culex</i> , <i>Aedes</i> , <i>Phlebotomus</i>	OUI mais pas à partir du cheval		Sud de la France, Italie	NERVEUX	FAIBLE	FAIBLE

Tableau 1 : Liste des maladies vectorielles candidates à l'épidémiosurveillance chez le cheval.

Durand *et al.* 2002). En France, depuis 2001, des systèmes passifs et actifs sont en place pour la surveillance du virus WN chez les oiseaux et les moustiques (Hars 2001). Le système passif a pour objectif de suivre les causes de mortalité chez les oiseaux sauvages (réseau SAGIR). Le système actif consiste en la capture de moustiques et le suivi sérologique d'oiseaux sentinelles répartis sur le territoire. Le système de surveillance des chevaux est essentiellement passif, avec des actions d'appel à vigilance organisées par les autorités sanitaires auprès des vétérinaires exerçant dans des régions à risque, lorsque des cas sont diagnostiqués dans des pays voisins.

En 2004, un système de surveillance syndromique des chevaux a été évalué dans le sud de la France en vue d'établir les modalités de déclenchement d'une alerte précoce, dès le franchissement d'un nombre « seuil » de cas syndromiques déclarés dans la semaine (Leblond *et al.* 2007a). Le système « Surveillance des Syndromes Infectieux et Alerte Précoce (S'IAP) » est une plateforme informatique permettant aux vétérinaires de saisir et de transmettre les descriptions cliniques des cas observés selon deux possibilités :

- un système utilisable directement sur le terrain, au « chevet du cheval », permet la saisie des cas cliniques observés, puis le transfert des informations (*via* un Smartphone) vers un serveur central. La transmission des données est effectuée par la connexion Internet du téléphone mobile ;
- ou un site Internet sécurisé permet la saisie et la consultation des descriptions cliniques et donne accès, en retour, à l'information sur l'ensemble des cas déclarés.

L'information est consultable directement en ligne par l'ensemble des acteurs du réseau, y compris les autorités sanitaires, moins d'une heure après la déclaration de la suspicion. Les données sont stockées dans une base de données MySQL.

La fiche de suspicion a été conçue pour recueillir les données sur les cas de syndrome nerveux chez les chevaux. Pour décrire le syndrome, une liste de symptômes prédéfinis est proposée sous la forme de cases à cocher en oui/non. Les syndromes nerveux sont décrits selon l'absence/présence de dysphagie, paralysie faciale, amaurose, tremblements, comportement anormal et/ou anomalies de la locomotion. L'ataxie, la paralysie et la parésie peuvent être qualifiées de symétrique/asymétrique. Le formulaire est bref et rempli au moment même de la consultation du cheval, en moins de cinq minutes. Pour chaque déclaration clinique, des prélèvements standardisés sont effectués et envoyés au laboratoire en vue de la confirmation du diagnostic.

Une vingtaine de vétérinaires des départements du Gard et des Bouches du Rhône ont été volontaires pour tester le système avec l'appui des autorités sanitaires départementales. Après une session de formation, le matériel a été distribué aux vétérinaires

le 10 août 2004 et une phase de test a été effectuée. Le premier cas de syndrome nerveux a été déclaré sur le réseau le 23 août, les deux suivants le 27 août par le même vétérinaire. Finalement, 12 vétérinaires ont déclaré 72 cas de syndrome nerveux entre le 23 août 2004 et le 21 juillet 2005. Pour 32 de ces cas, l'infection par le virus WN a été confirmée. Le taux de mortalité fut de 22 % parmi les cas confirmés et de 9 % parmi les cas non confirmés. Aucune différence significative entre la fréquence des signes cliniques n'a pu être mise en évidence entre les cas confirmés ou non.

