

OU TROUVE-T-ON LES OISEAUX SAUVAGES AUX ALENTOURS DES ELEVAGES ? RISQUE DE CONTACT OISEAUX SAUVAGES ET VOLAILLES *

Cécile Gotteland ¹, Sophie Lubac ² et Dominique J. Bicout ¹

RESUME

De par sa situation géographique et son environnement, la région de la Dombes rassemble à la fois des espèces d'oiseaux sauvages sédentaires et migratrices, et plusieurs élevages de volailles ayant accès à un parcours extérieur. C'est dans cette région que sont apparus les premiers cas d'IAHP en France en février 2006. Le rôle des espèces d'oiseaux sauvages d'eau comme réservoir du virus IAHP est aujourd'hui établi. Cependant, de récentes études ont montré que le virus IAHP pouvait également atteindre d'autres espèces d'oiseaux sauvages considérées alors comme des espèces relais dans la transmission du virus entre les espèces d'oiseaux d'eau et les oiseaux domestiques. C'est dans ce contexte d'évaluation du risque de contamination de l'avifaune domestique par l'avifaune sauvage que s'inscrit ce travail de recherche.

Cette étude a pour objectif d'estimer, pour une structure environnementale dans un écosystème donné, quelles sont les espèces d'oiseaux sauvages qui fréquentent les alentours immédiats des élevages, et quelle serait la probabilité de fréquentation des unités écologiques, y compris du parcours de volailles, par les oiseaux sauvages. Pour ce faire, des observations ornithologiques ont été conduites pendant le printemps 2008 sur dix sites d'élevages de la région de la Dombes. La présence d'une espèce d'oiseau, traduite par un nombre de contacts par unité écologique, a été analysée selon un modèle linéaire généralisé et par modélisation bayésienne. Les résultats obtenus permettent de caractériser chaque unité écologique de chaque site par son attractivité ou la probabilité de fréquentation de cette unité pour différentes espèces d'oiseaux. On observe de manière générale que :

- L'attractivité des parcours de volailles est plus élevée que celle des autres unités écologiques,
- L'attractivité des parcours de volailles est très faible pour les oiseaux d'eau, et
- La probabilité de fréquentation des parcours de volailles la plus élevée est obtenue pour les passereaux.

Ces résultats nécessitent d'être complétés par des études de présence et détection de chaque espèce d'oiseau dans chaque site.

Mots-clés : Facteurs environnementaux, avifaune sauvage, volailles, probabilité de contact, Dombes.

.../...

* Texte de la communication orale présentée au cours des Journées scientifiques AEEMA-AESA, 4-5 juin 2009

¹ Unité Biomathématiques et Epidémiologie, Laboratoire TIMC-EPSP UMR5525, Ecole nationale vétérinaire de Lyon, Université de Lyon, 1 av Bourgelat, 69280 Marcy l'Etoile, France
cecile.gotteland@orange.fr ; d.bicout@vet-lyon.fr

² Institut technique de l'aviculture (ITAVI), AGROPOLE, 23 rue Baldassini, 69364 Lyon Cedex 07, France

.../...

SUMMARY

Thanks to its geographical location and environment, the Dombes region brings together sedentary and migratory wild birds, and a number of free-range poultry in breeding farms. The first cases of IAHP in France appeared in this particular region in February, 2006. The role of waterfowls as reservoir for the IAHP virus is well recognized nowadays. However, recent studies indicate that the IAHP virus may also affect other wild bird species then regarded as bridging species in transmission of the virus between waterfowls and domestic species. Our study was designed to evaluate the risk of contagion of the domestic avifauna by the wild avifauna. The aim of this study is to estimate, for an environmental structure in a given ecosystem, which wild bird species use to visit the close surroundings of breedings, and what is the probability of visiting the ecological units, including the poultry outdoor living area, by wild birds.

The available data were the ornithological observations of the attendance of ten sites poultry farms in Dombes area in spring 2008. The presence of every species measured with a number of contacts for each species and for each ecological unit frequented was analyzed statistically using a generalized linear model and bayesian modeling. Results allow on a first step, to visualize the attractiveness and the probability of frequentation of each ecological unit, of each site, for different birds species. In general, we observe that:

- The attractiveness of poultry living area is larger than that of the other ecological units,
- The attractiveness of poultry living is very low for waterbirds, and,
- The highest probability of frequentation of poultry living was found for passerine.

These results require to be completed by studies of presence and detection of each species of bird in each site.

Keywords: Environmental factors, Wild birds, Poultry, Contact probability, Dombes.



I - INTRODUCTION

Le virus influenza de type A (IA ou Influenza Aviaire) appartient aux virus influenza, de la famille des *Orthomyxoviridae*. Ces virus de type A, d'origine aviaire, sont des virus à ARN simple brin codant pour onze protéines virales. Parmi ces onze protéines virales, on distingue notamment deux protéines virales d'enveloppe : l'hémagglutinine (HA ou H) et la neuraminidase (NA ou N). Ces protéines définissent les sous-types. On recense actuellement 16 sous-types H et 9 sous-types N [Alexander, 2006]. Les virus sont ainsi caractérisés par leur sous-types H et N, et l'on obtient alors jusqu'à 144 combinaisons possibles, la plus connue étant la combinaison H5N1. Les virus influenza A sont classés selon l'une des deux formes de pathogénicité :

faiblement pathogène (FP) ou hautement pathogène (HP). On parle alors de virus Influenza A Hautement Pathogène (IAHP) ou virus Influenza A Faiblement Pathogène (IAFP). Le caractère faiblement ou hautement pathogène des souches est déterminé par des tests effectués sur des poulets (*Gallus gallus*). A ce jour, seul les virus des sous-types H5 et H7 peuvent muter et devenir hautement pathogènes, quel que soit leur sous-type N associé [Perdue *et al.*, 1998].

