

## RISQUE DE CONTACT ENTRE OISEAUX SAUVAGES ET DOMESTIQUES DANS LA REGION DE LA DOMBES, FRANCE \*

*Audrey Simon*<sup>1</sup>, *Delphine Doctrinal*<sup>1</sup> et *Dominique J. Bicout*<sup>1</sup>

**RESUME :** Réservoirs naturels de virus influenza A, les oiseaux sauvages sont susceptibles de transmettre ces virus aux oiseaux domestiques cibles à l'occasion de contacts. Au Nord - Est de Lyon dans le département de l'Ain, la zone humide de la Dombes à la fois héberge des élevages avicoles plein air et accueille chaque année de nombreux canards migrateurs, réunissant ainsi les conditions favorables au contact entre canards sauvages et volaille. L'objectif de ce travail est de modéliser le risque de contact en développant une méthode de calcul d'un indice de contact entre oiseaux sauvages et domestiques pour chaque élevage avicole de la région de la Dombes. Trois facteurs de risque d'importance décroissante ont été identifiés à partir de cartes représentant le risque de contact en période hivernale : la présence et la dispersion des canards sauvages, l'effet de l'environnement présent autour des élevages et l'effet des caractéristiques de l'élevage. A partir de ces résultats, les zones délimitées selon leur niveau de risque de contact semblent comparables à celles définies par les mesures réglementaires mises en place lors du foyer d'influenza aviaire en février 2006 en Dombes.

**Mots-clés :** Influenza aviaire, oiseaux, risque de contact, modélisation.

**SUMMARY:** As natural reservoirs of Influenza A viruses, the wild birds can transmit these viruses to the domestic bird targets at the time of contacts. In the North-East of Lyon in the department of Ain, the wetland of Dombes combines at the same time full air avicolous farms and accomodates each year of many migrating ducks, thus meeting the conditions favorable to the contact between wild ducks and poultry. Our objective in this report is to model the risk of contact by developing a method of calculation of an index of contact between wild and domestic birds for each avicolous farm of the Dombes. Three factors of risk of decreasing importance were identified based on charts representing the risk of contact in winter period: the presence and dispersion of wild birds (ducks), the environment effect present around the breedings or farms and the effect characteristics of breeding. From these results, the areas defined according to their level of risk of contact appears similar to those defined by lawful measurements set up at the time of the avian Influenza episode in February 2006 in Dombes.

**Keywords:** Avian Influenza, Birds, Risk of contact, Modelling.



\* Texte de la communication orale présentée lors de la Journée AESA-AEEMA, 18 mai 2006

<sup>1</sup> Unité Biomathématiques et Epidémiologie, EPSP – TIMC, Ecole nationale vétérinaire de Lyon, 1 avenue Bourgelat, 69280 Marcy l'Etoile ([audysimon@yahoo.fr](mailto:audysimon@yahoo.fr), [d.bicout@vet-lyon.fr](mailto:d.bicout@vet-lyon.fr))

## I - INTRODUCTION

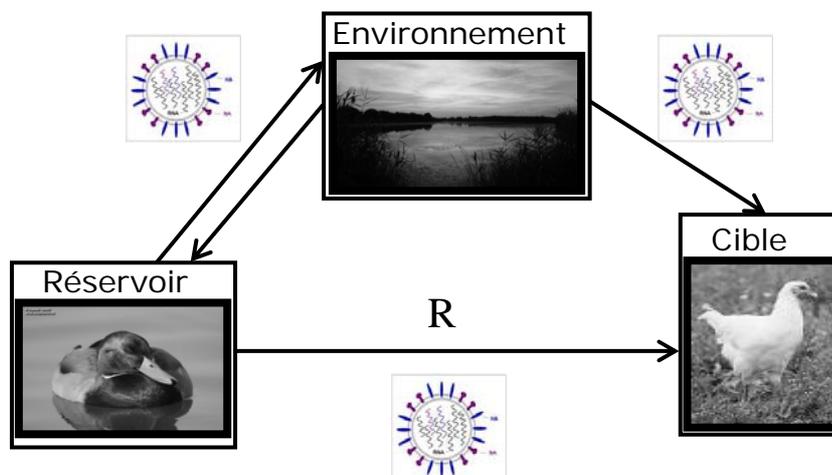
Les virus influenza A appartiennent à la famille des *Orthomyxoviridae*. Largement répandus, ils infectent une grande variété d'animaux, y compris l'Homme, et sont responsables chez les volailles d'une maladie très contagieuse provoquant une forte mortalité : la peste aviaire [Webster *et al.*, 1992]. Depuis 1997, une épizootie d'influenza aviaire, due à des virus de souche H5N1, sévit en Asie ; la persistance de ces virus et leur forte plasticité génomique rendent possible l'émergence d'un virus grippal adapté à l'Homme [Chen *et al.*, 2005]. Les oiseaux sauvages, surtout aquatiques, hébergent un grand nombre de souches virales faiblement pathogènes sans manifester

de symptômes ; ils sont qualifiés de réservoirs. Ils excrètent ces virus dans leurs fientes, sources infectieuses pour les oiseaux domestiques qui sont des cibles très sensibles [Campitelli *et al.*, 2004]. La transmission de ces souches virales entre réservoirs et cibles peut se faire directement par contact, mais aussi via l'environnement par les aérosols, l'eau, la nourriture ou d'autres matériaux contaminés par les fientes (figure 1). Très peu de travaux ont analysé l'importance relative de ces différentes voies d'infection lors d'une épizootie de peste aviaire [Thomas *et al.*, 2005].

Figure 1

### Schéma des voies de transmission des virus influenza à la volaille.

Les virus influenza A, présents chez les canards sauvages réservoirs, peuvent être transmis à la volaille cible par contact direct ou indirect via l'environnement. La force d'infection qu'exerceraient les oiseaux sauvages sur les oiseaux domestiques est fonction notamment d'un paramètre R, risque de contact entre oiseaux sauvages et domestiques.