Les courbes, en fonction du temps, de la déclaration des cas de syndrome nerveux et de l'apparition des signes cliniques des cas confirmés de fièvre du Nil occidental, sont étroitement corrélées (coefficient de corrélation de Spearman = 0,88 ; $p = 0,01$) : le suivi des cas de syndrome nerveux est ainsi pertinent pour diagnostiquer l'émergence d'une épizootie de la maladie dans la zone. Si un seuil d'alerte est fixé à trois déclarations par semaine, l'étude rétrospective de la courbe des cas de syndrome nerveux montre que l'alerte peut être déclenchée quatre semaines avant le pic épizootique de la maladie. Ce délai est suffisant pour la mise en œuvre de mesures de prévention (démoustication, vaccination). En comparaison, la surveillance active des volailles dans la même zone n'a fourni une alerte que 15 jours avant le pic épizootique et la confirmation des cas équins par le laboratoire n'est intervenue qu'une semaine avant ce pic (*figure 1*) (Leblond *et al.* 2007a).

À l'échelle nationale, depuis 2003, un sous-réseau « syndrome nerveux » a été mis en place par le RESPE. Ses objectifs spécifiques ont évolué, en particulier grâce aux résultats d'études pilotes telles que celle que nous venons de présenter. Le recueil des données cliniques et épidémiologiques est standardisé grâce à une fiche présentée sous la forme de « cases à cocher ». Les prélèvements et les analyses de laboratoire sont effectués systématiquement pour les maladies d'intérêt prioritaire, la fièvre du Nil occidental et la rhinopneumonie.

QUEL FUTUR POUR L'ÉPIDÉMIOLOGIE DES MALADIES VECTORIELLES ?

Si nous reprenons l'exemple de la fièvre du Nil occidental en 2004, aucune mortalité anormale n'a été observée chez les oiseaux sauvages et aucun moustique capturé ne s'est révélé positif vis-à-vis du virus WN. Une séroconversion a été confirmée chez un canard sentinelle au cours de la 36^{ème} semaine, c'est-à-dire trois semaines avant le début de l'épizootie chez les chevaux (Hars 2004). Ainsi, ces systèmes actifs deviennent très coûteux lorsque la maladie est rare. Dans ce cas, pour en détecter l'émergence, il faut augmenter la taille des échantillons et les coûts s'accroissent de manière exponentielle.