Si les espèces de volailles sont particulièrement sensibles au virus IA (chute brutale de la ponte, augmentation de la mortalité dans la majorité des cas d'infection au virus FP, mort brutale sans signes cliniques associés pour les cas d'infection au virus HP

[Alexander *et al.*, 1978]), la majorité des virus H5 et H7 HP ne représentent pas un caractère létal pour les espèces d'oiseaux d'eau [Alexander, 2000 ; Ellis *et al.*, 2004 ; Gaidet *et al.*, 2008]. Aujourd'hui, les études sur le rôle des oiseaux sauvages aquatiques de l'ordre des Anseriformes (canards, cygnes,...) et des Charadriiformes (oiseaux de rivage, mouettes) dans l'épidémiologie de l'IA sont nombreuses, cependant les connaissances sur le rôle de nombre d'autres espèces d'oiseaux sauvages dans la transmission du virus aux élevages de volailles, nécessitent davantage d'investigations. Quelques études ont montré que certaines espèces de passéridés et de psittacidés pouvaient être porteuses du virus IA, incluant le virus HP, et pouvaient alors participer à la perpétuation du virus H5N1 [Perkins *et al.*, 2003]. Par conséquent, et au vu des connaissances épidémiologiques, il s'avère aujourd'hui important de considérer l'ensemble des espèces d'oiseaux sauvages, qu'elles soient réservoir du virus IAFP, porteurs sains 'potentiels' du virus IAHP, ou espèces dites « relais », comme autant d'espèces pouvant entrer en contact avec les oiseaux d'élevage et représenter ainsi, des sources potentielles d'introduction et de contamination des oiseaux d'élevage.

En France, les régions de la Dombes, de Bresse, les pays de Loire et le Sud Ouest sont particulièrement exposées au risque de contamination des élevages de volailles par les oiseaux sauvages. Un projet, initié par l'Institut technique de l'aviculture (ITAVI), a pour but de modéliser le risque épidémiologique d'influenza aviaire vis-à-vis des élevages de volailles ayant accès à une zone de plein air où circulent les volailles pendant la journée (où parcours de volaille extérieur), dans ces quatre régions françaises. C'est dans le cadre de ce projet que s'inscrit cette étude sur la région de la Dombes.

La région de la Dombes, située au nord-est de Lyon, avec près de 1 400 étangs, rassemble plus de 20 000 oiseaux d'eau (anatidés et foulques) sur les trois mois de décembre, janvier, et février. De par ses caractéristiques climatiques, écologiques et géographiques, la région de la Dombes héberge également une avifaune sédentaire importante. L'élevage est également très marqué sur l'ensemble de cette région avec essentiellement les filières « Label Rouge » et filière AOC « poulet de Bresse », et également un nombre important de basses-cours individuelles. Du fait de la localisation des élevages sur l'un des axes majeurs de migration d'oiseaux à travers la France, il existe un risque d'introduction du virus IA sur le territoire Dombiste, et qui plus est, un risque de contamination de l'avifaune sédentaire présente sur ce même territoire, par les oiseaux sauvages. Par ailleurs, la caractéristique « plein air » de certains élevages est facteur favorisant des contacts entre les oiseaux d'élevage et les oiseaux sauvages ce qui constitue un facteur de risque dans la transmission du virus IA aux volailles [Alexander, 2000 ; Webster, 1998]. Les activités humaines constituent également un risque très important d'introduction du virus IA au sein des élevages, mais cet aspect de la contamination ne sera pas abordé dans cette étude. Si la transmission du virus IA a lieu par contacts directs ou indirects, la fréquence de ces contacts nécessite une certaine proximité entre les oiseaux sauvages et les oiseaux d'élevage. C'est cette proximité, ou comment les oiseaux se répartissent autour d'un élevage de volailles que cette étude va chercher à modéliser. Notre objectif est de déterminer la probabilité de fréquentation d'un parcours des volailles, ainsi que des différentes unités écologiques avoisinantes, par les oiseaux sauvages.

II - MATERIELS ET METHODES

1. META-COMMUNAUTE D'UNITES A RISQUE

Considérons un écosystème constitué d'une population d'oiseaux sauvages en interaction avec un ensemble de sites d'élevages « s », avec $s = 1, 2, \dots, S$. Chaque site d'élevage est considéré comme une unité à risque du point de vue des contacts oiseaux sauvages – volailles. Ce système peut être décrit comme

une structure de méta-communauté [Leibold *et al.*, 2004] d'unités à risque où :

- Chaque unité à risque « s » représente une communauté de $i = 1, 2, \dots, I_s$ unités écologiques, avec une diversité paysagère (nombre d'unités écologiques distinctes), en interactions avec E_s espèces d'oiseaux sauvages. Les unités écologiques pouvant être considérées comme des unités

fonctionnelles de types de végétations ou de classes d'utilisation homogène du sol.

- Chaque unité écologique « i » dans chaque unité à risque « s » est contactée par $n_{e,s,i}$ oiseaux sauvages d'espèces « e » ($e = 1, 2, \dots, E_s$) tel que le nombre total de contacts des oiseaux d'espèces « e » dans l'unité à risque « s » est égal à :

$$N_{e,s} = \sum_{i=1}^{I_s} n_{e,s,i}.$$

- Les mouvements des oiseaux sauvages sont décrits par une diffusion entre unités écologiques d'une même communauté (diffusion intra-communauté) et des flux d'échanges entre les communautés et le réservoir global de la méta-communauté.

Les deux ingrédients importants du système sont : l'environnement (pour le spatial) matérialisé par l'unité écologique caractérisée par sa nature, surface et sa probabilité de fréquentation (pour l'interaction oiseau – milieu), et l'oiseau sauvage caractérisé par son comportement (aspects biologiques) et sa dynamique de diffusion (pour le temporel) dans l'environnement considéré.

