

ETUDE DES DETERMINANTS DE LA DIFFUSION ET DE LA PERSISTANCE DU VIRUS HP H5N1 DANS LE NORD VIETNAM : ETUDES RETROSPECTIVES*

Stéphanie Desvaux^{1,2}, Hoa Pham Thi Thanh³, Vladimir Grosbois¹, Stan Fenwick²,
Sébastien Tollis¹, Hai Pham Ngoc⁴, Annelise Tran^{1,5} et François Roger¹

RESUME

Des études rétrospectives ont été menées sur la vague de foyers de 2007 dans le Nord Vietnam. Tout d'abord, une étude cas/témoins a été construite pour identifier les facteurs de risque de l'influenza aviaire hautement pathogène (IAHP) H5N1 dans une province du Nord Vietnam. Des données sur les facteurs de risque potentiels liés à l'environnement humain et naturel et au système de production ont été collectées pour 19 villages cas et 38 villages témoins non appariés. Le nombre de bandes de volailles de chair dans le village était significativement associé au risque de foyer de H5N1 (OR = 1,49, IC à 95% : 1,12-1,96), tout comme la présence d'au moins un commerçant de volailles dans le village (OR = 11,53, IC à 95% 1,34-98,86). Dans une moindre mesure, le nombre de bandes de canards dans le village et le pourcentage de la surface du village occupée par les mares et des petits cours d'eau augmentait également le risque. L'effet de la vaccination a été difficile à mesurer du fait d'un mauvais système d'enregistrement des services locaux.

Ensuite, une étude à l'échelle régionale a été mise en œuvre afin d'améliorer l'hétérogénéité spatiale et explorer des variables environnementales. Les résultats initiaux de cette étude sont également présentés.

Mots-clés : AIHP, H5N1, Vietnam, facteurs de risque.

SUMMARY

Retrospective studies were conducted on the 2007 wave was carried out in one province of North Vietnam. Data on potential risk factors related to the human and natural environment, and to the production system were collected for 19 cases and 38 unmatched control villages.

.../..

* Texte de la communication présentée au cours des Journées scientifiques AEEMA, 21 mai 2010

¹ Cirad, Animal et gestion intégrée des risques (AGIRs), Montpellier F-34398, France

² Murdoch University, School of Veterinary & Biomedical Sciences, Western Australia 6150, Australia

³ NIAH-Cirad, Hanoi, Vietnam

⁴ ICARGC, International Centre for Advanced Research on Global Change, Vietnam National University, Hanoi, Vietnam

⁵ Cirad, UMR Territoires, environnement, télédétection et information spatiale (TETIS), Montpellier F-34093, France

.../..

The number of broiler flocks in the village was significantly associated with a higher risk of H5N1 outbreak (OR = 1.49, 95% CI: 1.12-1.96), as was the village having at least one poultry trader (OR =11.53, 95% CI: 1.34-98.86). To a lesser extent, the number of duck flocks in the village and the percentage of the village area occupied by ponds and streams also increased this risk. The effect of vaccination implementation was difficult to evaluate due to the poor recording system of the local services. Second, a study on a regional scale was implemented in order to reduce the spatial heterogeneity and to explore environmental parameters. Initial results of this investigation will also be presented.

Keywords: HPAI; H5N1; Vietnam; Risk factors.



I - INTRODUCTION

Le Vietnam, avec une population avicole de plus de 200 millions de têtes [Desvaux et Dinh, 2008], a connu son premier foyer d'IAHP H5N1 fin 2003 [OIE, 2004]. A la fin de l'année 2009, cinq vagues épizootiques ont été recensées dans la population de volailles avec les dernières vagues limitées aux régions Nord ou Sud alors que les premières vagues avaient une distribution nationale [Minh *et al.*, 2009]. Afin de limiter le nombre de foyers et le risque de transmission à l'Homme, le Gouvernement vietnamien a opté pour une stratégie de vaccination de masse à la fin de l'année 2005. Après une période d'environ un an sans foyer, la région du Nord Vietnam a connu une épizootie importante en 2007 avec 88 communes touchées dans la seule région administrative du Delta du Fleuve Rouge [Minh *et al.*, 2009]. Jusqu'à présent, la plupart des études visant à identifier le rôle de possibles facteurs de risque de l'apparition de foyers de H5N1 ont été réalisées à l'échelle de la commune, utilisant des données agrégées issues de bases de données générales pour la qualification du risque [Pfeiffer *et al.*, 2007 ; Gilbert *et al.*, 2008 ; Henning *et al.*, 2009]. Ces études ont permis de mieux appréhender les principaux mécanismes impliqués dans l'épidémiologie de l'IAHP dans cette région et

