

FLUX DE VOLAILLES ET PROPAGATION DE L'INFLUENZA AVIAIRE DANS LA FILIERE AVICOLE AU VIETNAM^{*,**}

Ariane Payne¹, Stéphanie Desvaux², Karine Chalvet-Monfray¹,
Jean-François Renard² et Dominique J. Bicout¹

RESUME

Depuis 2003, le Vietnam connaît l'incidence d'influenza aviaire hautement pathogène la plus élevée d'Asie. La transmission du virus influenza entre volailles se produit à l'occasion de nombreux contacts qui ont lieu au sein des réseaux de distribution. Notre objectif est de modéliser la dynamique de ces flux de volailles à l'échelle d'un réseau communal d'une province du Nord du Vietnam à partir de données recueillies sur place, et de développer une modélisation de la propagation du virus influenza forcée par la dynamique des flux. Les résultats de simulation montrent comment évoluent les quantités de volailles au cours du temps sur une période de 2 ans. Nous visualisons la plasticité du système (population de volailles au sein d'un réseau) face aux événements perturbant les flux d'échanges.

Mots clés : Influenza aviaire, filière avicole, modélisation, Vietnam.

SUMMARY

Since 2003, Vietnam has experienced the highest incidence of highly pathogenic avian influenza in Asia. The influenza virus spread through numerous contacts occurring between birds in those networks. This study was designed first to model the local poultry flux dynamics using field data from a province in Northern Vietnam. Then, we developed a disease transmission model within a poultry network, driven by flux dynamics. Simulation results illustrated the changes in poultry livestock over a two - year period. Various aspects of changes in the poultry livestock occurring in response to events perturbing the network could be studied thanks to the flux dynamics model

Keywords: Avian influenza, Poultry, Modelling, Vietnam.



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

** Nous dédions ce travail à notre collègue ami, J. F. Renard, qui nous a quittés cet été.

¹ Unité Biomathématiques et Epidémiologie, Laboratoire EPSP TIMC, UMR5525 CNRS, Ecole nationale vétérinaire de Lyon, Université de Lyon, 1 avenue Bourgelat 69280 Marcy l'Etoile, France - ariane_payne@hotmail.com ; d.bicout@vet-lyon.fr.

² CIRAD, Campus de Baillarguet, 34398 Montpellier cedex 5, France

I - INTRODUCTION

L'émergence du H5N1 hautement pathogène provient d'un réassortiment génétique du virus H5N1 hébergé originellement par les oiseaux sauvages transmis aux oiseaux domestiques. En 1996, les premiers cas humains atteints de H5N1 sont apparus à Hong Kong attestant de la possibilité de transmission de l'oiseau à l'homme [Guan *et al.*, 2002 ; Webster *et al.* 2006].

Le Vietnam a connu plusieurs vagues épizootiques entre 2003 et 2008 de H5N1 hautement pathogène. Avec plus de 2500 foyers et 111 cas humains recensés depuis 2003 jusqu'à ce jour, c'est le pays qui détient l'incidence la plus élevée [OIE, 2009 ; Tran *et al.* 2005]. Aujourd'hui, malgré des mesures de police sanitaire et des campagnes de vaccination, l'influenza aviaire reste présent de façon enzootique au Vietnam [Schuft, 2009].

Les différentes espèces d'oiseaux domestiques n'ont pas la même sensibilité au virus. Le poulet est l'espèce la plus sensible, alors que le canard joue un rôle épidémiologique majeur dans la persistance et la transmission du virus puisqu'il est réservoir (bien que certaines souches aient acquis, par réassortiment génétique, une pathogénicité pour cette espèce [Hulse-Post *et al.*, 2005 ; Sturm-Ramirez *et al.*, 2004]) ou peut acquérir une immunité pour de nombreux sous-types d'influenza aviaire. Il excrète beaucoup de virus et son habitat semi-aquatique favorise la contamination de l'environnement et notamment de l'eau.

Au Vietnam, la production avicole tient une place très importante dans l'économie du pays, notamment en zones rurales. Le cheptel compte 215 millions de têtes qui se concentrent dans le nord (delta du fleuve rouge autour de Hanoï) et dans le sud (delta du Mékong) du pays [Desvaux *et al.*, 2008]. La filière avicole produit très majoritairement des volailles de chair (poulets et canards) et des œufs (de poule ou de cane). Selon la FAO et le ministère de l'agriculture et du développement rural du Vietnam, les élevages peuvent être classés en trois catégories :

1. Le secteur industriel recouvre les élevages intensifs intégrés de plus de 2 000 volailles par lot (et pouvant aller jusqu'à 100 000). Ils représentent 18 à 20% de la production de poulets et seulement 0,1% des fermes avicoles au Vietnam ;

2. Le secteur semi-commercial est un secteur intermédiaire. L'élevage est conduit en bandes (lot d'oiseaux dans lequel l'espèce, l'âge et le type de production sont homogènes), le nombre de volailles par bande se situant dans une fourchette allant de 50 à 2 000 oiseaux. Ces élevages représentent 25 à 30% de la production de poulets, environ 10% de la production de canards et 10 à 15% des fermes au Vietnam [Desvaux *et al.*, 2008]. Les produits sont vendus à des commerçants collecteurs qui viennent les acheter sur place dans les fermes. Ils sont également vendus sur les marchés locaux ;