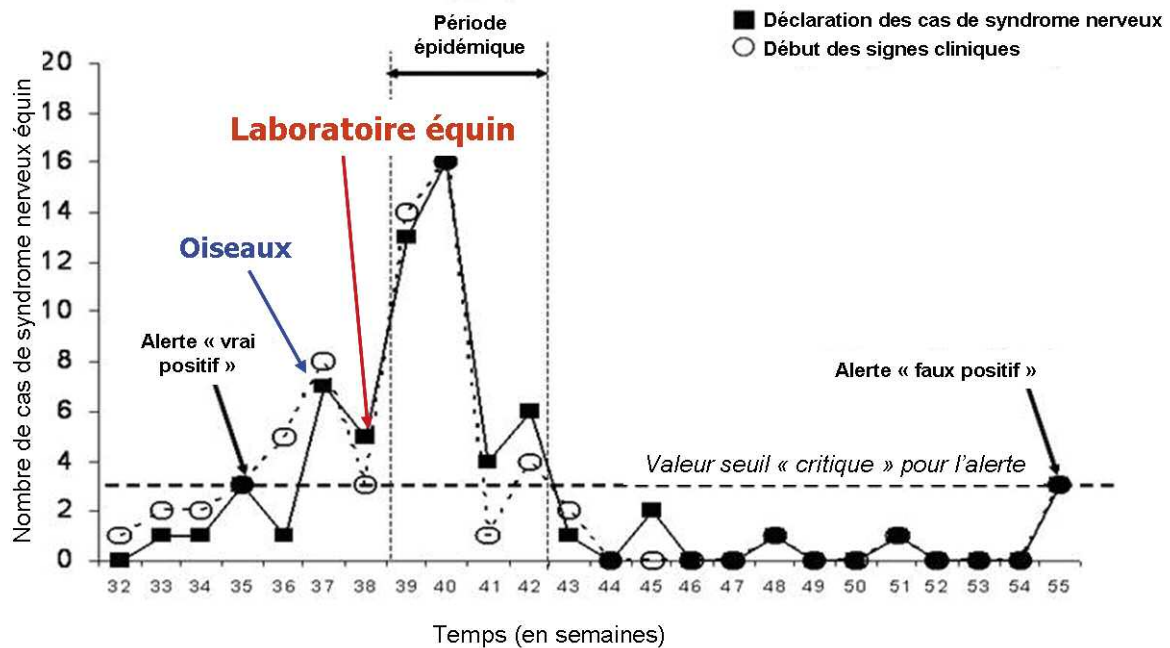


Figure 1 : Surveillance des cas de syndrome nerveux équin par les vétérinaires sentinelles en 2004 dans les Bouches du Rhône et le Gard ; détermination de la valeur critique pour une alerte précoce vis-à-vis d'une épidémie de fièvre du Nil occidental (Leblond et al. 2007a)

Les courbes, en fonction du temps, de la déclaration des cas de syndrome nerveux (carrés noirs) et de l'apparition des signes cliniques (ronds blancs) sont étroitement corrélées. Le seuil d'alerte fixé, par exemple, à trois déclarations par semaine (Alerte « vrai positif ») précède le pic de l'épidémie de quatre semaines. Ce délai pourrait être mis à profit pour déclencher des mesures de prévention.

L'objectif du système de surveillance doit alors être redéfini : plutôt que de surveiller un indicateur comme le nombre de malades ou d'infectés, des facteurs prédictifs du risque de circulation virale pourront être suivis afin de fournir une alerte précoce. Pour les maladies vectorielles, ce type de démarche suppose de recueillir des données environnementales permettant de mieux connaître les biotopes et les conditions climatiques favorables à l'émergence de populations de vecteurs.

La biologie, la physiologie, la reproduction et donc l'abondance des insectes vecteurs sont en effet très dépendantes de l'environnement. Le climat joue un rôle important dans l'introduction ou la dispersion d'une maladie vectorielle (Rogers & Randolph, 2006). Les vecteurs sont généralement de petits arthropodes extrêmement sensibles à l'humidité et à la température tout au long de leur cycle de vie. Le sens dans lequel le climat fait varier l'intensité de la transmission n'est pas toujours facile à prévoir. Un réchauffement climatique global devrait entraîner une augmentation de la transmission par augmentation de la fréquence des piqûres mais également de la mortalité chez les insectes.

Dès 1999, Epstein a proposé plusieurs hypothèses pour expliquer les relations entre les facteurs climatiques et les maladies vectorielles (Epstein 1999). Il a suggéré qu'un hiver doux, suivi d'un printemps et d'un été secs, avec des vagues de chaleur en juillet, et d'un automne orageux avec de fortes précipitations, pourraient favoriser l'émergence de maladies vectorielles. La sécheresse favorise les contacts entre les oiseaux hôtes et les moustiques vecteurs, en particulier autour des points d'eau, facilitant le cycle épidémiologique et l'amplification des arbovirus dans ces populations. En 2000, le sud de la France a été témoin d'une épidémie de fièvre du Nil occidental, dont l'un des vecteurs potentiels est *Culex modestus*. Les données recueillies sur le terrain par Mouchet *et al.* en 1966 (Mouchet *et al.* 1970) ont permis de construire un modèle de prévision de l'agressivité de *C. modestus* en fonction de données météorologiques (Ludwig *et al.* 2005). L'agressivité des moustiques était positivement corrélée à la température, au taux d'humidité couplé à la pluviométrie et à l'ensoleillement. Les années 1999 et 2000 étaient caractérisées par une agressivité de cette espèce deux à trois fois supérieure à la moyenne, survenant deux semaines avant la fin de l'été, moment d'apparition des premiers cas chez le cheval.

En France, deux zones endémiques pour le virus WN ont été identifiées, l'une en Camargue, l'autre dans le Var. La mise en œuvre, en parallèle, d'enquêtes sérologiques et du recrutement de cas cliniques, associée à un recueil de données environnementales permet une analyse des facteurs de risque de la circulation de ce virus. Des techniques telles que la télédétection, les analyses spatiales et les systèmes d'information géographique (SIG), permettent d'analyser les relations maladie – hôte – environnement (Chadoeuf *et al.* 2004; Leblond *et al.* 2007b). L'identification de paramètres environnementaux favorables à la transmission permet alors d'élaborer des modèles prévisionnels spatialisés qui devront être validés (Pradier *et al.* 2008).