leur évolution en fonction des vagues épizootiques. En particulier, ont été mis en évidence le rôle des activités humaines dans le processus de transmission et le rôle de l'environnement (notamment les zones rizicoles) en tant qu'indicateur de présence de la population de canards ou comme une composante des processus de transmission et de maintenance. Afin d'affiner ces résultats, il est nécessaire de travailler à une plus petite résolution spatiale et de collecter des données plus détaillées sur d'éventuels facteurs de risque. En vue de remplir ces objectifs, une étude cas/témoins au niveau villageois a été mise en œuvre dans une province de la région Nord Vietnam. L'objectif de cette étude était d'évaluer les facteurs de risque au niveau village liés à l'environnement humain et naturel ainsi qu'au système de production avicole sur l'introduction, la diffusion et la maintenance du virus HP durant la vague épizootique de 2007 dans le Nord. Afin d'étudier le rôle des facteurs environnementaux sur le risque d'IAHP lors de cette vague, nous avons également mené une autre étude à une échelle plus large afin de bénéficier d'une meilleure hétérogénéité spatiale. Les résultats de ces études peuvent contribuer à améliorer les mesures ciblées de surveillance ou de contrôle.

II - MATERIELS ET METHODES

1. PRESENTATION DU PROTOCOLE GENERAL

Les études rétrospectives ont été menées à deux niveaux :

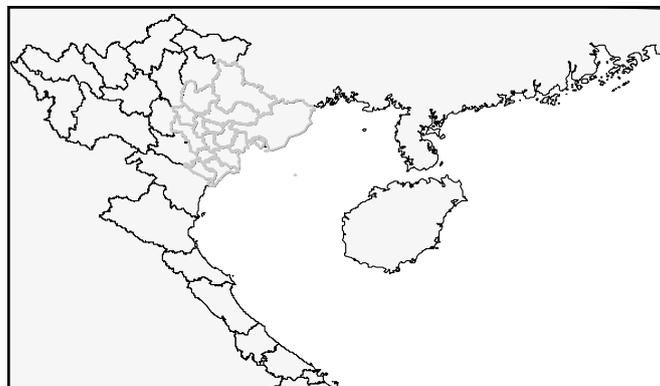
- Au niveau provincial, avec une étude cas/témoins dans une province, Bac Giang, située 50 kms au nord est de la capitale Hanoi. L'unité épidémiologique utilisée était

le village ;

- Au niveau régional, avec des analyses spatiales menées dans les régions administratives du Delta du Fleuve Rouge et du Nord Ouest, dénommée pour notre étude la région du « Grand Delta » (figure 1). L'unité épidémiologique utilisée était la commune.

Figure 1

Région du « Grand Delta »



Pour les deux études, un protocole cas/témoins sans appariement a été choisi.

Pour l'étude cas/témoins au niveau village, en plus de variables environnementales extraites de l'interprétation d'une image satellite haute résolution et de données du système d'information géographique « SIG », des interviews ont été menés entre avril et mai 2008.

Les deux études ont été menées sur foyers d'IAHP H5N1 de 2007. La période épizootique a été définie comme allant de février 2007 à août 2007 [DAH, 2010].

2. ORIGINE DES DONNEES

Pour l'étude cas/témoins au niveau village, les données sur les villages cas ont été fournies par le Sous-Département de santé animale de la province de Bac Giang.

Pour le Grand Delta, les données sur les foyers ont été récupérées sur le site internet du Département de santé animale, au niveau national [DAH, 2010].