3. Le secteur traditionnel correspond à la production familiale de volailles. Ce secteur est le plus répandu puisqu'il représente 65% des fermes de poulets et 15 à 20% de la population de canards [Desvaux *et al.*, 2008]. Les produits issus de ces fermes traditionnelles sont principalement destinés à l'autoconsommation ; ils peuvent être cependant vendus lorsque le foyer a besoin d'argent et/ou si le circuit de vente est facilement accessible (marché, marchands collecteurs passant à la ferme) [AGC, 2006 ; Desvaux *et al.*, 2008 ; Kim Lan *et al.* 2007 ; Schuft, 2009 ; Tung, 2006].

En aval de la production, la filière avicole s'organise en de nombreux circuits de distribution complexes qui se déclinent à différentes échelles, locales, provinciales ou régionales. Elle implique de nombreux intermédiaires : marchands collecteurs, grossistes, détaillants et des lieux de vente variés : fermes, marché, abattoir, supermarché [AGC, 2006]. En outre, il faut noter que tout au long du réseau, les volailles sont gardées vivantes. Les marchés, en particulier, sont des lieux de contact entre oiseaux de différentes espèces et provenances, favorisant ainsi la transmission de virus et son adaptation à d'autres espèces [Nguyen *et al.*, 2005 ; Wang *et al.*, 2006]. Ainsi, la connaissance du fonctionnement de la filière et notamment la circulation des volailles vivantes du producteur jusqu'au consommateur apparaissent comme un élément essentiel et indispensable pour comprendre comment se fait la propagation du virus.

Nous nous proposons ici d'étudier un réseau de distribution de volailles réel et représentatif de la zone du delta du fleuve rouge. Le travail

préliminaire est d'en déterminer la structure, c'est-à-dire les liens qualitatifs et quantitatifs établis entre chacun des acteurs du réseau. Puis nous nous intéresserons à la dynamique des flux de produits qui y circulent depuis les producteurs jusqu'aux consommateurs en

passant par les intermédiaires de commercialisation (marchands collecteurs, marché). Enfin, nous verrons comment nous pourrions appliquer cette dynamique de flux à un modèle de propagation du virus influenza au sein du réseau.

II – MATERIELS ET METHODES

1. DONNEES

Les données dont nous disposons sont issues d'enquêtes effectuées en juin et juillet 2008 par des enquêteurs vietnamiens travaillant pour le CIRAD. Elles ont été réalisées dans deux provinces du Nord du Vietnam, où la production avicole est importante : Ha Tay et Bac Giang. Certaines communes de Ha Tay sont spécialisées dans l'élevage de reproducteurs et produisent une grande partie des poussins et des canetons qui approvisionnent de nombreuses fermes et marchés dans le Nord du Vietnam. La province de Bac Giang est moins spécialisée et le nombre de fermes y est moins important ce qui a permis de faire une enquête exhaustive. Les enquêtes ont concerné les fermes des secteurs traditionnel et semi-commercial ainsi que les marchands collecteurs en filière chair et en filière oeufs. Dans ce qui suit, nous travaillons dans la province de Bac Giang qui est plus représentative des provinces du Delta

du Fleuve Rouge que Ha Tay, plus spécialisée en élevages de reproducteurs [S. Desvaux, communication personnelle]. D'autre part, le sondage ayant été exhaustif pour les fermes de Bac Giang, l'étude sur la production ne devrait souffrir d'aucun biais d'échantillonnage.

2. RESEAU ETUDIE

Notre travail ayant pour objectif d'étudier la propagation du virus influenza dans un réseau de distribution de volailles, nous avons choisi de n'utiliser que les données issues de l'étude concernant la filière chair en secteur semi-commercial car elle implique une circulation de volailles vivantes propice à la dissémination du virus. En secteur traditionnel, les produits sont majoritairement destinés à l'autoconsommation et les volailles approvisionnent très peu les réseaux de distribution [Delquigny *et al.*, 2004 ; Ifft *et al.*, 2008].