Les premiers résultats montraient un faible taux de circulation du virus en Camargue en 2001, avec la présence de deux foyers distincts en zone sèche (Leblond *et al.* 2005). L'un de ces foyers était situé près d'Arles et avait déjà été identifié en 1962-1964 (Joubert & Oudar, 1965). L'étude de l'épizootie de 2004, effectuée avec des images du satellite SPOT-4, a permis également d'identifier deux foyers, les deux étant cette fois en zone humide, proches des « Saintes Maries de la Mer » (*figure 2*).

Le rayon de ces foyers, de quatre à neuf kilomètres, était compatible avec une transmission par un vecteur de faible amplitude de vol, tel que les moustiques du genre *Culex*. Les rizières, la sansouire « humide », la présence de broussailles sèches et d'eau libre étaient les principales caractéristiques du paysage associées au risque de circulation du virus (*figure 2*) (Leblond *et al.* 2007b).

La base de données Corine Land Cover (Agence Européenne pour l'Environnement) a été utilisée pour étudier les paramètres environnementaux associés à la circulation du virus dans les deux régions, Var et Camargue. Les facteurs positivement associés à un niveau élevé de circulation du virus étaient l'index d'imbrication et de juxtaposition⁽⁵⁾ (IJI) et la surface couverte par des zones agricoles hétérogènes. Ces deux variables indiquent la présence de biotopes de configuration spatialement complexe, qui pourraient favoriser la coexistence de vecteurs compétents et d'hôtes réservoir. La structure du paysage apparaît donc comme un élément clé de la circulation du virus dans ces zones (Pradier *et al.* 2008).

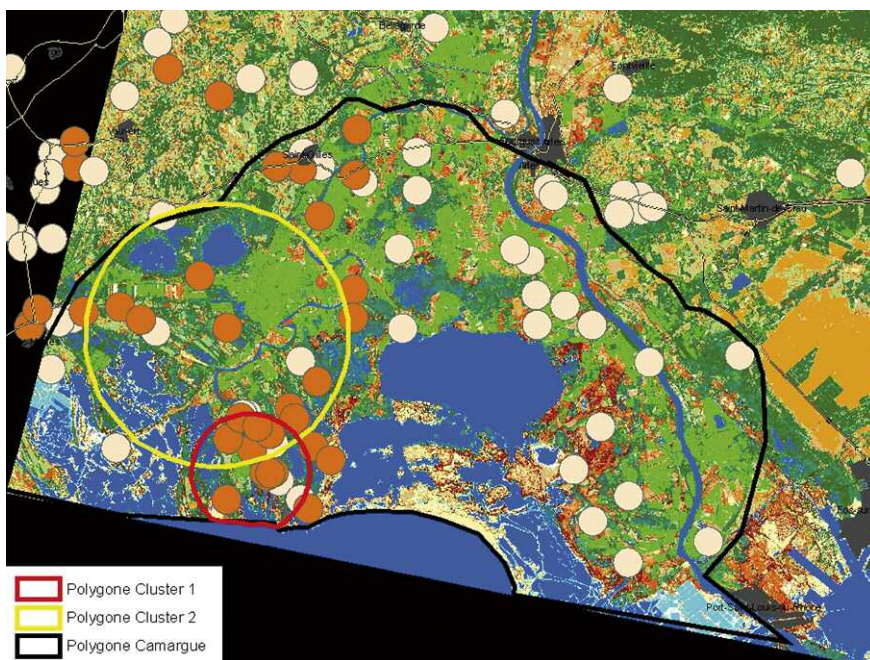


Figure 2 : Épizootie de 2004 en Camargue. La carte montre la localisation des foyers spatio-temporels de la fièvre du Nil occidental chez les chevaux (regroupement des cas dans l'espace et dans le temps : clusters 1 et 2), identifiés par la procédure SaTScan. L'analyse des facteurs de risque environnementaux a été effectuée dans la zone humide de Camargue (polygone Camargue) à l'aide d'une image SPOT-4 (Leblond *et al.* 2007b).