La région de la Dombes, située au nord est de Lyon en France, se trouve sur un des axes migratoires d'oiseaux sauvages. Cette zone humide aux mille étangs, accueille chaque année de nombreux oiseaux aquatiques qui sont des hôtes préférentiels pour la plupart des souches virales [Sharp *et al.*, 1993]. L'élevage avicole y est très développé, notamment les élevages plein air où les volailles passent la majeure partie de leur temps dehors, caractéristique identifiée comme facteur de risque dans le contact. L'étude de Perchet a

estimé négligeable le risque d'introduction d'un virus grippal par le commerce dans la Dombes [Perchet, 2005], la voie de contamination via les oiseaux sauvages pourrait être prépondérante dans cette région. La concentration d'oiseaux sauvages aquatiques, réservoirs de virus, dans une région où la volaille cible est souvent élevée en plein air, pourrait faciliter le contact entre ces deux populations. Le foyer de peste aviaire en février 2006 dans un élevage de la Dombes est fortement corrélé à l'arrivée massive

d'oiseaux sauvages infectés. Ceci suggère fortement que les virus ont été transmis des oiseaux sauvages aux oiseaux domestiques par contact physique ou distant via l'environnement. Le choix de cette région pour l'étude de la transmission des virus influenza entre oiseaux sauvages et domestiques pourrait donc être pertinent.

L'exposition des oiseaux domestiques aux virus Influenza peut être appréciée par le calcul de la force d'infection qu'exerceraient les oiseaux sauvages sur les oiseaux domestiques, c'est-à-dire le taux d'infection d'oiseaux domestiques au cours du temps. La quantification de cette force d'infection, suppose de considérer la modalité de transmission des virus influenza : le contact

entre oiseaux sauvages et domestiques. Nous nous sommes intéressés au paramètre de contact  $\beta$ , nombre de contacts infectieux par oiseau et unité de temps entre oiseaux sauvages et oiseaux domestiques, donné par l'expression suivante :  $\beta = R \times T$ . Dans cette formule,  $T$  désigne la probabilité de transmission des virus en fonction du temps et  $R$  le risque de contact entre oiseaux sauvages et oiseaux domestiques.

L'objectif de notre travail est de caractériser le risque de contact  $R$  entre oiseaux sauvages et domestiques pour chaque élevage de la région de la Dombes. Il s'agira de déterminer des facteurs et de définir des zones à risque pour le contact.

---

## II – MATERIELS ET METHODE

---

### 1. INDICE OU RISQUE DE CONTACT

Chez les oiseaux sauvages, les fientes excrétées constituent la source infectieuse principale de virus influenza. Ainsi, la transmission des virus aux oiseaux domestiques peut se faire soit par contact direct ou physique, soit par contact indirect ou distant par l'intermédiaire de l'environnement. Un exemple de transmission par cette seconde voie pourrait être l'infection de volailles par une eau de boisson contaminée par des fèces d'oiseaux sauvages. Tous ces contacts nécessitent une certaine proximité entre réservoirs (oiseaux sauvages) et cibles (oiseaux domestiques) du fait de la relative fragilité des virus dans le milieu extérieur [Lu *et al.*, 2003]. Ainsi, le contact oiseaux sauvages – oiseaux domestiques peut survenir du fait :

- de la proximité géographique de réservoirs et de cibles, via l'environnement ;
- de l'attraction des canards sauvages par des canards domestiques (phénomène d'appelants) ou de la disponibilité de nourriture dans les élevages ;
- par le biais d'un hôte intermédiaire qui serait sensible aux virus et aurait un comportement exploratoire, l'amenant à entrer en contact à la fois avec les oiseaux sauvages et domestiques (Passériformes essentiellement [Alexander, 2000]). Dans cette étude, nous nous sommes limités aux contacts ne faisant pas intervenir un hôte intermédiaire.

Le risque de contact  $R$  qui nous intéresse est alors défini comme la probabilité que des oiseaux sauvages entrent en contact, physique ou distant via l'environnement, avec des oiseaux domestiques suite à leur proximité géographique, au phénomène d'appelants ou au fourragement. Pour chaque unité d'élevage, le risque de contact  $R$  entre oiseaux sauvages et oiseaux domestiques peut s'écrire comme suit,  $R = \text{Danger} \otimes \text{Exposition}$ , où :

- le signe  $\otimes$  représente un opérateur de connexion entre oiseaux sauvages et domestiques, c'est-à-dire le déplacement des oiseaux sauvages des sources aux unités élevages. Cet opérateur est caractérisé par les longueurs  $\sigma_x$  et  $\sigma_y$  de dispersion locale des oiseaux sauvages respectivement selon les directions « x » et « y » ;
- le Danger, représenté par la présence d'oiseaux sauvages au niveau des sources « s », caractérisées par les coordonnées  $r_s = (x_s, y_s)$  du barycentre de « s », et par la probabilité (ou proportion)  $\rho_s$  de présence d'oiseaux sauvages ;
- l'Exposition, matérialisée par l'existence d'un ensemble de  $n = 1, 2, \dots, N$  unités. Chaque unité (élevage + proche environnement) est caractérisée par ses coordonnées  $r_n = (x_n, y_n)$ , par les

attractivités intrinsèques (capacité à attirer les oiseaux sauvages) des éléments constitutifs (élevage et environnement), et des poids respectifs ou importance relative  $b_{\text{elv}}$  et  $b_{\text{env}}$  (tel que,  $b_{\text{elv}} + b_{\text{env}} = 1$ ).

En combinant tous ces éléments, le risque de contact  $R$  pour chaque unité «  $n$  » exposée à un ensemble de sources d'oiseaux sauvages peut s'écrire de manière compacte comme suit [Bicout, 2006] :

$$R_n = b_{\text{elv}} R_n^{\text{elv}} + b_{\text{env}} R_n^{\text{env}} + b_{\text{elv}} b_{\text{env}} Q_n^{\text{elv-env}} \quad (1)$$

où  $R_n^{\text{elv}}$  et  $R_n^{\text{env}}$  sont les risques de contact respectivement associés à l'élevage et à l'environnement seuls, alors que le terme  $Q_n^{\text{elv-env}}$  représente le risque de contact croisé dû à l'effet élevage couplé avec l'effet environnement du voisin et vice versa.