3. DEFINITION ET SELECTION DES CAS ET DES TEMOINS

Pour l'étude cas/témoins au niveau village

Dans le but de valider la liste des cas fournis par les services vétérinaires locaux, des entretiens avec les autorités vétérinaires locales (les vétérinaires de district, de communes ou de village) ont été organisés. Lorsque les autorités vétérinaires confirmaient le statut infecté par l'IAHP du village, celui-ci était définitivement classé comme cas. Lorsqu'il y avait un désaccord sur ce statut, des détails étaient demandés sur la mortalité dans les élevages du village concerné. Une définition du cas était alors appliquée sur la description des symptômes faite par les vétérinaires locaux et le village était finalement défini comme un cas si les critères ci-dessous étaient remplis pour au moins un élevage du village :

- Description d'une maladie aiguë ou sur-aiguë (temps entre les symptômes et la mortalité de moins de deux jours) ;

- Mortalité dépassant les 10% en une journée ;
- Signes nerveux sur les canards si ceux-ci étaient impliqués dans le foyer (inclinaison de la tête, mouvements incoordonnés) ;
- Un résultat positif pour un test de diagnostic rapide si un tel test avait été utilisé.

A la fin des interviews de terrain et avant les analyses, une dernière vérification a été réalisée sur la base des résultats des questionnaires. Cette vérification a permis d'éliminer des analyses les villages cas dont l'épisode de mortalité était finalement reporté en dehors de la période épizootique définie.

Les villages témoins ont été sélectionnés aléatoirement parmi les villages restant pour notre zone d'étude. Le ratio appliqué était de un cas pour deux. Une dernière vérification des villages témoins a été réalisée sur la base des réponses aux interviews. Les villages témoins ayant reporté une mortalité inhabituelle sur leurs volailles en 2007 ont été éliminés des analyses.

Pour l'étude au niveau du Grand Delta

Une commune cas était définie comme un foyer reporté sur le site internet du Département de santé animale. Les communes témoins ont été sélectionnées aléatoirement parmi les communes non cas restantes en suivant un ratio d'un cas pour deux témoins.

4. COLLECTE DE DONNEES

4.1. QUESTIONNAIRES

Des questionnaires, destinés au chef du village, ont été administrés pour l'étude cas/témoins au niveau village. Les questions portaient sur le système de production en place en 2007 et sur les différentes pratiques humaines à risque (vaccination des volailles ou non, présence d'un marché de volailles vivantes ou d'un commerçant de volailles).

4.2. DONNEES SUR L'ENVIRONNEMENT ET LES INFRASTRUCTURES

La densité des variables potentiellement liées à la diffusion du virus (réseau de transport, eaux courantes) ou à la persistance du virus (zones rizicoles et eaux stagnantes), a été calculée pour une zone de 500 m autour de

chaque centre des villages (pour l'étude cas/témoins au niveau village) ou pour la surface de la commune (pour l'étude sur le Grand Delta).

Les couches SIG relatives aux réseaux routiers et hydrologiques, aux lacs et aux mares ont été utilisées pour calculer les densités des routes (routes nationales ou toutes les routes) et les densités des zones en eaux en lien avec la production d'oiseaux d'eau domestiques (canaux, mares et petits cours d'eau). En plus de cela, deux cartes d'occupation des sols ont été produites :

- Une carte dérivée de la classification supervisée d'une image composite haute résolution SPOT (figure 2). Le pourcentage de quatre types d'occupation du sol a été calculé pour la zone de 500 m de diamètre (eau, rizière, forêt ou arbres fruitiers et zones d'habitation) ;
- Une carte dérivée de l'interprétation d'une série temporelle d'images satellites MODIS de moyenne résolution couvrant notre période d'étude (figure 3). Les pourcentages d'occupation du sol au niveau de la commune ont été calculés pour cinq couvertures différentes (rizière avec une culture par an, rizière avec deux cultures par an, forêt, eau permanente et zone peuplée).

5. ANALYSE DES DONNEES

Les variables avec une valeur de $p \leq 0,1$ lors de l'analyse univariée étaient candidates pour l'inclusion dans le modèle multivarié. La première étape a été de construire un modèle avec toutes les variables sélectionnées lors de l'étape univariée. Nous avons ensuite vérifié si il existait une colinéarité entre les variables de ce modèle. La sélection des variables à inclure dans le modèle multivarié étant une source de discussion [Whittingham, Stephens *et al.*, 2006], nous avons décidé de tester deux procédures de sélections. Ainsi, les variables non significatives ont été enlevées du modèle selon deux méthode de sélection par étape, l'une fondée sur la comparaison du critère d'information d'Akaike (AIC) et l'autre sur la valeur de p [Burnham et Anderson, 2002]. L'adéquation du modèle final a été mesurée par un test de Chi deux de Pearson. Pour l'étude spatiale, un test de Moran a été réalisé sur les résidus standardisés du modèle afin de détecter une possible autocorrélation résiduelle.