Tableau 1

Nombre de fermes et de marchands collecteurs inclus dans l'étude

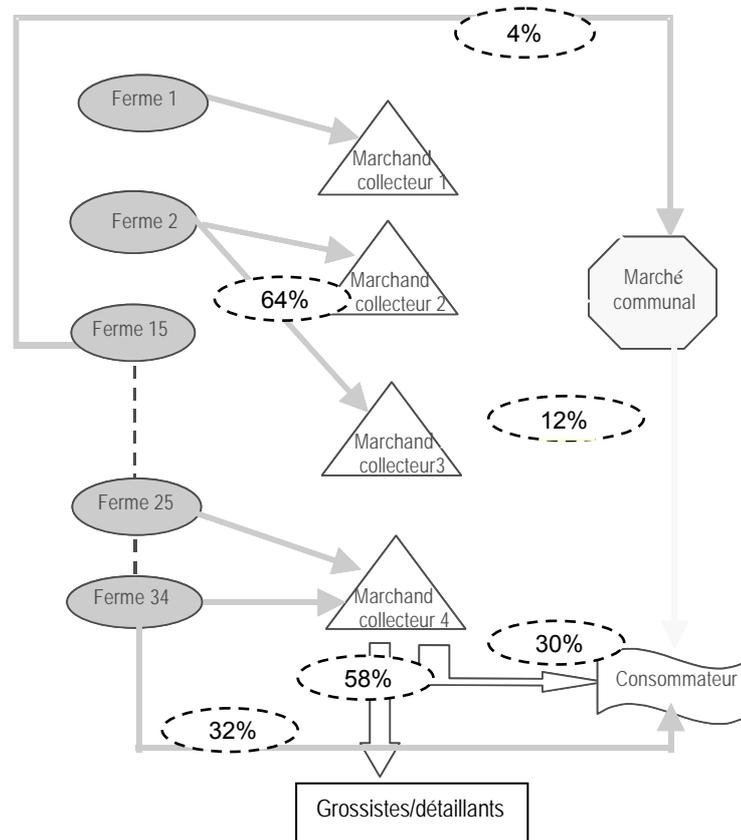
Nombre total de fermes du secteur semi-commercial	137
Nombre de fermes élevant des poulets	42
Nombre de fermes élevant des canards	19
Nombre de fermes élevant des poulets et des canards	76
Nombre de marchands collecteurs	39

Notre étude se place à l'échelle de la commune car c'est le premier niveau de distribution. Les données fournissent des informations sur les acteurs du réseau de la filière avicole de Bac Giang et sur les flux circulant entre ces différents acteurs. Nous pouvons ainsi identifier les fermes, sources de production primaire, les marchands collecteurs qui se révèlent être des intermédiaires entre

les fermes, les marchés locaux et les consommateurs au niveau de la commune et approvisionnent des grossistes et détaillants, appartenant à des réseaux à l'échelle provinciale. Les données permettent en outre de quantifier ces flux et ainsi d'estimer leur importance relative. La figure 1 schématise les flux de volailles (canards et poulets confondus) au sein d'une commune moyenne.

Figure 1

Schéma du réseau étudié de Bac Giang à l'échelle communale. Chaque commune comprend en moyenne 34 fermes, quatre marchands collecteurs et un marché. Les flèches présentent le type de connexions observées et les pourcentages, la répartition des volailles (toutes espèces et âges confondus) suivant chacune de ces connexions.



3. DYNAMIQUE DES FLUX

L'épidémiologie d'influenza et les modalités de production étant différentes chez le poulet et chez le canard, deux analyses distinctes mais similaires sont réalisées pour chacune des espèces. Toutes les fermes du secteur semi-commercial de Bac Giang produisant des poulets et des canards de chair adultes sont incluses dans l'étude, à l'exception d'environ 5% d'entre elles qui sont exclues pour des raisons de données non disponibles ou d'erreurs de saisie.

Dans notre modèle la structure de la filière avicole est décrite par quatre compartiments, à savoir, ferme, marchand collecteur, marché et consommateur ; et la commune est décrite comme un réseau connecté d'un ensemble de ces compartiments. Pour construire le modèle de dynamique des flux de produits, nous partons de la production des volailles par les

fermes. Pour cela, nous nous basons sur les fermes réelles, dont nous extrayons des données les caractéristiques de production : nombre, taille et durée de leurs bandes. Nous avons déduit la date de début de bande des informations disponibles sur la saisonnalité, à savoir, les mois pendant lesquels la production était maximale et minimale, que nous avons recoupés avec la durée et le nombre de bandes par an. Ainsi, nous avons pu avoir une idée de la répartition des bandes sur l'année, mais avec une précision difficile à évaluer.

En se basant toujours sur les données, les fermes sont discriminées selon la présence ou l'absence de connexions avec les marchands collecteurs. Les fermes qui n'y sont pas connectées sont directement reliées au consommateur ou au marché. Nous avons vu que le nombre moyen de marchands collecteurs par commune était de quatre (cf. figure 1). Les données fournissent également

le nombre de marchands collecteurs qui sont reliés à chacune des fermes. Nous pouvons ainsi extraire une distribution empirique du nombre de fermes par marchand collecteur.

Il y a un marché principal par commune [S. Desvaux, communication personnelle] et nous faisons l'hypothèse que tous les marchands collecteurs sont reliés à ce marché. Le

consommateur est considéré comme un réceptacle final et unique des différents compartiments exposés ci-dessus.

Le pas de temps choisi est d'un jour et la simulation est réalisée sur deux ans afin de prendre en compte les bandes qui sont à cheval sur deux années consécutives.