(5) Les indicateurs de biodiversité ou agri-environnementaux ont pour but initial de quantifier la diversité existante dans un paysage. Ils caractérisent la composition et la configuration spatiale d'un paysage, en décrivant sa richesse, son homogénéité ou au contraire son hétérogénéité, sa fragmentation. Cette structure spatiale des paysages joue un rôle important dans leur fonctionnalité écologique et leur diversité biologique. L'indice d'imbrication et de juxtaposition (IJI) prend en compte explicitement la configuration spatiale des classes d'occupation du sol. Il mesure l'imbrication des classes dans une zone, c'est-à-dire si elles sont équitablement limitrophes des autres classes. Il est calculé selon l'équation :

$$IJI = \frac{- \sum_{i=1}^m \sum_{k=i+1}^m [(E_{ik}) * \ln(E_{ik})]}{\ln\left(\frac{m(m-1)}{2}\right)}$$

avec m = nombre de classes;
 E_{ik} : longueur de la frontière entre la classe i et la classe k
 Unité = pourcentage
 Ordre de grandeur : 0 < IJI ≤ 100

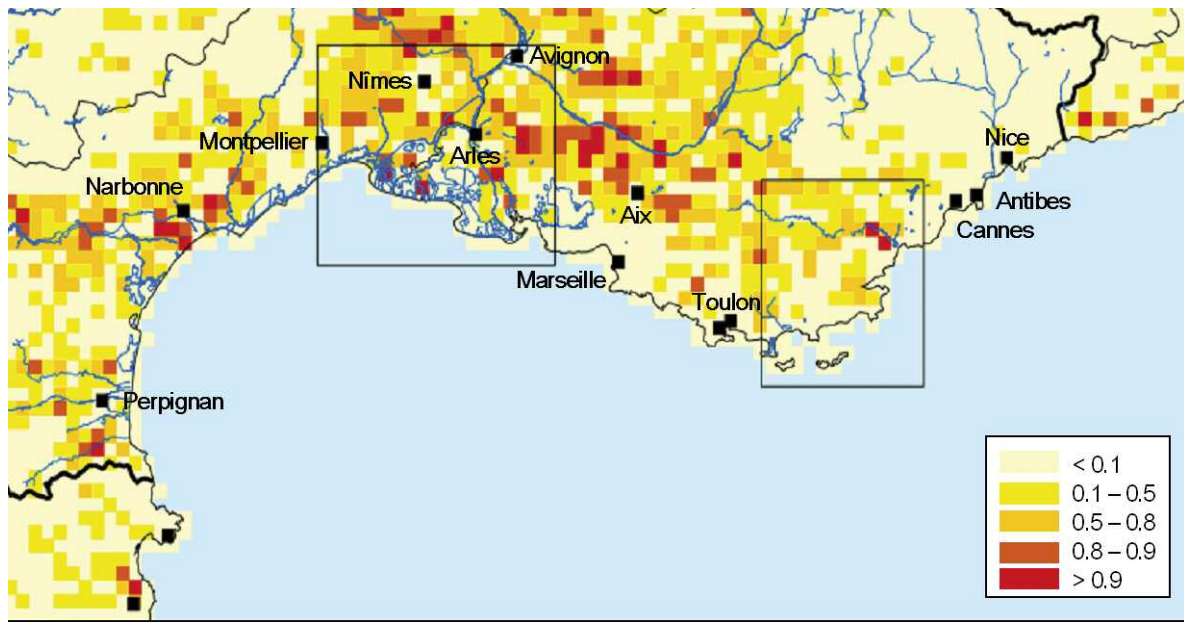


Figure 3: Carte de prédiction du risque endémique pour le virus WN le long des côtes méditerranéennes françaises. Les données du Var et de la Camargue (régions encadrées) ont servi à paramétrer le modèle qui est ensuite appliqué à l'ensemble du pourtour méditerranéen. L'identification de zones et de populations à risque fournit une aide à la décision pour les autorités sanitaires en vue de cibler la surveillance.