Pour cette étude, nous allons considérer que le système se trouve dans une situation stationnaire pour les mouvements des oiseaux sauvages si bien que nous n'allons nous restreindre qu'à la composante spatiale et environnementale des contacts des oiseaux avec les unités écologiques. Dans ces conditions, la quantité intéressante clef qui permet de caractériser l'interaction oiseau – milieu est la probabilité de fréquentation $\kappa_{e,s,i}$ ou l'attractivité relative d'une unité écologique « i » du site « s » pour les oiseaux d'espèce « e », avec par définition,

$$\sum_i \kappa_{e,s,i} = 1.$$

Dans l'approximation stationnaire, le nombre des contacts $n_{e,s,i}$ est relié en moyenne à $\kappa_{e,s,i}$ par la relation,

$$n_{e,s,i} = \kappa_{e,s,i} N_{e,s} \quad (1)$$

Par ailleurs, lorsqu'on fait des observations de terrain et qu'on désigne par $m_{e,s,i}$ le nombre de contacts observés des oiseaux sauvages d'espèces « e » avec l'unité écologique « i » de la communauté « s » tel que le nombre total

de contacts observés des oiseaux d'espèces « e » dans l'unité à risque « s » soit égal,

$$O_{e,s} = \sum_{i=1}^{I_s} m_{e,s,i},$$

on peut alors écrire, en moyenne, la relation suivante,

$$m_{e,s,i} = \kappa_{e,s,i} p N_{e,s} = \kappa_{e,s,i} O_{e,s} \quad (2)$$

où p désigne, pour un même observateur régulier, la probabilité qu'un tel observateur de détecter les contacts dans un écosystème donné. Cette probabilité p dépend à la fois de la détectabilité des espèces d'oiseaux dans les conditions des milieux considérés et de l'effort de prospection de l'observateur dans les mêmes conditions des milieux échantillonnés. Pour simplifier, nous avons supposé dans l'équation (2) que la probabilité p était homogène et identique pour toutes les espèces. Sous cette hypothèse, l'équation (2) nous permet donc d'estimer $\kappa_{e,s,i}$ à partir des observations de terrain sans nécessairement déterminer p (en prenant les précautions d'homogénéité pour p). Ce sera l'objet de la suite.

Pour ce faire, rappelons que l'attractivité relative $\kappa_{e,s,i}$ d'une unité écologique donnée parmi d'autres est une fonction de l'attractivité intrinsèque ou propre (qui dépend en outre de la nature ou type du milieu et de la réponse de l'oiseau considéré à ce milieu), de la taille (surface, par exemple) et forme (quasi-circulaire ou allongée), et de sa place relative aux autres milieux dans un complexe (configuration ou structure spatiale des unités écologiques dans le système considéré).

2. APPLICATION A LA REGION DE LA DOMBES

2.1. ZONE D'ETUDE ET SITES D'ETUDES

L'étude s'est déroulée dans la région de la Dombes, située au Nord Est de Lyon.

Dix sites d'étude répartis en différents points de la région de la Dombes ont été suivis. A chaque site d'étude correspondait un parcours de volaille et ses unités écologiques avoisinantes. Des lettres ont été attribuées aux sites d'étude afin de respecter l'anonymat des sites. Chaque site a fait l'objet d'un protocole de relevés ornithologiques au cours duquel deux types d'informations étaient recueillies : les comptages ornithologiques, et les données

environnementales, c'est-à-dire celles caractérisant l'élevage et son environnement immédiat. L'ensemble des sites a été prospecté sur une année entière, découpée en saisons.

La période d'étude concerne la période de fin de saison d'hivernage, avec les comptages des mois de janvier, février, et mars 2008. Les comptages ornithologiques étaient réalisés la journée de manière à comptabiliser uniquement les espèces diurnes, c'est-à-dire, celles pouvant se trouver au contact des volailles qui ne se trouvent sur le parcours qu'entre le lever et le coucher du soleil.

2.2. DONNEES ENVIRONNEMENTALES

Pour chaque site « s », les unités écologiques (UE) incluses dans un rayon de 350 mètres à partir du barycentre du parcours de volaille (PV) ont été identifiées et numérotées sur un plan de masse. Les surfaces, en hectares, étaient ensuite évaluées par logiciel cartographique ArcView®.

2.3. DONNEES ORNITHOLOGIQUES

A chaque site d'élevage correspond un « parcours de volaille ». Ce terme désigne le périmètre dans lequel circulent les volailles d'élevage au cours de la journée. Pour chaque site d'élevage trois jours étaient nécessaires pour réaliser des comptages ornithologiques.

- Jour 1 : reconnaissance du site et des unités écologiques, avec le repérage du tracé du cheminement de l'ornithologue,
- Jours 2 et 3 : deux jours de suivi espacés de 10 jours au maximum afin de rester dans des conditions climatiques les plus similaires possibles. La trace du circuit réalisé par l'ornithologue était géoréférencée avec un système de positionnement global (GPS).

Pour chaque jour de suivi, un comptage était effectué au lever du soleil sur le parcours de volaille, puis au cours de la matinée, sur le cheminement extérieur traversant les diverses unités écologiques à la périphérie de l'élevage, et de nouveau un comptage en fin de matinée sur le parcours de volaille. L'opération était répétée l'après-midi.

Pour tous les sites prospectés, les oiseaux d'élevage avaient accès au parcours de volaille pendant les jours de comptage ornithologique.

Une espèce d'oiseau vue ou entendue par l'ornithologue correspondait à un « contact », visuel ou auditif. Pour chaque espèce contactée, ont été notées la date d'échantillonnage du site, l'unité écologique où le contact avait eu lieu et si celui-ci avait eu lieu le matin ou l'après-midi. Une espèce contactée pouvait être vue ou entendue par l'ornithologue sur une distance de 150 mètres. Du fait du cheminement de l'ornithologue à l'intérieur du site d'étude de 350 mètres de rayon, certains oiseaux étaient contactés dans une UE dont la surface totale pouvait dépasser le cercle de 350 mètres de rayon. L'intégralité de la surface d'une UE où avaient lieu les contacts était comptabilisée, à partir du moment où cette UE était incluse dans le cercle des 350 mètres de rayon.

3. MODELISATION BAYESIENNE DE LA PROBABILITE DE FREQUENTATION

Le modèle statistique que nous avons utilisé pour estimer les probabilités de fréquentation permet de prendre en compte l'hétérogénéité spatiale et la dépendance du type des UE. Pour ce faire, nous avons procédé en deux étapes.