Figure 2

Carte d'occupation du sol de la province de Bac Giang, province dérivée
de la classification supervisée d'une image SPOT

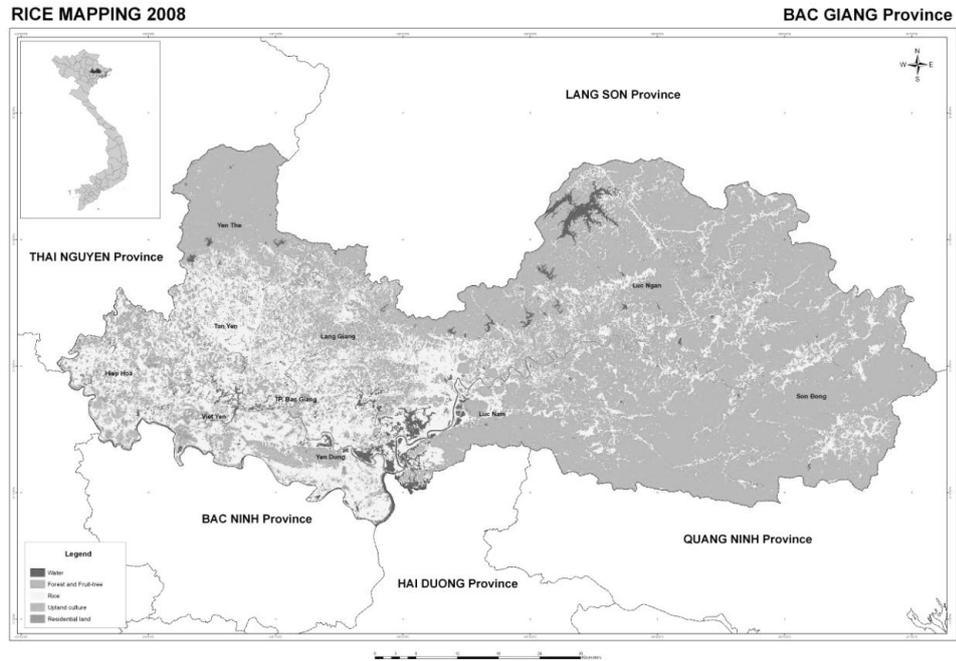
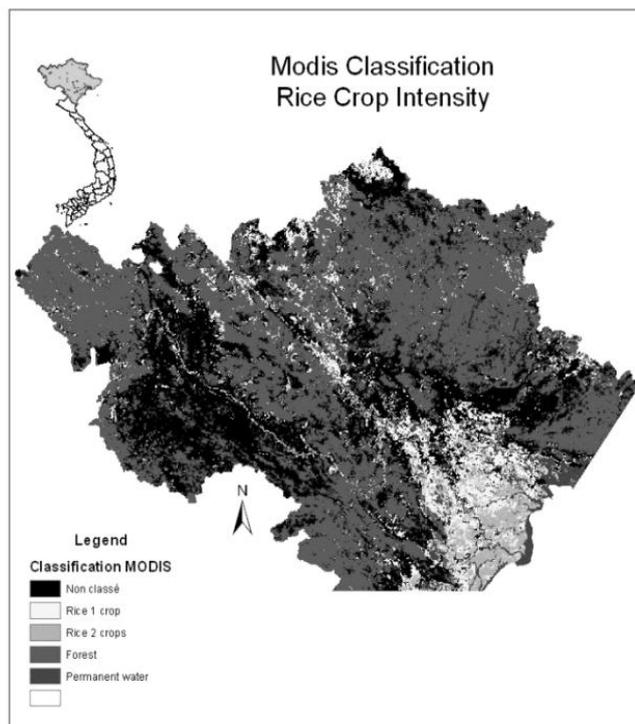


Figure 3

Carte d'occupation du sol pour le Nord Vietnam, issue de l'interprétation
d'une série temporelle MODIS



III - RESULTATS

1. POPULATION D'ETUDE

1.1. ETUDE CAS/TEMOINS

Après les visites initiales et les vérifications sur la base des réponses aux questionnaires sur les évènements de mortalité, 18 villages répondaient à notre définition d'un cas et 38 villages à notre définition d'un témoin.