III – RESULTATS

A partir du schéma de la figure 1 et sur la base des données de flux de produits, nous avons défini différents profils de distribution des produits avicoles sur lesquels la dynamique des volailles sera simulée. Ces profils correspondent aux voies de distribution principales des poulets et canards de chair uniquement, certaines voies minoritaires ou ne concernant que les poussins et canetons ayant été négligées (par exemple l'appro-

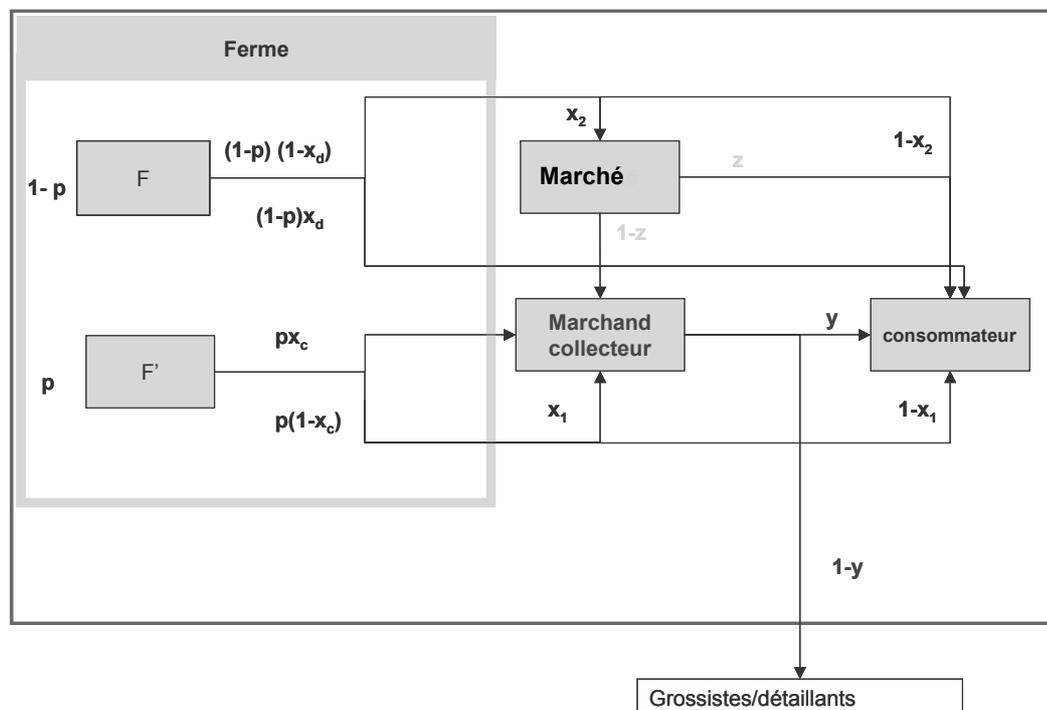
visionnement des marchands collecteurs auprès du marché).

Une proportion p de fermes sont connectées aux marchands collecteurs et les autres $(1-p)$ ne le sont pas. Pour chacun de ces types de fermes, les volailles se répartissent selon des voies de distribution dans des proportions (x_c, x_d, x_1, x_2, y) calculées d'après les données ou estimées (z) si l'information n'était pas disponible (cf. figure 2).

Figure 2

Schéma des différentes voies de distribution des produits

Filière avicole semi commerciale (échelle communale)



Le modèle a pour objectif de simuler le nombre de volailles circulant au cours du temps entre les différents acteurs du réseau étudié. Il intègre les éléments structurels décrits dans la partie II-3 et les éléments quantitatifs des flux de produits représentés dans la figure 2. Enfin, d'autres paramètres, comme les taux de survie

des oiseaux dans et le taux de vente des marchands collecteurs sont également intégrés afin de représenter au mieux la dynamique des volailles au sein du réseau.

Les paramètres du modèle sont listés dans le tableau 2.

Tableau 2

Liste des paramètres utilisés dans le modèle de dynamique des flux de volailles

Compartiment	Paramètre	Définition	Origine	Valeur	Unité
Fermes	N° du tirage	Tirage au sort des fermes			
	Nombre de trajectoires	Nombre de trajectoires ^(a) réalisées par simulation	A fixer	30	
	Nombre de fermes (N)	Nombre de fermes tirées au sort pour la simulation	Nombre moyen de fermes/ commune	34	
	N _p	Nombre de fermes connectées aux marchands collecteurs	Empirique	26	
	Φ _f	Taux de survie des oiseaux dans les fermes	Estimée	50 à 90	%
	τ	Temps de vidange des bandes ^(b)	Estimée	1 à 10	jours
	x _c	Part des fermes connectées uniquement aux MC	Empirique	Poulets : 17 Canards : 32	%
	x _d	Part des fermes connectées uniquement aux consommateurs	Empirique	Poulets : 50 Canards : 29	%
	x ₁	Part des volailles destinées uniquement au MC	Empirique	Poulets : 93 Canards : 88	%
	x ₂	Part des volailles destinées uniquement au marché	Empirique	Poulets : 56 Canards : 82	%
Marchand Collecteur	NCOL	Nombre de collecteurs	Empirique	4	
	NFPC	Nombre de fermes par MC	Estimée	10	
	γ	Part des volailles du MC vendu au consommateur	Empirique	Poulets : 36 Canards : 25	%
	Φ _c	Taux de survie chez les MC	Estimée	70 à 100	%
	Q _v	Taux de vente journalier	Estimée	10 à 50	%
Marché	NCPM	Nombre de MC par marché	Estimée	4	
	z	Part des volailles du marché allant au consommateur	Estimée	70 à 90	%

^(a) La trajectoire correspond à la répartition des quantités de produits selon les différentes voies de distribution.