3.1. SELECTION DES VARIABLES EXPLICATIVES SIGNIFICATIVES

Cette première étape a pour objectif de sélectionner les variables explicatives significatives pour les contacts des oiseaux avec les unités écologiques. Soit $m_{e,s,i}$ le nombre de contacts observés des oiseaux d'espèces « e » avec les unités écologiques « i » dans un site « s » donné. Nous avons considéré le modèle linéaire généralisé (glm) suivant,

$$\log(m_{e,s,i} + 1) = \alpha_{0,e,s,i} + \alpha_{1,e,i} A_{s,i} + \alpha_{2,e,i} T_i + \alpha_{3,e,i} T_i \times A_{s,i} \quad (3)$$

où les variables explicatives sont $A_{s,i}$ l'aire de l'unité « i » du site « s », T_i le type de l'unité « i », et $\alpha_{k,e,i}$ les coefficients du glm. Pour chaque espèce d'oiseaux, les variables explicatives qui seront incluses dans l'étape 2 sont celles dont le $\alpha_{k,e,i}$ associé est significatif. En ce qui concerne la variable type d'unité écologique, nous avons construit une matrice dont les éléments sont, $C_{e,i} = 1$ lorsque $\alpha_{2,e,i}$ est significatif et $C_{e,i} = 0$ autrement.

3.2. MODELISATION BAYESIENNE

Pour chaque site d'étude « s » composé de I_s unités écologiques, nous avons utilisé un modèle multinomial-logistique dans lequel les nombres de contacts observés $m_{e,s,i}$ suivent une distribution multinomiale,

$$\text{Multinomial}(\kappa_{e,s}, O_{e,s}) ; \quad (4)$$

$$\kappa_{e,s} = (\kappa_{e,s,1}, \kappa_{e,s,2}, \dots)$$

où $O_{e,s} = \sum_{i=1}^N m_{e,s,i}$ est le nombre total de contacts observés des oiseaux d'espèce « e »

dans le site « s » et $\kappa_{e,s,i}$ (avec $\sum_{i=1}^{N_s} \kappa_{e,s,i} = 1$)

désigne l'attractivité relative (ou probabilité de fréquentation) de l'unité écologique « i » du site « s » pour les oiseaux d'espèce « e ». Pour chaque unité écologique du même site, l'attractivité relative associée est décrite par la relation,

$$\left\{ \begin{array}{l} \kappa_{e,s,i} = \frac{\phi_{e,s,i}}{\sum_{i=1}^{N_s} \phi_{e,s,i}} \\ \log(\phi_{e,s,i}) = \beta_{0,i} + \beta_1 A_{s,i} + \beta_2 C_{e,i} \\ \quad + \beta_3 C_{e,i} \times A_{s,i} + u_{s,i} + v_{s,i} \end{array} \right. \quad (5)$$

où $A_{s,i}$ est l'aire de l'unité « i » du site « s » et $C_{e,i}$ (obtenu à partir du glm dans l'étape 1) est le code de l'unité « i » pour les oiseaux d'espèce « e ». Les $\beta_{0,i}$ et β_k , associés aux co-variables aire et type ou nature de l'unité écologique, sont générés à partir de la distribution a priori non-informative Gaussienne de moyenne nulle et écart type de 100.

Les unités écologiques « parcours de volaille » ont été prises pour référence, i.e. $\beta_{0,i} = 0$, afin d'assurer l'identification des paramètres du modèle.

Les variables u_i et v_i correspondent à la prise en compte de la variation structurée spatialement et non-spatiale des probabilités de fréquentation. Pour chaque unité écologique, la composante hétérogénéité (non spatiale) de la fréquentation est considérée comme distribuée selon une loi normale de moyenne nulle et d'écart type, σ_v , i.e., $v_i \sim$

$N(0, \sigma_v^2)$. Quant à la composante spatiale, qui prend en compte la configuration des unités écologiques dans le site, elle suppose que les unités écologiques géographiquement proches ont tendance à être similaires du point de vue de la fréquentation. Cet aspect des choses est pris en compte par le modèle Gaussien auto régressif conditionnel où la distribution des valeurs u_i de l'unité « i » conditionnellement à celles u_j de ces voisins est donnée par la loi normale suivante :

$$(u_i | u_{j \neq i}) \propto N\left(\frac{\sum_{j \neq i} w_{ij} u_j}{\sum_{j \neq i} w_{ij}}, \frac{\sigma_u^2}{\sum_{j \neq i} w_{ij}}\right) \quad (6)$$

où w_{ij} sont les éléments de la matrice des adjacences définies par $w_{ij} = 1$ lorsque les unités « i » et « j » sont adjacentes, et $w_{ij} = 0$ autrement. Les paramètres σ_v (hétérogénéité non spatiale) et σ_u (composante spatiale) sont des variables aléatoires dont l'inverse est de distribution Gamma (0.5, 0.0005).

Les estimations des probabilités de fréquentation ont été réalisées avec le logiciel WinBugs®³ pour un nombre d'itérations total de 30 000 avec une phase de convergence (contrôlée préalablement graphiquement) obtenue au terme de 10 000 itérations.

Les résultats obtenus correspondent à la moyenne de ces itérations. L'ensemble des données cartographiques, ainsi que le rendu des résultats ont été obtenu via l'utilisation du logiciel SIG ArcView® version 9.1.

³ WinBUGS v1.4, Imperial College and Medical Research Council, London, UK

III – RESULTATS

1. GROUPES D'ESPECES ET VARIABLES EXPLICATIVES

Quatre vingt deux espèces d'oiseaux différentes (tableau 1) ont été contactées au moins une fois, sur l'ensemble des 10 sites d'étude. Ces espèces se répartissent dans 14 ordres et 32 familles différentes. Le nombre de contacts par espèce varie de 1 à 1 769 toutes unités écologiques confondues, dans tous sites confondus.

En raison du faible effectif, et par conséquent du manque de puissance statistique, la probabilité de fréquentation des différentes UE n'a pu être calculée pour chaque espèce. Nous avons alors regroupé les espèces d'oiseaux par catégories à partir d'une revue de la littérature [EFSA, 2006 ; Lebreton *et al.*, 1991].

Un premier groupe d'espèces, celui des « **Oiseaux d'eau** », regroupe les oiseaux des ordres des : Ansériformes, Gaviiformes, Péléciformes, Ralliformes, et Lariformes. Il s'agissait de pouvoir regrouper dans un même groupe des espèces connues comme réservoir de virus IA, et dont les habitats préférentiels étaient quasiment exclusivement des unités écologiques aquatiques (étangs, marais, roselière, rivière).