1.2. ETUDE AU NIVEAU DU « GRAND DELTA »

Seulement 2 914 communes sur les 3 075 communes de notre zone d'étude étaient couvertes par les images MODIS et possédaient un identifiant unique. Parmi ces communes, 59 étaient des communes cas pour la vague de 2007 et seulement huit communes avaient déclaré un foyer d'IAHP pour plus d'une vague.

Pour la sélection des témoins, nous avons tout d'abord enlevé les provinces sans foyer déclaré car cela pouvait dénoter une tendance à la sous-déclaration de la province. Nous avons également éliminé la province de Hanoi qui n'est pas une province représentative du Delta. Les communes témoins ont finalement été sélectionnées aléatoirement parmi les communes non-cas restantes avec un ratio de deux témoins pour un cas.

2. REGRESSION LOGISTIQUE MULTI-VARIEE POUR L'ETUDE CAS/TEMOINS

Onze variables avec une valeur de $p \leq 0,1$ ont été incluses dans le modèle initial de régression logistique (la seule variable environnementale avec une valeur de p de moins de 0,2 a été forcée dans le modèle initial). Aucune des variables n'a montré une colinéarité significative. Les deux méthodes de sélection ont mené à deux modèles finaux différents : le modèle 1 avec la méthode AIC et le modèle 2 avec la méthode des valeurs de p . Le tableau 1 résume les résultats des deux méthodes. Trois principales variables ont été sélectionnées par les deux méthodes : le pourcentage de foyers gardant des volailles, la présence d'au moins un commerçant de volailles et le nombre de bandes de volailles de chair. La méthode AIC étant moins sélective, elle a permis l'identification de facteurs de risque d'effet modéré. En effet, le modèle 1 a identifié également deux facteurs de risque additionnels à la limite du seuil de signification : le nombre de bandes de canards et le pourcentage de la surface du village occupée par des mares et des petits cours d'eau. Les deux modèles finaux montraient une bonne adéquation aux données (modèle 1 : chi 2 de Pearson = 25,66, p -value = 0,9198 ; modèle 2 : chi 2 de Pearson = 37,33, p -value = 0,3185).

Tableau 1

Résultat des modèles de régression logistique pour l'étude cas/témoins à Bac Giang suivant les deux méthodes de sélection

Variable	Catégorie	Modèle 1		Modèle 2	
		OR (95% CI)	p value	OR (95% CI)	p value
Pourcentage de foyers gardant des volailles		0,94 (0,09-0,98)	0,006	0,95 (0,91-0,98)	0,006
Présence d'au moins un commerçant de volailles dans le village	Présence	9,69 (0,93-100,89)	0,057	11,53 (1,34-98,86)	0,026
Nb de bandes de canards dans le village		1,39 (0,96-2,01)	0,079		
Nb de bandes de volailles de chair		1,60 (1,14-2,24)	0,007	1,49 (1,12-1,96)	0,006
Pourcentage de pixels occupés par des mares ou des petits cours d'eau		2,35 (0,79-6,98)	0,125		

3. REGRESSION LOGISTIQUE MULTI-VARIEE POUR L'ETUDE AU NIVEAU DU « GRAND DELTA »

Les résultats initiaux de l'analyse spatiale montrent que trois variables sont significativement associées avec le risque d'IAHP au niveau des communes. Deux sont

des facteurs de risque : le pourcentage de la surface de la commune occupée par des rizières avec deux cultures par an et le nombre moyen de semaines en eau sur l'année pour tous les pixels de la commune. Une variable était un facteur protecteur : le pourcentage de la surface occupée par des habitations. Le tableau 2 résume les résultats de ce modèle.

Tableau 2

Résultat du modèle de régression logistique final pour l'étude au niveau de la région du « Grand Delta »

Variable	Modèle final		p value
	OR (95% CI)		
Pourcentage de la surface de la commune occupée par des rizières avec deux cultures par an	1,010297 (0,9997586	1,020947)	0,056
Nombre moyen de semaines en eau sur l'année pour tous les pixels de la commune	1,045425 (1,003021	1,089622)	0,035
Pourcentage de la surface occupée par des habitations	0,9536836 (0,9152926	0,9936849)	0,024

IV - DISCUSSION

Nos résultats confirment le rôle des activités liées au commerce et aux mouvements de volailles mais détaillent également les différents indicateurs de ces activités au niveau villageois. Ils mettent également en évidence le rôle de certaines zones en eaux. L'influence précise de la vaccination fut difficile à étudier du fait de l'insuffisance des données disponibles.