## 2. APPLICATION A LA DOMBES

### 2.1. POPULATIONS CONSIDEREES

Deux types de canards sont présent en Dombes : les canards de surface et les canards plongeurs, en proportion respective d'environ 60% et 40% sur toute la période d'hivernage [Fouque *et al.*, 2001]. Nous avons choisi les deux espèces les plus abondantes dans chacun des deux types : le canard Colvert (*Anas platyrhynchos*) et le Fuligule milouin (*Aythya ferina*). Le Colvert est une espèce opportuniste qui se nourrit sur des étangs mais également sur d'autres milieux comme les terres arables ou les prairies. Par contre, le Fuligule milouin est une espèce sélective : inféodée au milieu aquatique, il n'utilise que des étangs supérieurs à sept hectares. Ces deux espèces ont été considérées dans notre étude comme les principaux candidats réservoirs viraux pour les élevages avicoles cibles de la région. Les caractéristiques zootechniques de ces élevages sont très variées, ils sont constitués en partie par des élevages AOC « Poulets de Bresse » et « label rouge » où la volaille est élevée en plein air.

### 2.2. PERIODE D'ETUDE

La période la plus à risque en terme de transmission virale et donc de contact semble corrélée à la dynamique saisonnière des virus [Halvorson *et al.*, 1985], mais également aux comportements des oiseaux sauvages réservoirs [Tracey *et al.*, 2004]. En effet, les rassemblements et les mouvements d'oiseaux pourraient faciliter la circulation virale [Deibel *et al.*, 1985]. Sur la figure 2 nous avons résumé les différents éléments qui nous ont permis de déterminer la période d'étude la plus à risque en terme de contact infectieux.

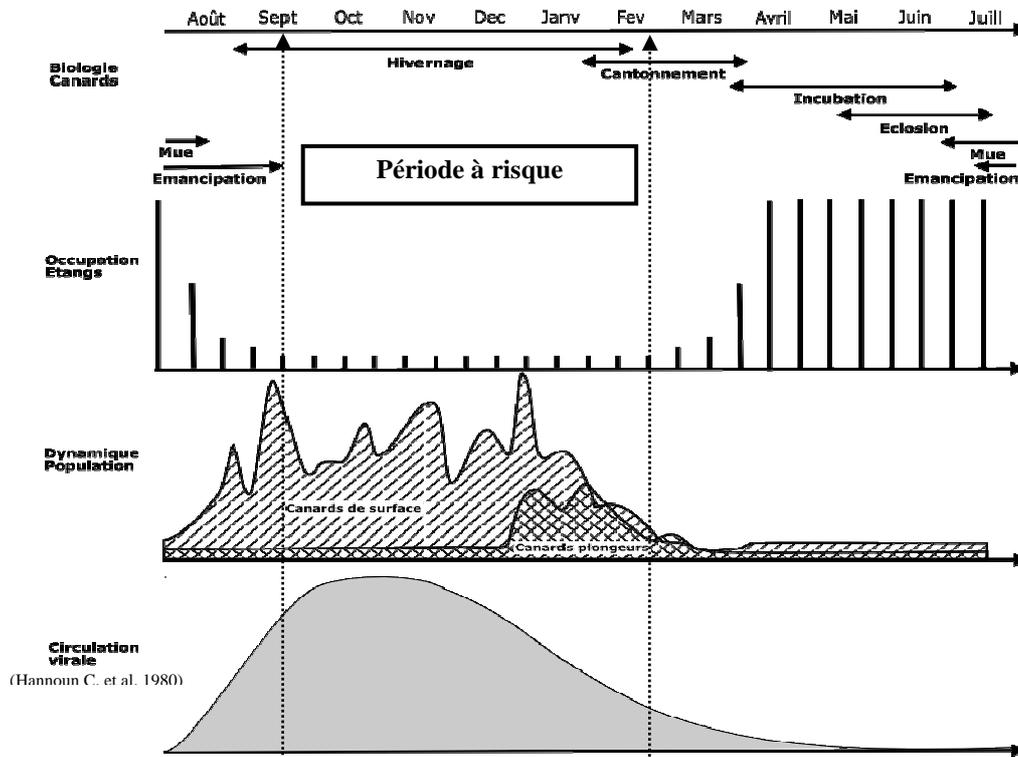
- **Biologie** : pendant l'hiver, la majorité des canards se concentrent le jour sur quelques étangs connus appelés remises<sup>2</sup>, tandis que la nuit ils se divisent en quelques groupes pour se nourrir sur des étangs de gagnage périphériques [Tamisier *et al.*, 1999].
- **Occupation des étangs** : le nombre des étangs utilisés diminue de 60% environ par rapport à la période de reproduction où les couples se dispersent [Bernard, 2005]. Les déplacements quotidiens de la remise aux zones de gagnage, pouvant se faire sur une distance maximale de 15 à 20 km [Hannoun *et al.*, 1980], sont intéressants sur le plan du contact et donc de la transmission des virus.
- **Dynamique de population** : d'après les données fournies par Castanier [2006] sur l'étang remise de Boufflers, deux vagues d'arrivée se succèdent : celle des canards de surface type Colvert dès la fin août, puis celle des canards plongeurs type Fuligule en décembre. Les effectifs chutent ensuite dès le mois de janvier pour atteindre leur minimum au mois de mars.
- **Circulation virale** : elle est différente d'une région à l'autre. En France, nous disposons des données d'Hannoun en Baie de Somme [Hannoun *et al.*, 1980] : un seul pic dans la prévalence virale  $y$  est décrit, au mois d'octobre ; le degré de circulation des virus en période de reproduction, et plus particulièrement à partir de l'éclosion, n'est pas connu.

<sup>2</sup> Les étangs remises principaux de la Dombes sont : le Chapelier (Versailleux), les étangs du parc ornithologique et de la réserve de Villars-les-Dombes, le Grand Birieux et les étangs de la Fondation Vérot (Boufflers et Riquet).

Figure 2

**Période à risque de contact en fonction des caractéristiques des réservoirs.**

Ce schéma récapitule sur différentes strates les principales caractéristiques biologiques des canards sauvages, le pourcentage d'occupation des étangs, les effectifs et l'intensité de la circulation virale au cours d'une année. L'analyse de ces données nous a permis de définir une période à risque de contact entre canards sauvages et volaille dans la transmission des virus Influenza.



Pendant l'hivernage, les canards sont en plus grand nombre, concentrés sur quelques étangs, cette densité importante favorise la circulation virale ; les déplacements quotidiens pourraient permettre de contacts entre oiseaux sauvages et domestiques. De plus, la rareté des ressources alimentaires pourrait favoriser les déplacements locaux des canards et augmenter ainsi la probabilité de rencontre avec les élevages. A la lumière de ces arguments, la période d'hivernage, de septembre à février, nous a semblé la plus pertinente pour l'analyse du contact dans le contexte de la transmission d'influenza aviaire.