Un second groupe, rassemble toutes les espèces d'oiseaux appartenant à l'ordre des **Passériformes**, du fait du nombre important de ces espèces.

Le groupe « **Autres** » rassemble les espèces, dont les faibles effectifs ne permettaient pas de les différencier par ordre, à savoir : les ciconiiformes, colombiformes, falconiformes, piciformes, charadriiformes, coraciiformes, galliformes, strigiformes.

Pour le groupe rassemblant toutes les espèces de l'ordre des passériformes, un modèle linéaire généralisé a été réalisé afin de voir qu'elles étaient les types d'unités écologiques significativement associées à la présence de ces espèces. Pour le modèle retenu (critère d'Akaike = 259,58), les types d'unités écologiques significativement liées à une augmentation du nombre de contacts des espèces appartenant au groupe des passériformes ont été affectés du coefficient $C_{e,i} = 1$, tandis que les autres étaient affectés du coefficient $C_{e,i} = 0$. L'augmentation du nombre de contacts, donnée par le coefficient α_i est obtenue en prenant pour référence l'UE « prairie pâture » du fait que le nombre total de

contacts de cette UE est le nombre médian parmi l'ensemble des contacts totalisés dans les différents types d'UE. Cette analyse préalable nous permet d'observer une augmentation du nombre de contacts lorsqu'il y a une augmentation de la surface de l'UE (quel que soit le type d'UE.)

Concernant le groupe « Oiseaux d'eau », un modèle linéaire généralisé n'était pas pertinent du fait de la spécificité des unités écologiques où les espèces étaient contactées. L'ornithologue a comptabilisé, tous sites confondus, 817 contacts d'espèces de ce groupe dans l'UE « étang », sur un total de 840 contacts pour ces mêmes espèces, sur la totalité des UE. Soit plus de 97% des contacts recensés pour ces espèces étaient localisés sur les étangs. Par conséquent seule l'unité écologique « étang » était codée 1, soit $C_{e,i}$, ou $C_{\text{oiseaux d'eau, étang}} = 1$. Aucun code n'a été attribué du fait de la diversité des espèces du groupe « **Autres** » et du faible effectif total des contacts dans les différentes UE.

2. PROBABILITE DE FREQUENTATION DES UNITES ECOLOGIQUES

2.1. PROBABILITE DE FREQUENTATION DES PARCOURS DE VOLAILLE

Chaque site d'étude, identifié par une lettre, comporte au moins un parcours de volaille. L'attractivité (ou probabilité de fréquentation) des parcours de volaille pour les différents groupes d'espèces est donnée par la figure 1. Cette attractivité est obtenue après un lissage bayésien et tient compte de la configuration des UE voisines et de leurs fréquentations. Les résultats obtenus en figure 1, ne permettent pas de visualiser l'attractivité des PV vis-à-vis des oiseaux d'eau en raison des très faibles valeurs des $\kappa_{\text{oiseaux d'eau, s, pv}}$ obtenues

($\kappa_{\text{oiseaux d'eau, s, pv}} < 10^{-9}$). En revanche l'attractivité des parcours varie très nettement selon les groupes d'espèces « Passériformes » et « Autres ». Les probabilités de fréquentation pour les espèces de l'ordre des passériformes, soit $\kappa_{\text{passeriformes, s, PV}}$, sont comprises entre 0,02 et 0,71 avec $\kappa_{\text{passeriformes, s, PV}}$ maximale pour le parcours du site J. Les probabilités de fréquentation pour les autres espèces, soit

$\kappa_{\text{autres},s,\text{PV}}$ vont de 10^{-9} à 0,56 avec $\kappa_{\text{autres},s,\text{PV}}$ maximale pour le parcours du site I.

Excepté pour les sites E et I, les valeurs des $\kappa_{e,s,\text{PV}}$ sont toujours plus élevées pour les espèces des passériformes que pour les espèces autres. On observe également que le PV du site D est attractif pour les passériformes mais ne l'est pas pour les espèces « Autres » ($\kappa_{\text{autres},D,\text{PV}} < 10^{-9}$). Globalement les PV ne sont que faiblement fréquentés par les espèces « Autres » : $\kappa_{\text{autres},D,\text{PV}} > 0,2$ pour les PV des sites I et J, en revanche, pour les espèces des passériformes, seuls les PV des sites E et F ont des probabilités de fréquentation inférieures à 0,2 ($\kappa_{\text{passériformes},A,\text{PV}} = 0,03$ et $\kappa_{\text{passériformes},E,\text{PV}} = 0,023$). Le PV du site E, fait

figure d'exception avec des probabilités de fréquentation pour toutes les espèces d'oiseaux inférieures à 0,1.

2.2. RENDU SPATIAL DES PROBABILITES DE FREQUENTATION

Pour chacun des dix sites d'étude, les attractivités $\kappa_{e,s,i}$ sont obtenues sous Winbugs, puis intégrées aux cartes (sous ArcView) afin de visualiser les attractivités des UE prises individuellement. La figure 2 représente un site avec les probabilités de fréquentation vis-à-vis des différents groupes d'espèces. Pour plus de visibilité, seules les probabilités supérieures à 0,1 sont représentées. Ces représentations permettent de visualiser et de distinguer la diversité paysagère ainsi que le nombre total d'UE et de type d'UE.