1. INTENSITE DES ACTIVITES DE COMMERCE AU NIVEAU DU VILLAGE

Le nombre de bandes de volailles de chair au sein du village a été trouvé comme étant un facteur de risque d'apparition de foyers d'IAHP. La production de volailles de chair est caractérisée par un renouvellement important des animaux du fait de leur court cycle de production et par une activité de commerce intense avec plusieurs approvisionnements de volailles d'un jour par an et par des visites de multiples commerçants lorsque la bande doit être vendue. De plus, la vaccination contre le H5N1 au Vietnam est normalement mise en œuvre selon lors de deux campagnes annuelles, en mars-avril et en octobre-

novembre [FAO, 2010]. Dans certaines zones, la vaccination est également organisée entre ces deux campagnes afin de mieux coller aux cycles de production mais la province de Bac Giang suivait le calendrier biannuel de vaccination en 2007. Ainsi, certaines bandes de volailles de chair pouvaient être produites entre deux campagnes et ne pas être protégées contre l'infection. Nous pouvons donc faire l'hypothèse, qu'au Vietnam, le nombre de bandes de volailles de chair est un facteur de risque pour l'infection au H5N1 à cause de l'intensité des mouvements de volailles que cette production induit et aussi à cause de sa plus faible protection immunitaire.

La présence d'au moins un commerçant de volailles a été trouvé significativement associée au risque d'IAHP. Les commerçants de volailles, transportant les volailles vivantes sur leur mobylette peuvent contribuer à la dissémination de la maladie entre les villages d'autant plus que les éleveurs ne prennent pas de précaution particulière vis-à-vis des visiteurs. Cette variable n'avait pas encore été testée par les autres études dans la région.

Nous avons également montré que le

pourcentage de foyers gardant des volailles représentait un facteur protecteur vis-à-vis du risque d'IAHP au niveau du village. Dans notre population d'étude, il n'y avait pas de corrélation entre le nombre de fermes de volailles et ce pourcentage, ce qui signifie qu'il s'agit davantage d'un indicateur du pourcentage de foyers gardant des volailles de basse-cour dans le village. Ainsi, les villages avec un pourcentage important de foyers gardant des volailles de basse-cour sont probablement plus ruraux et avec une densité humaine plus petite (les données relatives aux densités humaines n'étaient pas disponibles pour nos villages mais nous avons détecté une tendance à la corrélation négative avec ce pourcentage et la densité de foyers). L'effet protecteur de la faible densité humaine a déjà été reporté par d'autres travaux [Minh *et al.*, 2009 ; Paul *et al.*, 2010 ; Pfeiffer *et al.*, 2007]. Il est à noter également que le risque d'apparition de foyer d'IAHP n'augmente pas avec une augmentation du pourcentage de foyers gardant des volailles de basse cour. Cela peut s'expliquer par le fait que ce type de production induit moins d'activité commerciale et de mouvements de volailles que pour les fermes. Mais il faut aussi considérer que les éleveurs de volailles de basse cour prêtent moins d'attention à leurs animaux que les éleveurs de plus gros élevages. Nous ne pouvons donc pas exclure que la détection de foyers de H5N1 soit moins efficace dans ce secteur.

En conclusion, les variables détectées comme positivement associées au risque de foyers d'IAHP dans notre étude expliquent comment la maladie peut se transmettre d'un village à un autre.

L'absence de vaccination n'a pas été détectée comme un facteur à risque comme cela a été le cas dans l'étude de Henning [Henning *et al.*, 2009b]. Cela peut s'expliquer aisément par la qualité des données collectées. En effet, le système déficient d'enregistrement des données des services vétérinaires n'a pas permis de véritablement étudier l'influence de la vaccination, sauf indirectement en démontrant que les bandes de volailles de chair, connues pour être moins bien vaccinées, étaient associées au risque d'IAHP.