La légende représente les niveaux de probabilité pour qu'une surface de 5 km de côté réunisse des conditions favorables à une circulation endémique du virus West Nile.

Cette étude a permis de proposer, en juin 2006, une carte de prédiction du risque d'endémicité du virus WN sur le pourtour méditerranéen (**figure 3**). En début d'automne 2006, des cas équin de fièvre du Nil occidental étaient diagnostiqués dans la région de Perpignan, zone classée « à risque endémique » sur cette carte. Après validation, ces cartes pourraient être utilisées par les autorités sanitaires pour décider des stratégies de surveillance et de contrôle à développer sur le territoire.

CONCLUSION

Pour les événements rares, l'objectif du système de surveillance devrait être d'identifier des populations à risque et des facteurs de risque de l'émergence, en vue de fournir une alerte précoce et de permettre la mise en œuvre de mesures de contrôle et de prévention par les autorités sanitaires.

Les maladies vectorielles représentent un bon modèle pour l'étude des relations santé-environnement. Celle-ci contribue à mieux comprendre le rôle de l'environnement dans l'émergence des maladies, à améliorer la qualité et la pertinence des indicateurs environnementaux et à produire des cartes de prévision du risque, qui fournissent une aide à la décision pour les services de santé publique.

Le praticien équin reste le premier maillon de cette chaîne de surveillance. Sa motivation doit être entretenue par des actions régulières de retour de l'information et de formation. Il doit rester attentif à l'évolution spatiale des maladies infectieuses et à la possibilité d'émergence de nouvelles maladies ou de maladies exotiques dans sa clientèle.