Figure 1

Probabilité de fréquentation des parcours de volailles des 10 sites d'étude selon les groupes d'espèces ($\kappa_{e,s,\text{PV}}$)

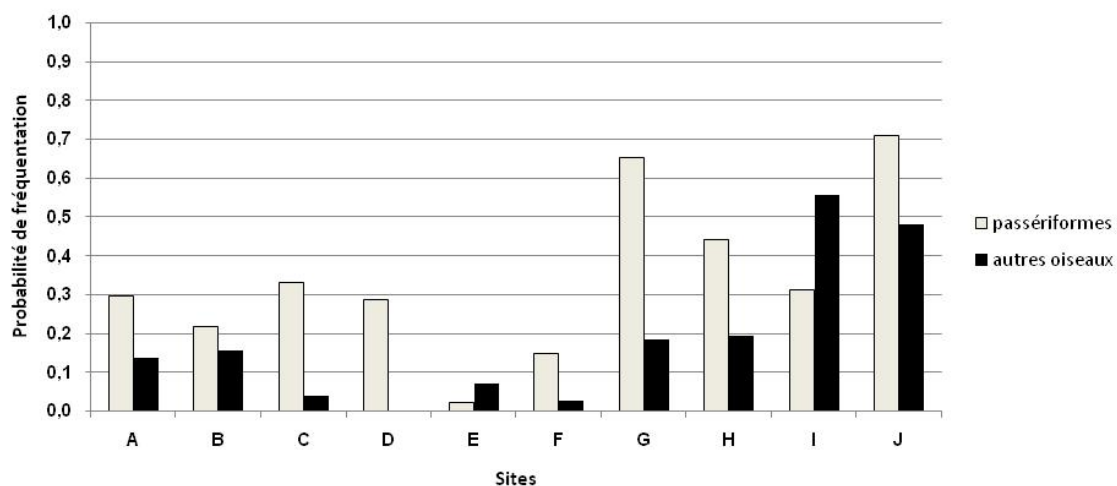
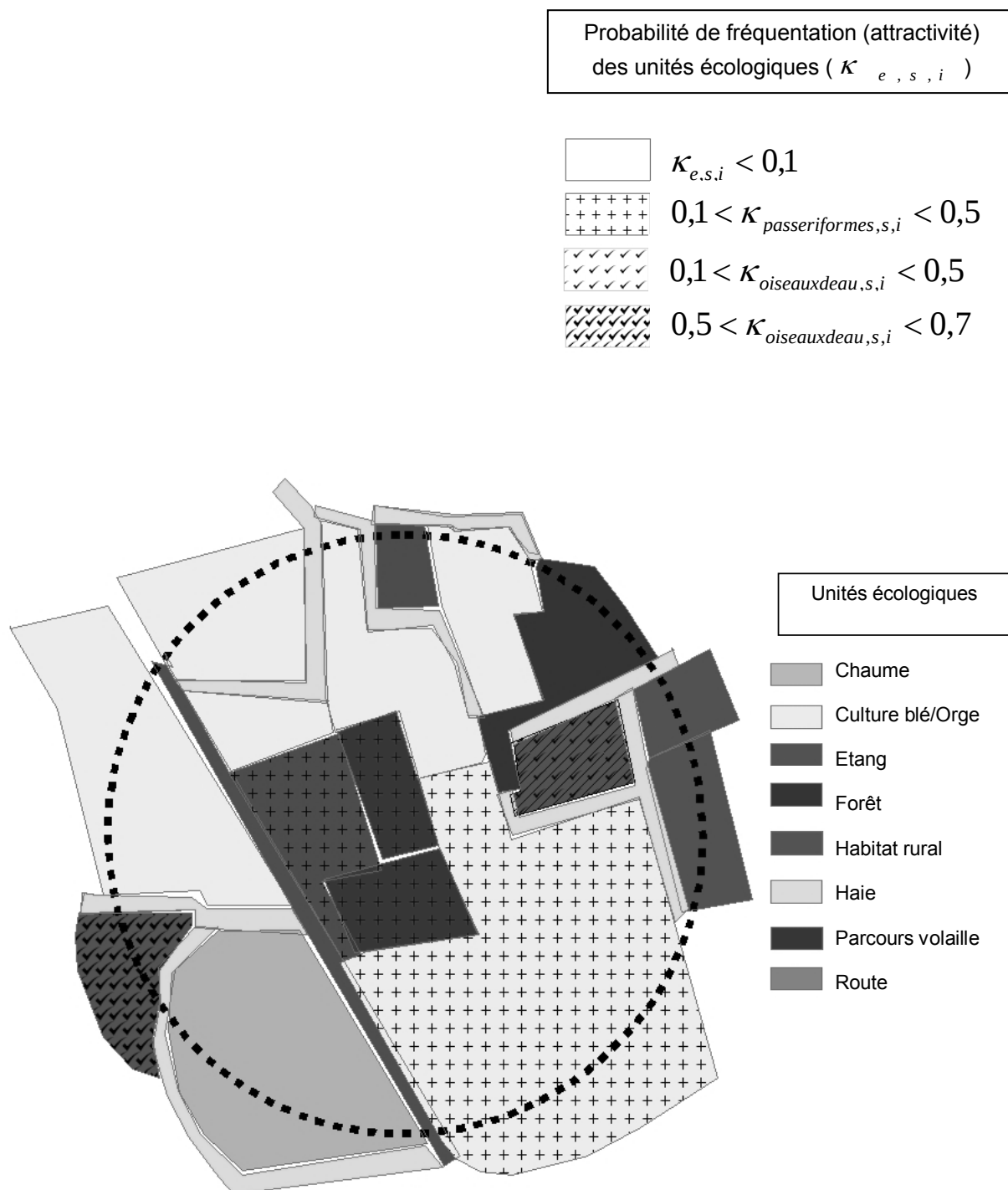


Tableau 1
Ensemble des espèces contactées sur les sites d'étude dans la région de la Dombes et
délimitation des groupes d'espèces