2. VARIABLES ENVIRONNEMENTALES ET D'INFRASTRUCTURE

Dans l'étude cas/témoins, la seule variable environnementale associée positivement avec le risque d'infection à l'IAHP était le pourcentage de la surface du village occupée par des mares et des petits cours d'eaux. Au Vietnam, le système de production permet des contacts fréquents entre les oiseaux, notamment les eaux d'eau, et l'environnement aquatique.

La transmission oro-fécale par de l'eau contaminée est un mécanisme connu de transmission du virus influenza [Brown *et al.*, 2007]. L'eau contaminée peut donc jouer un rôle dans la transmission du virus au sein d'une bande ou entre bandes partageant le même environnement en même temps ou de façon décalée puisque le virus peut survivre dans l'eau [Brown *et al.*, 2007; Brown *et al.*, 2009 ; Tran *et al.*, 2010]. Des contacts directs ou indirects avec les oiseaux sauvages *via* l'environnement aquatique peuvent également être suspectés même si l'infection des volailles par les oiseaux sauvages n'a pas été prouvée au Vietnam. Notre étude cas/témoins étant limitée à quelques districts d'une même province, l'hétérogénéité de certaines variables spatiales était limitée. Ceci peut expliquer pourquoi nous n'avons pas mis en évidence de relation significative entre les foyers d'IAHP et les variables liées aux réseaux de transport comme cela avait été le cas dans d'autres études [Fang *et al.*, 2008 ; Paul *et al.*, 2010].

Par ailleurs, les résultats initiaux de l'étude au niveau du Grand Delta ont confirmé le rôle de l'eau à la fois dans l'espace et dans le temps. En effet, les communes possédant un plus grand pourcentage de leur surface occupée par des rizières avec deux cultures par an (le riz étant une indication de mise en eau importante des parcelles) et celles avec un nombre moyen de semaines de présence d'inondation ont été trouvées plus à risque pour les foyers d'IAHP.

La densité de volaille d'eau a été reconnue précédemment comme un facteur de risque de l'IAHP, notamment du fait du rôle de porteurs sains joué par ces espèces [Gilbert *et al.*, 2006 ; Pfeiffer *et al.*, 2007 ; Fang *et al.*, 2008 ; Biswas *et al.*, 2009 ; Paul *et al.*, 2010]. Néanmoins, dans notre étude, le nombre de bandes de canards a été trouvé à la limite du seuil de signification, indiquant que cette

espèce n'est pas un facteur de risque prédominant pour l'apparition de la maladie. Ceci peut s'expliquer, dans le contexte vietnamien, par les mesures préventives qui ont touché cette espèce (la vaccination) et aussi par les souches de H5N1 circulant dans le Nord Vietnam. En effet, en 2007, les

canards étaient mieux protégés contre l'infection que lors des vagues précédentes. De plus, la souche prédominante dans le Nord Vietnam en 2007 (clade 2.3.4) [Nguyen *et al.*, 2008] est plus pathogène pour les canards que le clade original [Swane et Pantin-Jackwood, 2008], limitant ainsi leur rôle de porteurs sains.

V - CONCLUSION

Les résultats de ces études permettent une meilleure compréhension des mécanismes de transmission de l'IAHP H5N1 au niveau local dans le nord Vietnam. Il a été possible de caractériser les villages les plus à risque sur la base de la structure de leur système de production avicole (le nombre de bandes de volailles de chair) et également sur la présence d'au moins un commerçant de volaille dans le village. La présence de certains types de zones en eaux augmentait également le risque d'apparition de foyers indiquant un rôle probable de l'eau dans la

transmission de la maladie. Il est intéressant de noter que la catégorie de volailles augmentant le risque est également la catégorie dont la couverture vaccinale contre le virus H5N1 est connue pour être la plus faible du fait de leur court cycle de production. Il est également important de souligner que la reconnaissance et donc la détection de foyer de H5N1 peut être plus difficile pour les éleveurs et les vétérinaires locaux puisque l'expression clinique est modifiée au sein d'une population partiellement immune.