**2.3. CALCUL DU RISQUE DE CONTACT**

Nous avons utilisé le logiciel SIG Arcview® version 8.1 (ESRI) pour cartographier les élevages avicoles en Dombes. Nous avons créé des unités élevages en ceinturant chaque élevage d'une zone tampon de 1 km de rayon.

Pour calculer les indices de contact, nous avons utilisé la routine « RISK » (basée sur les formules précédemment citées) développée par Bicout [Bicout, 2006] et implémentée sur MATLAB® 7.0. Pour ce faire, nous avons construit deux fichiers sous format texte (.txt) :

- un fichier appelé « farm.txt » contenant les  $N = 1066$  unités d'élevage dont nous disposons en Dombes (données de la Direction des services vétérinaires de l'Ain), leurs coordonnées et les caractéristiques de leur attractivité (pour des raisons de taille, ce fichier n'a pas été reproduit dans ce texte) ;
- un fichier « sources.txt » contenant les étangs où se trouvent les oiseaux sauvages, leurs coordonnées et la probabilité de présence  $p_s$  des oiseaux sauvages calculée d'après la surface de cinq étangs remises (tableau 2).

Tableau 1

**Détermination des paramètres nécessaires au calcul des indices de contact.**

Les valeurs des paramètres ont été calculées en fonction des caractéristiques du milieu et des élevages, et de la biologie des colverts et des fuligules milouins en Dombes [Simon, 2006].

Paramètres	Définition	Valeur		Unité
		Colvert	Fuligule milouin	
$\sigma_x^{(a)}$	Dispersion selon la direction x	5 ; 10	5 ; 10	km
$\sigma_y$	Dispersion selon la direction y	5	5	km
$b_{elv}$	Poids de l'élevage	0.5	0.5	–
$b_{env}$	Poids de l'environnement	0.5	0.5	–

(a) : Pour l'effet anisotropie de la dispersion des oiseaux sauvages, nous avons utilisé:  $\sigma_x = 10$  km et  $\sigma_y = 5$  km.

Tableau 2

**Détermination de la probabilité de présence d'oiseaux sauvages  $\rho_s$  sur les 5 étangs de remises principaux de la Dombes de décembre à février.**

Distribution (diurne) des canards sur les cinq étangs remises. La probabilité de présence, proportionnelle à la superficie de la remise, est pondérée par la proportion de chacune des deux espèces sur la période d'hivernage (voir 2-1).

Nom de l'étang source	Coordonnée X	Coordonnée Y	$\rho_s$ colvert	$\rho_s$ fuligule
Le Chapelier	814,235	2111,982	0,08909247	0,05939498
Grand Birieux	808,330	2109,542	0,29654374	0,19769583
Fondation Vérot	800,217	2108,321	0,0400526	0,02670173
Parc ornithologique	808,665	2113,763	0,01270943	0,00847295
Réserve ornithologique	807,551	2114,103	0,16160176	0,10773451

Les différents paramètres utilisés sont récapitulés dans le tableau 1. Le programme « RISK » utilise en entrée les fichiers et paramètres comme suit :

RISK(« farm », « sources »,  $b_{elv}$ ,  $b_{env}$ ,  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ , (2) « resultat »)

et donne en sortie un fichier « resultat.txt » contenant les  $R_n^{elv}$ ,  $R_n^{env}$ ,  $Q_n^{elv-env}$  et  $R_n$  pour chaque élevage « n » par rapport à un ensemble de sources de danger.

Afin de tenir compte de la taille relative des communes de la Dombes en nombre d'élevages, nous avons calculé le risque relatif de contact pour chaque commune  $RR_c$  de la

manière suivante. Soit une région de C communes comptant chacune  $N_c$  élevages ( $c = 1, 2, \dots, C$ ). Le risque de contact pour chaque commune  $R_c$  est la somme des risques associés à chaque élevage :

$$R_c = \sum_{n=1}^{N_c} R_n \quad \text{et} \quad RR_c = \frac{R_c}{N_c \langle R \rangle} \quad (3)$$

où  $\langle R \rangle = \sum_{n=1}^N R_n / N$ , est le risque de contact

moyen « moyenné » sur tous les élevages de la zone considérée.

Les détails des calculs sont explicités dans Simon, 2006.

### III - RESULTATS ET DISCUSSION

Les valeurs de risque de contact pour chaque unité d'élevage de la Dombes sont représentées spatialement sur des cartes à l'aide d'Arcview® (figures 3, 4, 5, 6 et 7). L'analyse de ces résultats, à l'échelle de l'élevage (risque de contact) et à l'échelle de la commune (risque relatif de contact), nous a permis d'identifier trois facteurs de risque de contact, présentés ici dans un ordre décroissant d'importance.