Ordre	Espèces	Ordre	Espèces
ANSERIIFORMES	Canard colvert	PASSERIIFORMES	Accenteur mouchet
	Cygne tuberculé		Alouette des champs
	Fuligule milouin		Bergeronnette des ruisseaux
	Fuligule morillon		Bergeronnette grise
	Nette rousse		Bruant des roseaux
	Sarcelle d'hiver		Bruant jaune
GAVIIFORMES	Grèbe castagneux		Chardonneret élégant
	Grèbe huppé		Choucas des tours
PELECANIFORMES	Grand Cormoran		Corbeaux freux
RALIIFORMES	Foulque macroule		Corneille noire
	Poule d'eau		Etourneau sansonnet
	Râle d'eau		Fauvette à tête noire
LARIIFORMES	Mouette rieuse		Geai des chênes
FALCONIIFORMES	Autour des Palombes		Grimpereau des jardins
	Busard des roseaux		Grive draine
	Busard St Martin		Grive litorne
	Buse variable		Grive mauvis
	Epervier d'Europe		Grive musicienne
	Faucon crécerelle		Grosbec casse-noyaux
	Milan noir		Linotte mélodieuse
	Faisan de Colchide		Merle noir
GALLIFORMES	Perdrix rouge		Mésange à longue queue
PICIFORMES	Pic épeiche		Mésange bleue
	Pic épeiche		Mésange charbonnière
	Pic noir		Mésange huppée
	Pic vert		Mésange noire
STRIGIFORMES	Chouette effraie		Mésange nonette
CHARADRIIFORMES	Bécassine des marais		Moineau domestique
	Vanneau huppé		Moineau friquet
CICONIIFORMES	Aigrette garzette		Pie bavarde
	Cigogne blanche		Pinson des arbres
	Grande aigrette		Pinson du nord
	Héron cendré		Pipit farlouse
COLUMBIFORMES	Pigeon biset domestique		Pouillot véloce
	Pigeon ramier		Roitelet à triple bandeau
	Tourterelle des bois		Roitelet huppé
	Tourterelle turque		Rouge queue noir
CORACIFORMES	Martin-pêcheur d'Europe		Rouge-gorge familier
			Serin cini
			Sitelle torchepot
			Tarier pâtre
			Tarin des aulnes
			Troglodyte mignon
			Verdier d'Europe

Figure 2

Représentation des probabilités de fréquentation des unités écologiques
en fonction des groupes d'espèces, obtenues pour un des dix sites d'étude



IV - DISCUSSION ET CONCLUSION

Au vu de la typologie des données, et par manque de puissance statistique, nous n'avons pas pu mettre en évidence de probabilité de fréquentation pour chacune des espèces d'oiseaux recensées sur l'ensemble des sites d'étude. Cependant la constitution des groupes d'espèces « Passériformes », « Oiseaux d'eau » et « Autres » permet de conclure sur le risque lié à la répartition et à la présence de certaines de ces espèces.

Pour les 13 espèces du groupe « Oiseaux d'eau », on obtient des probabilités de fréquentation des parcours inférieures à 10^{-9} . Ce résultat devra être confronté aux observations réalisées durant les trois autres périodes de l'année afin de pouvoir confirmer l'absence de ces oiseaux sur les parcours. L'étude sur une année entière permettra également de tenir compte du changement d'utilisation des sols, et donc des variations de fréquentation de l'environnement proche de l'élevage. En parallèle de ces comptages ponctuels, tout au long de l'année, une enquête a été réalisée auprès des éleveurs afin de recueillir les témoignages d'observations d'oiseaux d'eau repérés sur les parcours de façon régulière ou occasionnelle. Les résultats de cette enquête devraient permettre de valider les observations ponctuelles réalisées par l'ornithologue. Cependant, en l'état des résultats et des connaissances actuelles, les contacts directs entre oiseaux d'eau et oiseaux d'élevage restent isolés, limitant ainsi le risque d'introduction du virus IA.

L'analyse de l'environnement extérieur a permis de montrer que certains parcours de volailles pouvaient se trouver à proximité d'un étang (à moins de 350 mètres). Les probabilités de fréquentation des étangs sont variables avec pour certains des probabilités de fréquentation élevées, et pour d'autres des probabilités relativement faibles, voir nulles. L'augmentation des probabilités de fréquentation de ce type d'UE apparaît comme non significativement liée à une augmentation de sa surface. De multiples explications peuvent être envisagées : abondance de nourriture sur certains étangs, lieux de nidification, chasse... Toutefois, les espèces d'oiseaux d'eau, notamment les ansériformes représentent des hôtes préférentiels pour la plupart des souches virales du virus IA, et l'on sait aujourd'hui que le virus IA peut persister sur de longues durées dans l'environnement et

particulièrement dans le milieu aquatique [René et Bicout, 2007 ; Brown *et al.*, 2009]. Ainsi, malgré les difficultés qui se posent dans l'interprétation des différentes attractivités obtenues selon les étangs, il s'agira de considérer chaque site ayant un étang à proximité, comme un site à risque d'introduction du virus, dans l'environnement. Du fait de la grande proximité entre étangs et élevages dans la région de la Dombes, ce risque sera favorisé par une contamination indirecte via des vecteurs mécaniques (personnes, matériels, véhicules,...). Dans ce contexte, la mise en place de mesures de biosécurité et contrôles sanitaires prend donc tout son sens.

Contrairement aux espèces d'oiseaux d'eau, les espèces de l'ordre des passériformes sont bel et bien présentes sur les parcours de volailles et sur l'environnement extérieur. Sur un total de 6 709 contacts (sur l'ensemble des 10 sites d'études, toutes UE confondues), près de 26% sont des contacts de moineau domestique, 20% de pinson des arbres et 11,5% d'étourneau sansonnet. Certaines de ces espèces peuvent être considérées comme espèces « relais », de par leur forte présence, leur comportement grégaire et exploratoire. Cette étude montre que ces espèces d'oiseaux peuvent fréquenter les mêmes lieux de vie que les volailles. Ainsi, leur rôle dans l'introduction direct ou indirecte du virus au sein des élevages de la Dombes est à approfondir. Du point de vue environnement extérieur, il semblerait que prises individuellement, les UE ne soient pas très attractives pour ces espèces (probabilité de fréquentation très faible). Seules les haies apparaissent attractives, avec par ailleurs une augmentation du nombre de contacts en fonction d'une augmentation de leur surface. On parlera davantage de longueur de haie que de surface pour cette UE en raison de son caractère linéaire. On peut alors supposer que ces espèces d'oiseaux se répartissent ponctuellement dans les différents habitats autour de l'élevage, qu'elles transitent via les haies et qu'on les retrouve majoritairement sur les parcours de volailles. Ainsi, la configuration paysagère importe peu, comme l'on montré les résultats précédents, mais la présence de haie à proximité des élevages, considérée comme corridor écologique, constitue une connexion entre l'environnement extérieur et les parcours de volailles.