^(b) Temps entre la fin du cycle de production (fin théorique de la bande) et la date à laquelle tous les individus de la bande sont sortis de la ferme.

Mc : Marchand collecteur

Après avoir vérifié que ces éléments sont homogènes entre les communes de Bac Giang, à chaque simulation, nous avons fixé ces paramètres et procédé à un tirage aléatoire de 34 fermes (nombre moyen de fermes par commune) parmi les 108 fermes élevant des poulets et les 94 fermes élevant des canards (les fermes élevant à la fois des poulets et des canards ont été incluses dans les deux analyses). L'attribution d'une ferme à l'un des quatre marchands collecteurs est également aléatoirement tirée à chaque simulation selon une distribution définie.

A chaque simulation, chacun des paramètres listés dans le tableau 2 peut être modifié. Dans les exemples qui suivent, nous avons choisi de conserver les paramètres empiriques pour représenter au mieux la réalité du réseau et de montrer l'influence de la variation des autres paramètres comme les taux de survie ou le taux de vente. Nous visualisons aussi l'effet de deux tirages différents pour les poulets correspondant à deux tirages aléatoires des 34 fermes et de leur connections aux quatre marchands collecteurs (tableaux 3, 4 5 et figures 3 à 8).

Tableau 3
Paramètres du modèle pour le tirage n°1 pour les poulets

Tirage poulet 1		
Nb de trajectoires: 30		
Ferme	Marchand collecteur	Marché
Nb de fermes : 34	Nb de marchands collecteurs : 4	Nb de marchés :1
Nb de fermes connectées au marchand collecteur : p = 26	Nb moyen de fermes par collecteur : 10	Nombre de marchands collecteurs par marché : 4
$x_c = 17\%$	MC1 :11 fermes	$z = 80\%$
$x_d = 50\%$	MC2 : 14 fermes	
$x_1 = 92\%$	MC3 :7 fermes	
$x_2 = 56\%$	MC4 :8 fermes	
taux de survie	$y = 36\%$	
$\Phi_f : 70\%$	taux de survie	
temps de vidange $\tau : 10$ j	$\Phi_c = 90\%$	
	Taux de vente journalier	
	$Q_v = 20\%$	

Dans les fermes, la dynamique des flux de poulets est une dynamique de bande. Les oiseaux arrivent tous ensemble à un temps t, puis restent pendant toute la durée de la bande. A la fin de la bande, les poulets sortent de la ferme progressivement sur une durée moyenne imposée dans cet exemple à 10 jours (visualisée sur les courbes par un léger

inflexion en fin de bande). La pente des courbes entre la date d'arrivée et la date de début de sortie traduit le taux de survie. On constate que le degré de cette pente augmente quand le taux de survie diminue (figure 6). En outre, les deux tirages illustrent la variabilité selon les fermes, du nombre de bandes par an (certaines se chevauchant, d'autres non), de leur taille et de leur durée.

Pour les marchands collecteurs, quel que soit le tirage, les courbes montrent que les poulets y transitent toute l'année sauf entre mars et avril, avec des pics tous les 2-3 mois. Les périodes de l'année où les flux sont les plus importants sont mai, juillet et de novembre à janvier (période précédant la fête du Têt). Sur la figure 6, on constate qu'avec un taux de survie de 90%, les stocks se situent au moment des pics entre 50 et 100 selon le marchand collecteur alors que cette fourchette diminue à 40 et 80 pour un taux de survie de 70%.

En confrontant les figures 4 et 6 (tirages différents), on constate que les profils sont assez différents. Les flux sur le marché sont plus étalés dans le tirage 1 que dans le tirage 2 pour lequel on observe deux pics consécutifs tous les trois mois environ. La baisse des taux de survie dans les fermes et les marchands collecteurs se répercute de façon non négligeable dans le flux de poulets arrivant au marché et chez le consommateur.