#### 1. FACTEURS DE RISQUE

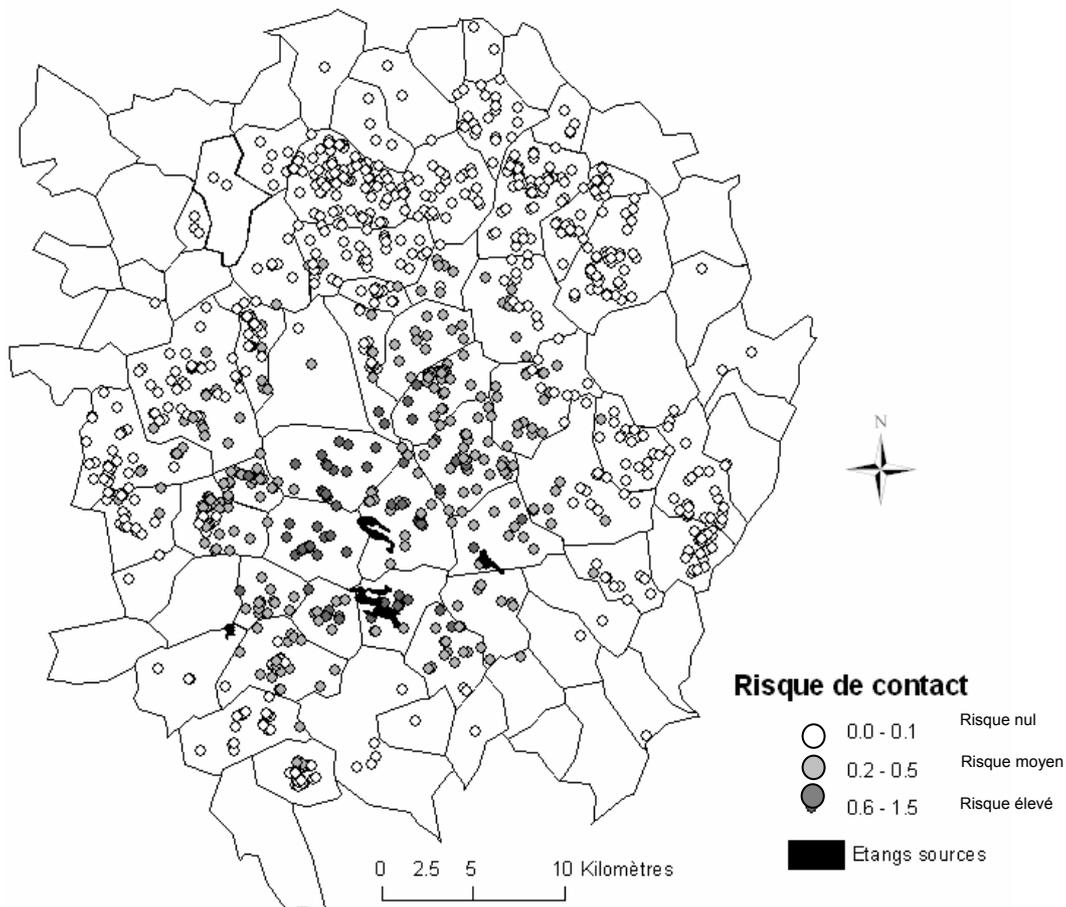
##### 1.1. EFFET PRESENCE ET DISPERSION

De manière générale, on observe une distribution concentrique des valeurs de l'indice de contact, centrée sur les cinq étangs remises, sources de danger (figure 3). Les élevages à risque élevé sont concentrés autour des étangs où la probabilité de présence des canards est la plus importante, et les élevages périphériques ont un risque de contact jugé nul. On voit ici l'importance de la présence des canards sauvages sur la valeur du risque de contact. Pour une meilleure lisibilité, nous avons aggloméré les élevages par commune pour nous intéresser au risque relatif de contact.

Figure 3

#### Risques relatifs de contact des élevages avicoles en Dombes.

On obtient une carte avec des points figurant les élevages de différents niveaux de gris en fonction de la valeur que prend le risque de contact. La distribution du risque de contact assez hétérogène, est concentrique. Les élevages à risque élevé se trouvent au niveau des étangs sources de danger où les canards sauvages sont présents.



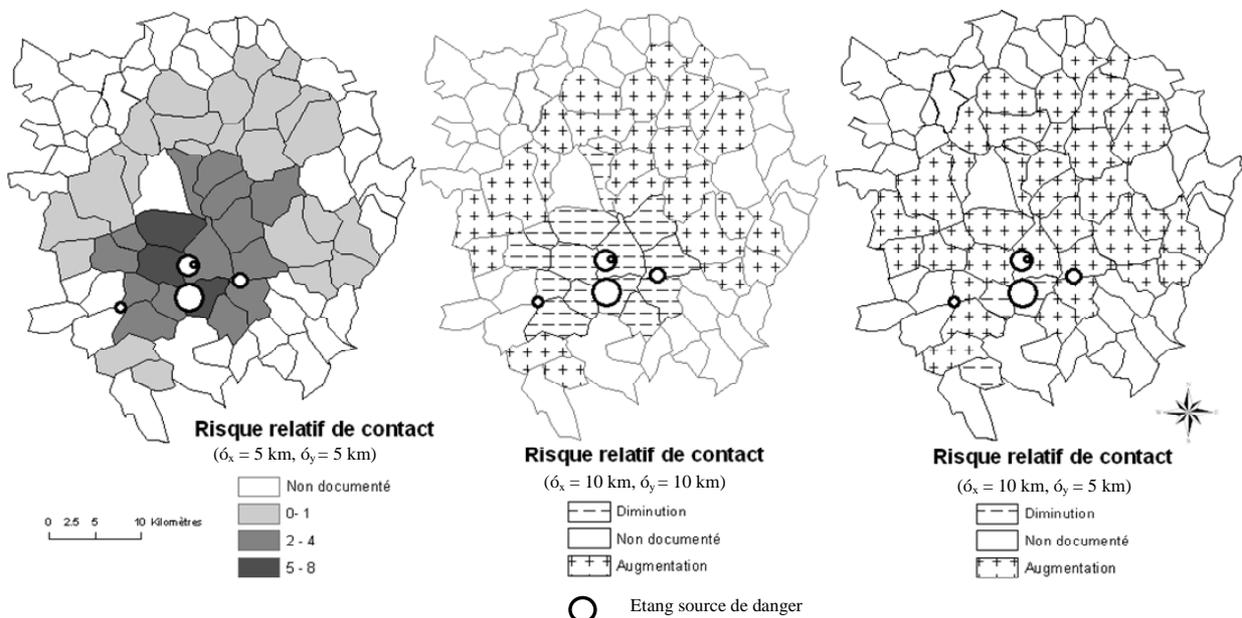
La figure 4 montre l'effet de la dispersion des canards sauvages sur le risque de contact. Lorsque l'on prend une longueur de dispersion des canards sauvages de 10 km, on voit une dilution du risque : celui-ci s'étend et devient moins important à proximité des sources. Cependant, la dispersion des oiseaux n'est pas homogène dans l'espace, nous avons donc calculé l'indice de contact pour une dispersion anisotrope de 10 km suivant l'axe des x et de 5 km suivant l'axe des y. On obtient une carte où l'on voit non seulement le risque s'étendre, mais, en plus, rester très important dans la région des sources. La dispersion des canards sauvages (ou distance aux sources) influence donc nettement la valeur du risque de contact : plus les oiseaux se dispersent loin, plus le risque de contact de

chaque unité augmente. Le caractère hétérogène ou anisotrope de la dispersion semble intéressant à prendre en compte. En effet, un élevage proche des sources de danger peut avoir un indice de contact plus élevé que celui calculé pour une dispersion homogène. Nous avons vérifié la concordance de ces résultats de calcul de risque avec une dispersion des canards sauvages de 5 km de rayon (figure 6). Les élevages à risque élevé sont presque tous contenus à l'intérieur de notre zone dispersive figurée en noire, zone correspondant à la fusion de cercles de rayon égal au rayon de dispersion et centré sur les sources. En revanche, quelques élevages à risque élevé ne sont pas compris dans la zone dispersive, ce qui suggère d'autres facteurs de risque.