Le groupe d'espèces « Autres » regroupe des espèces très diverses. On observe la dominance des espèces de l'ordre des colomiformes avec 73% des contacts du groupe « Autres ». Pour un total de 906 contacts totaux, 46% des contacts sont localisés dans l'habitat rural et 36% sur le parcours de volailles. Dans ce groupe figurent également les ciconiiformes à hauteur de 10% dont les contacts se répartissent à hauteur de 20% dans les UE parcours de volailles, dans les prairies/pâtures, et dans les cultures de blé/orge et 35% dans les étangs. Les falconiformes représentent quant à eux 7% des contacts totaux de ce groupe, avec 35% des contacts localisés sur le parcours de volaille. A noter toutefois que les contacts relevés pour les espèces des falconiformes restent difficilement interprétables du fait que ceux-ci étaient généralement contactés en vol. Ces observations brutes, permettent de préciser les probabilités de fréquentation lissées. Les probabilités de fréquentation des parcours obtenues après lissage concernent donc majoritairement les espèces de l'ordre des colomiformes, ciconiiformes et falconiformes.

Cette étude précise les travaux antérieurs de modélisation du risque de contact entre oiseaux sauvages et oiseaux d'élevage [Simon, 2006], en intégrant toutes les espèces d'oiseaux sauvages. Elle a permis dans un premier temps d'évaluer la distribution des oiseaux sauvages au sein des parcours de volailles et des unités écologiques voisines.

Cette distribution traduite sous forme de probabilités de fréquentation selon les espèces d'oiseaux sauvages a ainsi permis d'apprécier le risque de contact entre les oiseaux sauvages et les oiseaux d'élevage. Toutefois, il est nécessaire de réitérer cette analyse à partir des comptages ornithologiques réalisés sur l'année entière. En effet, plusieurs paramètres (comme énoncé précédemment) peuvent influencer le nombre de contacts relevés par l'ornithologue, comme les variations de populations d'oiseaux selon les périodes migratoires.

Ces premiers résultats peuvent être améliorés et contrastés par une meilleure prise en compte de la probabilité p de détecter les oiseaux dans les calculs des attractivités. L'estimation de p nécessite à la fois des connaissances bibliographiques et d'experts ainsi que du travail de terrain.

Une analyse du risque pour l'ensemble des élevages en Dombes est réalisable dans la mesure où l'environnement immédiat (350 mètres alentour) est connu. Il est donc envisageable, en termes de gestion du risque, de travailler à partir d'observations aériennes ou autre supports afin de différencier les unités proches de l'élevage et permettre d'apprécier le risque de contact dû aux oiseaux sauvages pour chaque élevage. Par ailleurs, il serait intéressant de compléter cette étude par une modélisation couplant à la fois persistance du virus dans l'environnement, et déplacements humains à proximité de l'élevage.

BIBLIOGRAPHIE

- Alexander D.J. - A review of avian influenza in different bird species. *Veterinary Microbiology*. [doi: DOI: 10.1016/S0378-1135(00)00160-7]. 2000 2000/5/22;74(1-2):3-13.
- Alexander D.J., Allan W.H., Parsons D.G., Parsons G. - The pathogenicity of four avian influenza viruses for fowls, turkeys and ducks. *Research in veterinary science*, 1978, **24**(2):242-247.
- Alexander D.J. - An overview of the epidemiology of avian influenza. Vaccine 4th International Veterinary Vaccines and Diagnostics Conference, Oslo, 25-29 June 2006, 4th International Veterinary Vaccines and Diagnostics Conference. [doi: DOI: 10.1016/j.vaccine.2006.10.051]. 2007 2007/7/26;25(30):5637-5644.
- Brown J.D., Goekjian G., Poulson R., Valeika S., Stallknecht D.E. - Avian influenza virus in water: infectivity is dependent on pH, salinity and temperature. *Vet Microbiol.*, 2009, **14**, 136 (1-2), 20-26.
- EFSA. - European Food and Safety Authority. Migratory birds and their possible role in the spread of highly pathogenic Avian Influenza. Scientific report. The EFSA Journal. Parme, 12 May 2006.
- Ellis T.M., Bousfield R.B., Bissett L.A., Dyrting K.C., Luk G.S., Tsim S.T. *et al.* - Investigation of outbreaks of highly pathogenic H5N1 avian influenza in

- waterfowl and wild birds in Hong Kong in late 2002. *Avian Pathol.*, 2004, **33** (5), 492-505.
- Gaidet N., Cattoli G., Hammoumi S., Newman S.H., Hagemeijer W., Takekawa J.Y. *et al.* - Evidence of infection by H5N2 highly pathogenic avian influenza viruses in healthy wild waterfowl. *PLoS Pathog.*, 2008, **4** (8), e1000127.
- Lebreton P., Bernard A., Dupupet Michel. - Guide du naturaliste en Dombes. Paris : Delachaux et Nestlé; 1991.
- Leibold M.A., Holyoak M., Mouquet N., Amarasekare P., Chase J.M., Hoopes M.F. *et al.* - The metacommunity concept: a framework for multi-scale community ecology. *Ecology Letters*, 2004, **7** (7):601-613.
- Perdue M.C.J., Garcia M., Latimer J., Swayne D.E., editor. - Occurrence and possible mechanisms of cleavage site insertions in the avian influenza hemagglutinin gene. Fourth International Symposium on Avian Influenza; 1998.
- Perkins L.E.L., Swayne D.E. - Varied Pathogenicity of a Hong Kong-origin H5N1 Avian Influenza Virus in Four Passerine Species and Budgerigars. 10.1354/vp.40-1-14. *Vet. Pathol.*, 2003, **40** (1), 14-24.
- Rene M., Bicout D. - Influenza aviaire : modélisation du risque d'infection des oiseaux à partir des étangs contaminés. *Epidémiol. et santé anim.*, 2007, **51**, 95-109.
- Simon A., Doctrinal D., Bicout J.B. Risque de contact entre oiseaux sauvages et oiseaux domestiques dans la région de la Dombes, France. *Epidémiol. et santé anim.*, 2006, **50**, 27-39.
- Webster R.G. - Influenza: an emerging disease. *Emerg. Infect. Dis.*, 1998, **4** (3), 436-441.



Remerciements

Nous remercions vivement Olivier Caparros qui a réalisé tous les comptages ornithologiques, pour ses précieuses connaissances ornithologiques. Ce travail réalisé, en collaboration avec l'ITAVI, a bénéficié d'un concours financier du ministère de l'agriculture et de la pêche.