Figure 3

**Configuration des connexions du réseau selon le tirage n°1
(pour la lisibilité du schéma, seules cinq fermes sont représentées)**

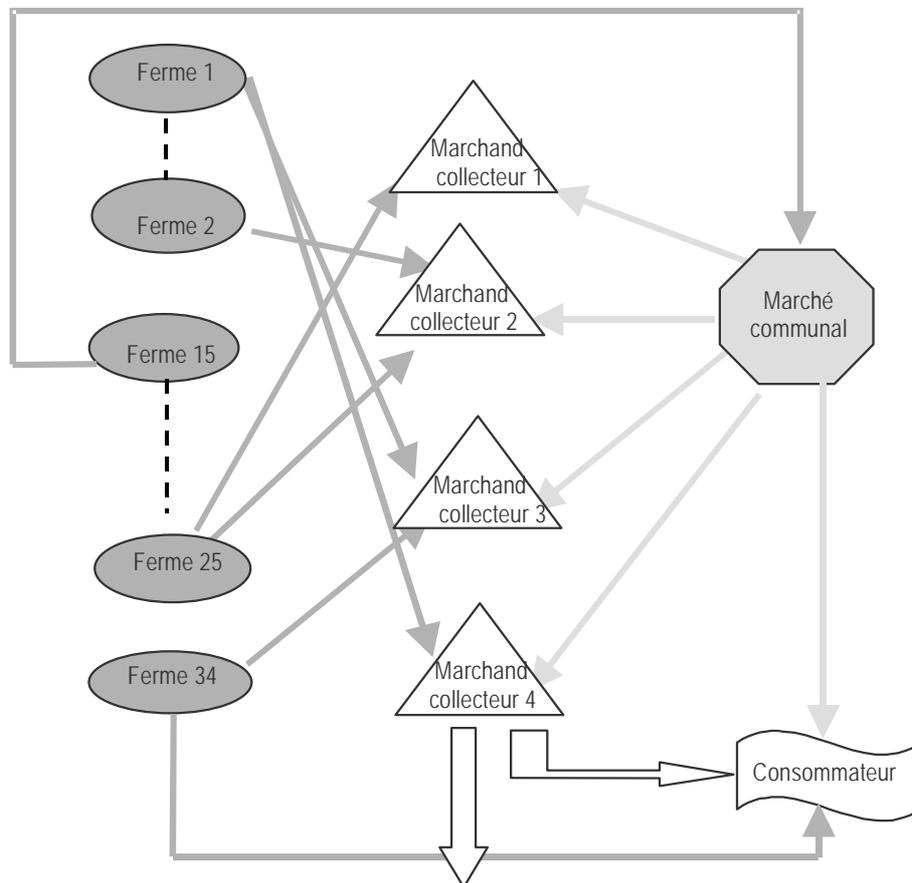


Figure 4

Evolution du nombre de poulets en fonction du temps dans les fermes (Fn), chez les marchands collecteurs (MCn), au marché (MAR) et chez le consommateur (CONS) pour le tirage poulet 1

(pour une meilleure lisibilité, seules trois fermes sur 34 et trois marchands collecteurs sur quatre sont représentés)