BIBLIOGRAPHIE

- Biswas P.K., Christensen J.P. *et al.* - Risk factors for infection with highly pathogenic influenza A virus (H5N1) in commercial chickens in Bangladesh. *Vet. Rec.*, 2009, **164**(24), 743-746.
- Brown J.D., Goekjian G. *et al.* - Avian influenza virus in water: infectivity is dependent on pH, salinity and temperature. *Vet. Microbiol.*, 2009, **136**(1-2), 20-26.
- Brown J.D., Swayne D.E. *et al.* - Persistence of H5 and H7 avian influenza viruses in water. *Avian Dis.*, 2007, **51**(1 Suppl), 285-289.
- Burnham K.P., Anderson D.R. - Model selection and Multi-Model Inference, a practical information-theoretic approach. New York, NY, Springer, 2002.
- DAH. - Update on HPAI and FMS situation (2008). Retrieved 10 January 2008, from http://www.cucthuy.gov.vn/index.php?option=com_content&task=category§ionid=1&id=19&Itemid=64, 2010.
- Desvaux S., Dinh T.V - A general review and a description of the poultry production in Vietnam. Agricultural Publishing House, Hanoi, Vietnam, 2008.
- Fang L.Q., de Vlas S.J. *et al.* - Environmental factors contributing to the spread of H5N1 avian influenza in mainland China. *PLoS One*, 2008, **3**(5), e2268.
- FAO - Animal influenza disease emergency, situation update. FAO AIDE News, 2010.
- Gilbert M., Chaitaweesub P. *et al.* - Free-grazing ducks and highly pathogenic avian influenza, Thailand. *Emerg Infect Dis*, 2006, **12**(2), 227-234.
- Gilbert M., Xiao X. *et al.* - Mapping H5N1 highly pathogenic avian influenza risk in Southeast Asia. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2008, **105**(12), 4769-4774.
- Henning J., Pfeiffer D.U. *et al.* - Risk factors and characteristics of H5N1 Highly Pathogenic Avian Influenza (HPAI) post-vaccination outbreaks. *Vet. Res.*, 2009, **40**(3), 15.

- Henning K.A., Henning J. *et al.* - Farm- and flock-level risk factors associated with Highly Pathogenic Avian Influenza outbreaks on small holder duck and chicken farms in the Mekong Delta of Viet Nam. *Prev. Vet. Med.*, 2009b, 91(2-4), 179-188.
- Minh P.Q., Morris R.S. *et al.* - Spatio-temporal epidemiology of highly pathogenic avian influenza outbreaks in the two deltas of Vietnam during 2003-2007. *Prev. Vet. Med.*, 2009, 89(1-2), 16-24.
- National Center for Veterinary Diagnosis, N. - Report on pilot surveillance of avian influenza, 2005.
- Nguyen. T.D., Nguyen T.V. *et al.* - Multiple sublineages of Influenza A virus (H5N1), Vietnam, 2005–2007. *EID*, 2008, 4(4), 632-636.
- OIE. - World animal health Retrieved 9 February 2010, from http://www.oie.int/eng/info/en_sam.htm, 2004.
- Paul M., Tavoranpanich S. *et al.* - Anthropogenic factors and the risk of highly pathogenic avian influenza H5N1: prospects from a spatial-based model. *Vet. Res.*, 2010, 41(3), 28.
- Pfeiffer .D.U, Minh P.Q. *et al.* - An analysis of the spatial and temporal patterns of highly pathogenic avian influenza occurrence in Vietnam using national surveillance data. *The Veterinary Journal*, 2007, 1-8.
- Swane D.E., Pantin-Jackwood M. - Pathobiology of avian influenza virus infections in birds and mammals. *Avian influenza*, 2008, 87-122. Iowa, Blackwell Publishing, 2008.
- Tran A., Goutard F. *et al.* - Remote sensing and avian influenza: A review of image processing methods for extracting key variables affecting avian influenza virus survival in water from Earth observation satellites. *International Journal of applied Earth observation and geoinformation*, 2010, 12, 1-8.
- Whittingham M.J., Stephens P.A. *et al.* - Why do we still use stepwise modelling in ecology and behavior? *J. Anim. Ecol.*, 2006, 75(5), 1182-1189.



Remerciements

Nous remercions le ministère des affaires étrangères et européennes pour le financement du projet Gripavi dans le cadre duquel ces travaux ont été menés. Nous sommes également reconnaissants envers les Services vétérinaires de la province de Bac Giang qui nous ont aidés pour la collecte de données et envers Mme Pham Thi Thu Huyen pour l'entrée des données.