Figure 4

#### Effet de la dispersion des oiseaux sauvages sur le risque relatif de contact.

Plus le rayon de dispersion des canards sauvages est important, plus le risque relatif de contact s'étend avec une diminution de sa valeur dans les zones à proximité des sources de danger. Lorsque l'on prend une dispersion hétérogène ou anisotrope, le risque relatif de contact reste élevé près des remises.



La figure 5 nous permet d'évaluer l'importance de chacun des trois termes du risque de contact de la formule (2) précédente.

### 1.2. EFFET ENVIRONNEMENT

La carte du risque relatif environnement ressemble à celle du risque relatif total de contact, avec une dilution centrifuge du risque à partir de la zone centrale des étangs sources (figure 5). Ces résultats montrent la prépondérance de l'environnement par rapport à l'élevage dans le risque de contact. Malgré l'augmentation de la distance aux sources, le risque de contact peut rester élevé du fait d'un fort pouvoir attracteur de l'environnement autour de certains élevages (figure 3). Pourtant, certains élevages qui sont à la même distance des sources et *a priori* dans le même environnement que des élevages à risque moyen voire élevé, ont un risque de contact jugé nul. Ceci suggère l'intervention d'un troisième facteur de risque.

### 1.3. EFFET ELEVAGE

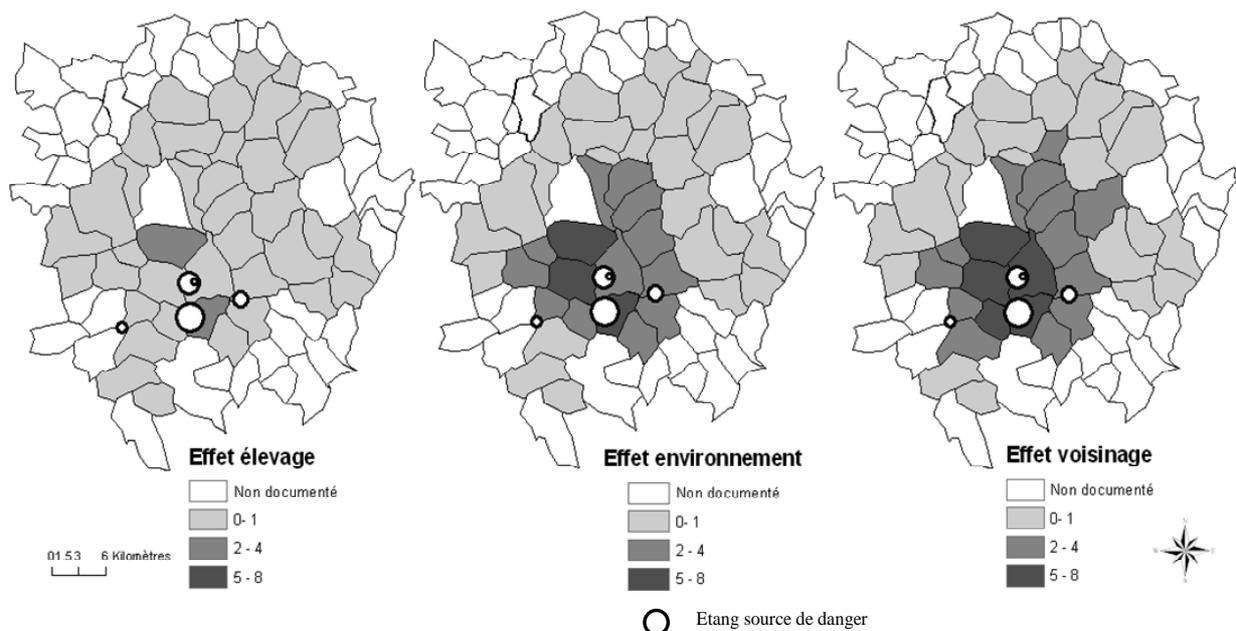
Ce facteur peut jouer un rôle important. Ainsi, un élevage de type enfermé, interdisant en principe tous contacts, peut avoir un risque de contact jugé nul, alors qu'il se trouve près des sources de danger et dans un environnement à fort pouvoir attracteur vis-à-vis des canards sauvages (figure 3). Néanmoins, quand on s'intéresse au risque relatif (figure 5), on s'aperçoit que l'effet de l'élevage semble nul dans toute la Dombes. Il est plus faible que le risque environnement et ne donne aucune information. L'effet de l'élevage est négligeable dans le risque de contact.

On peut remarquer également que les valeurs d'indice de contact lié au voisinage croisé  $Q_n^{elv-env}$  sont élevées autour des étangs sources (figure 5). Les élevages ne sont pas indépendants, leur risque de contact dépend étroitement de leur proximité avec d'autres élevages.

Figure 5

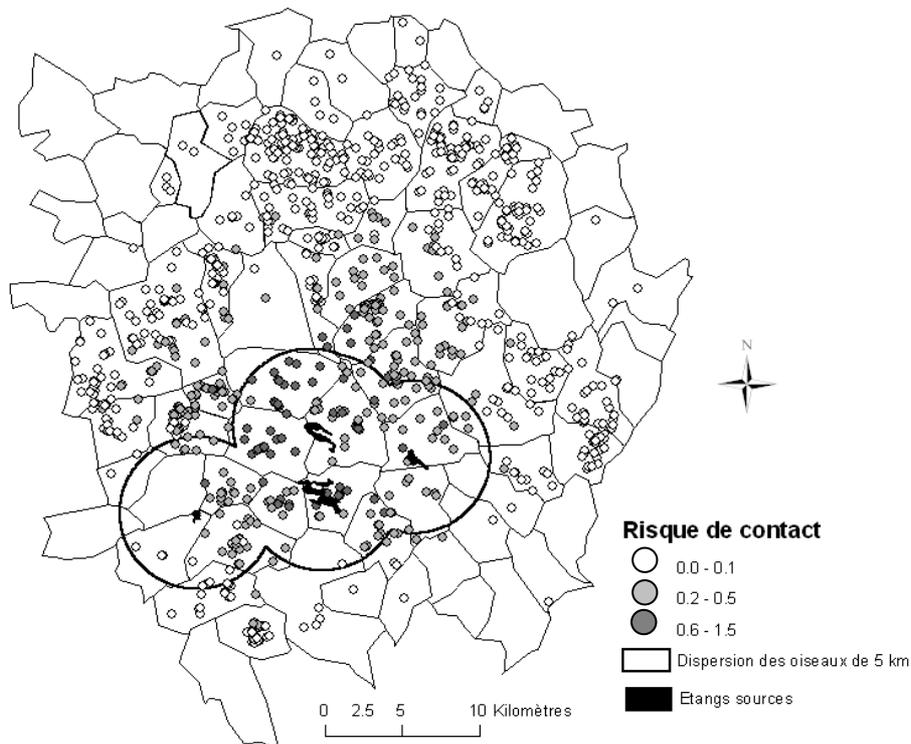
#### Effet des différents composants du risque relatif de contact à l'échelle communale.