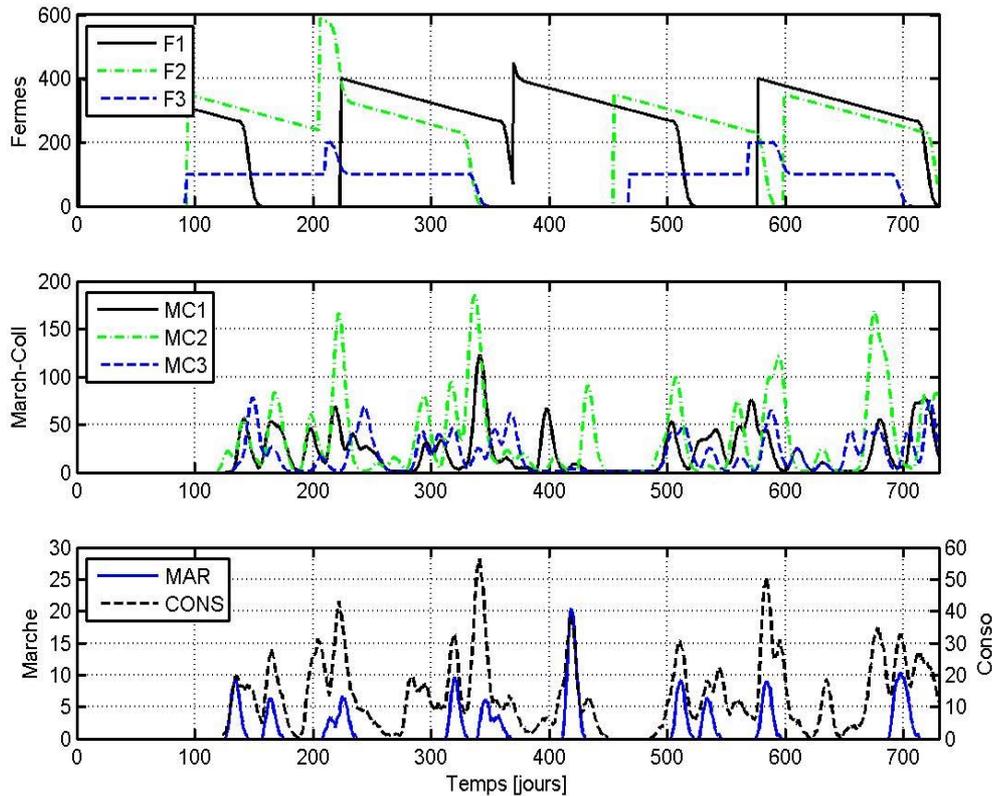


Tableau 4

Paramètres du modèle pour le tirage poulet n°2

Tirage poulet 2		
Nb de trajectoires: 30		
Ferme	Marchand collecteur	Marché
Nb de fermes : 34 Nb de fermes connectées au marchand collecteur : $p = 26$ $x_c = 17\%$ $x_d = 50\%$ $x_1 = 92\%$ $x_2 = 56\%$ taux de survie $\Phi_f = 70\% / 50\%$ temps de vidanger : 10 j	Nb de marchands collecteurs : 4 Nb moyen de fermes par collecteur : 10 MC1 : 8 fermes MC2 : 12 fermes MC3 : 10 fermes MC4 : 9 fermes $y = 36\%$ taux de survie $\Phi_c = 90\% / 70\%$ Taux de vente journalier $Q_v = 20\%$	Nb de marchés : 1 Nombre de marchands collecteurs par marché : 4 $z = 80\%$

Figure 5
Configuration des connexions du réseau selon le tirage n°2
 (pour la lisibilité du schéma, seules cinq fermes sont représentées)

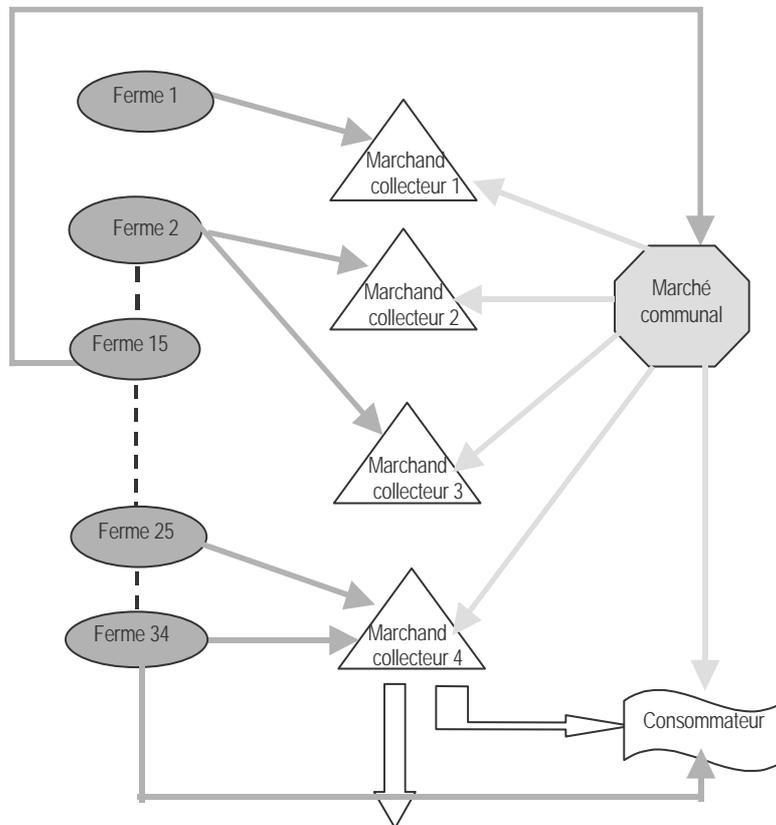


Tableau 5
Paramètres du modèle pour la simulation canard

Tirage Canards		
Nb de trajectoires: 30		
Ferme	Marchand collecteur	Marché
Nb de fermes : 34 Nb de fermes connectées au marchand collecteur : $p = 26$ $x_c = 32\%$ $x_d = 29\%$ $x_1 = 88\%$ $x_2 = 82\%$ taux de survie $\Phi_f : 70\%$ temps de vidange $\tau : 10$ j	Nb de marchands collecteurs : 4 Nb moyen de fermes par collecteur : 10 MC1 : 7 fermes MC2 : 6 fermes MC3 : 11 fermes MC4 : 9 fermes $y = 25\%$ taux de survie $\Phi_c = 90\%$ Taux de vente journalier $Q_v = 20\% / 50\%$	Nb de marchés : 1 Nombre de marchands collecteurs par marché : 4 $z = 80\%$

Figure 6

Evolution du nombre de poulets en fonction du temps dans les fermes (Fn), chez les marchands collecteurs (MCn), au marché (MAR) et chez le consommateur (CONS) pour le tirage n° 2 poulet en faisant varier les taux de survie

(pour une meilleure lisibilité, seules trois fermes sur 34 et trois marchands collecteurs sur quatre sont représentés).