BIBLIOGRAPHIE

- Buehler, J. W. 2004. Review of the 2003 National Syndromic Surveillance Conference - Lessons learned and questions to be answered. *MMWR* 53(Suppl): 18–22.
- Chadoeuf, J., Leblond, A., Senoussi, R. 2004. Using inter - event functions for bandwidth selection in disease incidence ratio estimation. *Environmetrics* 15: 513–517.
- Doherr, M.G. & Audigé, L. 2001. Monitoring and surveillance for rare health-related events: a review from the veterinary perspective. *Phil Trans R Soc Lond. B* 356: 1097–1106.
- Durand, B., Chevalier, V., Pouillot, R., Labie, J., Marendat, I., Murgue, B., Zeller, H.G., Zientara, S. 2002. West Nile outbreak in horses in southern France: results of a serosurvey. *Emerg Infect Dis.* 8: 777–782.
- Durand, B., Dauphin, G., Labie, J., Zeller, H.G., Zientara, S. 2005. Résultats d'une enquête sérologique sur l'infection à virus West Nile chez les équidés dans le Var en 2003. *Environnement, Risques et Santé* 4: 114–118.
- Epstein, P. R. 1999. Climate and health. *Science* 285: 347–348.
- Gallian, P., de Lamballerie, X., de Micco, P., Andreu, G. 2005. West Nile Virus: implication and generalities in blood transfusion]. *Transfusion Clinique et Biologique* 12: 11–17.
- Guptill, S.C., Julian, K.G., Campbell, G.L., Price, S.D., Marfin, A.A. 2003. Early-season avian deaths from West Nile virus as warnings of human infection. *Emerging Infectious Diseases* 9: 483–484.
- Hars, J. (2001). *Surveillance de l'Avifaune en 2001 dans la Petite et Grande Camargue* - Rapport final. Montpellier, Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage: 42p.
- Hars, J. (2004). *Surveillance de l'Avifaune en 2004 dans la Petite et Grande Camargue* - Rapport final. Montpellier, Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage: 48p.
- Henning, K. J. 2004. Overview of syndromic surveillance - what is syndromic surveillance? *MMWR* 53(Suppl): 5–11.
- Joubert, L.J. & Oudar 1965. Les Arboviroses animales zoonoses menaçantes - leur incidence actuelle en France. *Bull Soc Sci Vet. Lyon* 66: 71–102.
- Joubert, L., Oudar, J., Hannoun, C., Beytout, D., Corniou, B., Guillon, J.C., Panthier, R. 1970. Epidemiology of the West Nile virus: study of a focus in Camargue. IV. Meningo-encephalomyelitis of the horse. *Annales de l'Institut Pasteur (Paris)* 118: 239–247.
- Lazarus, R., Kleinman, P., Dashevsky, I., DeMaria, A., Platt, R. 2001. Using automated medical records for rapid identification of illness syndromes (syndromic surveillance): the example of lower respiratory infection. *BMC Public Health* 1: 9.
- Leblond, A., Hendriks, P., Sabatier, P. 2007a. West Nile virus outbreak detection using syndromic monitoring in horses. *Vector Borne Zoonotic Dis.* 7: 403–410.
- Leblond, A., Pradier, S., Pitel, P.H., Fortier, G., Boireau, P., Chadoeuf, J., Sabatier, P. 2005. Enquête épidémiologique sur l'Anaplasmose Équine dans le Sud de la France. *Revue Scientifique et Technique de l'OIE* 4: 899–908.
- Leblond, A., Sandoz, A., Lefebvre, G., Zeller, H., Bicout, D. J. 2007b. Remote sensing-based identification of environmental risk factors associated with West Nile disease in horses in Camargue, France. *Prev Vet Med.* 79: 20–31.
- Leblond, A., Zientara, S., Chadoeuf, J., Comby, N., Heng, M.A., Sabatier, P. 2005. Prévalence de l'infection par le virus West Nile chez le cheval en Camargue. *Revue de Médecine Vétérinaire* 156: 77–84.
- Ludwig, A., Bicout, D.J., Chalvet-Monfray, K., Sabatier, P. 2005. Modélisation de l'agressivité de *Culex modestus*, vecteur potentiel de West Nile en Camargue, en fonction de données météorologiques. *Environnement, Risques et Santé* 4: 1–5.
- Martin, S.M. & Bean, N.H. 1995. Data management issues for emerging diseases and new tools for managing surveillance and laboratory data. *Emerg Infect Dis.* 1: 124–128.
- Mouchet, J., Rageau, J., Laumond, C., Hannoun, C., Beytout, D., Oudar, J., Corniou, B., Chippaux, A. 1970. Epidemiology of West Nile virus: study of a focus in Camargue. V. The vector: *Culex modestus* Ficalbi Diptera; Culicidae. *Ann Inst Pasteur (Paris)* 118: 839–855.
- Murgue, B., Murri, S., Zientara, S., Durand, B., Durand, J.P., Zeller, H.G. 2001. West Nile outbreak in horses in Southern France, 2000: the return after 35 years. *Emerg Infect Dis.* 7: 692–696.
- Ostlund, E.N., Andresen, J.E., Andresen, M. 2000. West Nile encephalitis. *Veterinary Clinics of North America. Équine Practice* 16: 427–441.
- Panthier, R., Hannoun, C., Beytout, D., Mouchet, J. 1968. Epidemiology of West Nile virus. Study of a center in Camargue. 3.- Human diseases. *Ann Inst Pasteur (Paris)* 115(3): 435–445.
- Pradier, S., Leblond, A., Durand, B. 2008. Biodiversity landscape metrics and West Nile virus circulation in southern France. *Vect Borne Zoon Dis.* 8: 253–263.
- Rogers, D. & Randolph, S. 2006. Climate change and vector-borne diseases. *Adv Parasitol.* 62: 346–384.
- Tilliette, B., Leblond A., Pradier, S., Boulouis, H. 2009. *Anaplasma phagocytophilum* infections in horses in the south of France: an emerging disease? *Annual Conference of the European College of Équine Internal Medicine*, Barcelona, Spain, 28-30th January.
- Trock, S.C., Meade, B.J., Glaser, A., Ostlund, E.N., Lanciotti, R.S., Cropp, B.C., Kulasekera, V., Kramer, L., Komar, N. 2001. West Nile virus outbreak among horses in New York State, 1999 and 2000. *Emerg Infect Dis.* 7: 745–747.