L'effet de l'environnement est nettement supérieur à celui de l'élevage, qui *a priori* joue un rôle négligeable dans le risque relatif de contact. La carte de l'effet environnement est très semblable à la carte du risque de contact global, ce qui nous montre l'importance de l'environnement autour de l'élevage. L'effet voisinage croisé majore beaucoup le risque, il semble capital de ne pas considérer les élevages comme indépendants mais faisant partie d'un réseau.



**Figure 6****Comparaison du risque de contact avec un rayon de dispersion des oiseaux sauvages de 5 km.**

La zone dispersive de 5 km figurée en noir prend en compte tous les élevages à risque élevé. Le facteur dispersion des canards sauvages semble donc bien adapté au calcul de l'indice de contact.

**2. ZONES À RISQUE**

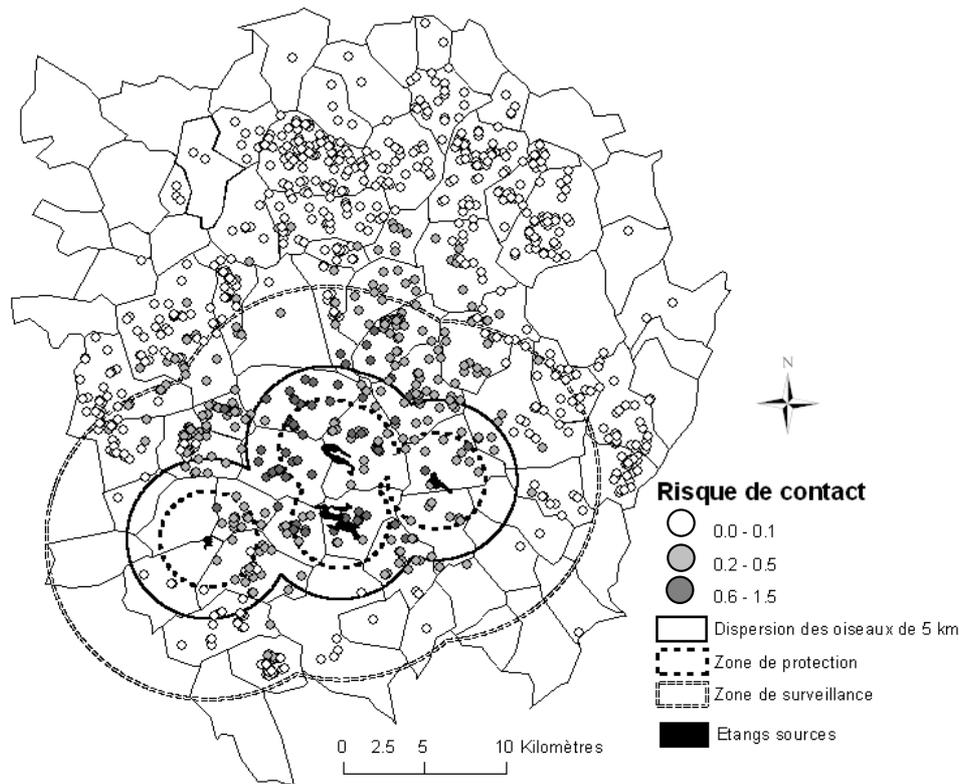
Comparons maintenant ces résultats avec les mesures réglementaires telles qu'elles ont été prises en février 2006 lors de la découverte du foyer d'influenza aviaire dans l'avifaune sauvage (figure 7). Pour mémoire ces mesures consistent en la mise en place de zones de protection et de surveillance respectivement de 3 km et de 10 km minimum autour du foyer. La zone de protection de 3 km de rayon ne prendrait en compte que le tiers des élevages à risque moyen, et surtout, que la moitié des élevages jugés à risque élevé par notre

méthode de calcul. En revanche, la zone de surveillance semblerait bien adaptée à la région définie à risque, même si elle surestime le risque à certains endroits. Par contre, elle le sous-estime au nord de la Dombes. Les élevages qui ont un risque de contact non nul peuvent alors transporter les volailles et le lisier, et surtout déroger à l'obligation de confinement des volailles, mesure importante pour empêcher le contact. Il paraît donc important de prendre en compte l'environnement et les canards sauvages dans la mise en place de mesures réglementaires.

Figure 7

**Comparaison avec les mesures réglementaires mises en place lors d'influenza aviaire.**

La zone définie à risque par notre méthode de calcul semble de manière générale bien correspondre aux rayons de protection et de surveillance mis en place lors de foyer épidémiologique d'influenza aviaire.




---

#### IV – CONCLUSION ET PERSPECTIVES

---

Nous avons mis au point une méthode préliminaire de calcul de risque de contact entre oiseaux sauvages et oiseaux domestiques. Trois facteurs principaux de risque de contact ont été identifiés : la présence et la dispersion des canards sauvages, l'environnement autour de l'élevage et les caractéristiques de l'élevage lui-même.

Plus la qualité des données fournies au modèle est bonne, plus l'analyse du risque de contact sera fine. Dans notre étude, les données élevages n'étaient pas exhaustives et les données environnementales peu précises. Une résolution plus importante des données environnementales (données satellitaires) nous permettrait d'affiner l'analyse des milieux

et ainsi par exemple, de différencier plus nettement les exigences écologiques de différentes espèces pour avoir une carte du risque de contact fonction de l'espèce considérée. Une connaissance plus approfondie de la localisation et du nombre d'oiseaux au niveau des sources permettrait d'avoir une meilleure connaissance de la probabilité de présence  $\rho_s$ . Le développement d'un modèle de prédiction de la taille et de la répartition des oiseaux en Dombes, comme celui développé par le Centre Ornithologique Danois Sovon [Sierdsema *et al.*, 1999], pourrait alors être intéressant.

Cette méthodologie, permettant le calcul d'un rayon efficace de protection, pourrait être utilisée par exemple :

- pour l'aménagement d'élevages avicoles dans des zones qui hébergent des oiseaux sauvages ;
- pour adapter et cibler les mesures de bio sécurité et de police sanitaire en cas d'épizootie.

Couplée au modèle de circulation virale développé par Doctrinal [Doctrinal *et al.*, 2006],

cette modélisation du contact pourrait permettre de caractériser la force d'infection. Le modèle final décrirait alors la propagation spatio-temporelle d'une épizootie de peste aviaire dans la Dombes. Ce modèle ainsi développé est générique, les paramètres utilisés peuvent être modifiés en fonction de nouvelles données ou bien s'adapter à un autre contexte régional que la Dombes. On peut également l'adapter à des virus et à des réservoirs multiples.

---

## BIBLIOGRAPHIE

---

- Alexander D.J. - A review of avian influenza in different bird species. *Vet. Microbiol.*, 2000, **74**(1-2), 3-13.
- Bernard A. - Recensements d'Anatidés nicheurs en Dombes. Année 2005, CORA, 2006.
- Bicout D.J. - Indice ou risque de contact oiseaux sauvages - oiseaux domestiques. 2006, en préparation.
- Campitelli L., Mogavero E., De Marco M.A., Delogu M., Puzelli S., Frezza F., Fachini M., Chiapponi C., Foni E., Cordioli P., Webby R., Barigazzi G., Webster R.G. DONATELLI I. - Interspecies transmission of an H7N3 influenza virus from wild birds to intensively reared domestic poultry in Italy. *Virology*, 2004, **323**(1): 24-36.
- Chen H., Smith G.J.D., Li K.S., Wang J., Fan X.H., Rayner J.M., Vijaykrishna D. - Establishment of multiple sublineages of H5N1 influenza virus in Asia: Implications for pandemic control. *PNAS*, 2005, **103**(8), 2845-2850.
- Deibel R., Emord D.E., Dukelow W., Hinshaw V.S., Wood J.M. - Influenza viruses and paramyxoviruses in ducks in the Atlantic flyway, 1977-1983, including an H5N2 isolate related to the virulent chicken virus. *Avian Dis.*, 1985, **29**(4), 970-85.
- Doctrinal D., Artois M., Sabatier P., Bicout D. - Modélisation du risque d'exposition de la volaille domestique aux virus Influenza aviaire d'origine sauvage. *Epidémiol. et Santé Anim.*, 2006, **50**, 71-81.
- Fouque C., Couvillers J.L. - Enquête sur les dénombrements hivernaux des anatidés et de la foulque macroule: 12 hivers en région Rhône-Alpes. Birieux (01), Réseau nationale: Oiseaux d'Eau et Zones Humides. O. N. d. I. C. e. d. I. F. Sauvage, 2001, 131.
- Halvorson D.A., Kelleher C.J., Senne D.A. - Epizootiology of avian influenza: effect of season on incidence in sentinel ducks and domestic turkeys in Minnesota. *Appl. Environ Microbiol.*, 1985, **49**(4): 914-9.
- Hannoun C., Devaux J.M. - Circulation enzootique permanente de virus grippaux dans la Baie de Somme. *Comp. Immun. Microbiol. Infect. Dis.*, 1980, **3**, 177-183.
- Lu H., Castro A.E., Pennick K., Liu J., Yang Q., Dunn P., Weinstock D., Henzler D. - Survival of avian influenza virus H7N2 in SPF chickens and their environments. *Avian Dis.*, 2003, **47**(3 Suppl), 1015-21.
- Perchet J. - Appréciation du risque d'introduction de l'influenza aviaire par voie commerciale dans le département de l'Ain. Ecole Nationale des Services vétérinaires, Lyon, 2005, 49.
- Sharp G.B., Kawaoka Y., Wright S.M., Turner B., Hinshaw V., Webster R.G. - Wild ducks are the reservoir for only a limited number of influenza A subtypes. *Epidemiol. Infect.*, 1993, **110**(1): 161-76.
- Sierdsema H., Meuleman A., Reijnen R. - Breeding birds in models in landscape planning and nature management in Proceedings Bird Numbers 1998. *Die Vogelwelt*, 1999, **120** suppl., 125-129.
- Simon A. - Modélisation du risque de contact entre oiseaux sauvages et oiseaux

domestiques. Unité EPSP. Unité EPSP-ENVL, Université Joseph Fourier-Grenoble, 2006, 32.

Tamisier A., Dehorter O. - Camargue, canards et foulques. Fonctionnement et devenir d'un prestigieux quartier d'hiver. Nîmes, Centre Ornithologique du Gard, 1999.

Thomas M.E., Bouma A., Ekker H.M., Fonken A.J., Stegeman J.A., Nielen M. - Risk factors for the introduction of high pathogenicity Avian Influenza virus into poultry farms during the epidemic in the

Netherlands in 2003. *Prev. Vet. Med.*, 2005, **69**(1-2), 1-11.

Tracey J.P., Woods R., Roshier D., West P., Saunders G.R. - The role of wild birds in the transmission of avian influenza for Australia: an ecological perspective. *Emu*, 2004, **104**, 109-124.

Webster R.G., Bean W.J., Gorman O.T., Chambers T.M., Kawaoka Y. - Evolution and ecology of influenza A viruses. *Microbiol. Rev.* 1992, **56**(1), 152-79.



## **Remerciements**

Nous remercions la DSV et la DDAF de l'Ain qui nous ont fourni les données « élevages » et « environnementales » sans lesquelles ce travail n'aurait pu être mené à bien. Nous remercions également A. Bernard du CORA Rhône pour son expertise ornithologique en Dombes, et M. B. Castanier (Fondation VEROTS) pour les données de comptage sur l'étang Boufflers.