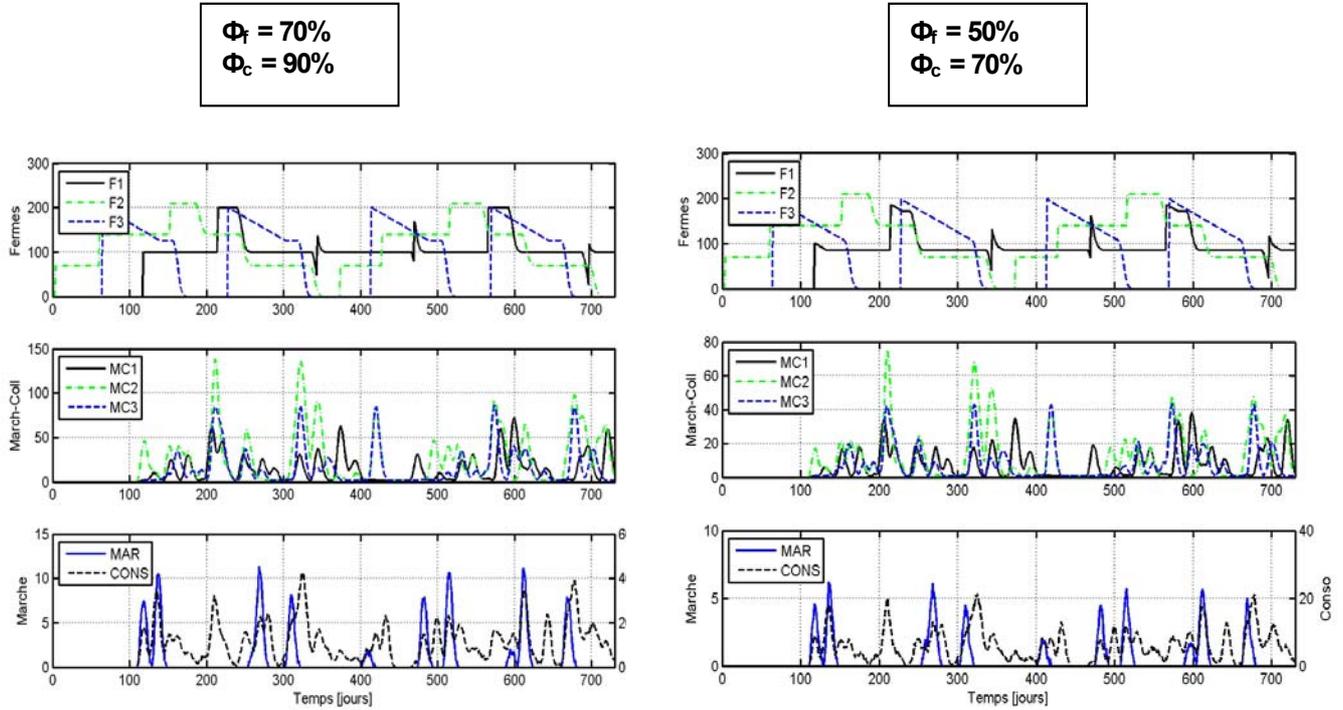
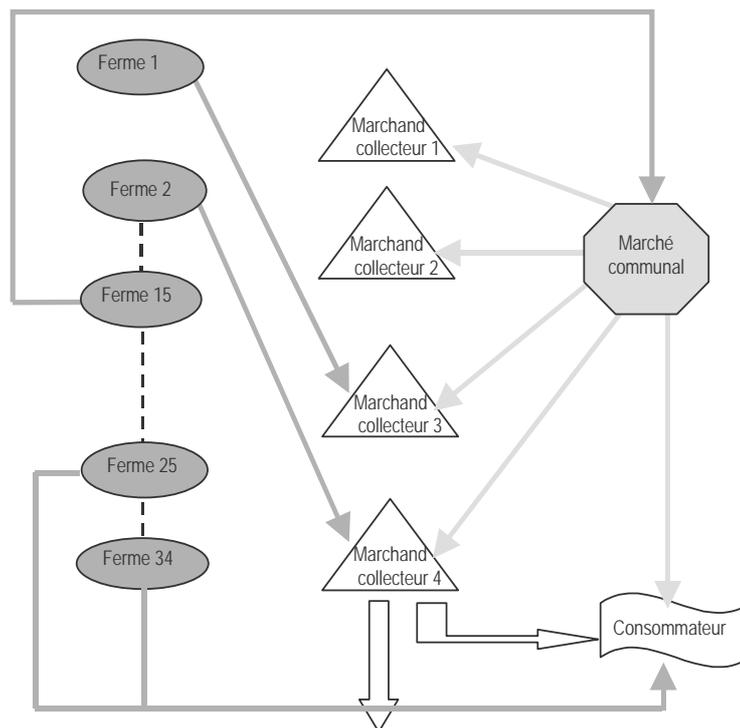


Figure 7

Configuration des connexions du réseau selon le tirage canards

(pour la lisibilité du schéma, seules cinq fermes sont représentées)



Dans le compartiment des marchands collecteurs, les canards transitent toute l'année. La période de moindre activité se situe en janvier- février. On constate que les flux les plus importants sont groupés autour de deux périodes: avril-juin et septembre-octobre. Ces périodes correspondent aux deux périodes de récoltes de riz et ces résultats sont donc cohérents avec les pratiques d'élevage des canards mis en fin d'engraissement sur les rizières après la récolte. Le flux transitant dans ce compartiment est influencé par le taux de vente journalier (figure 8): lorsque celui-ci est plus important (50%), les canards ont un

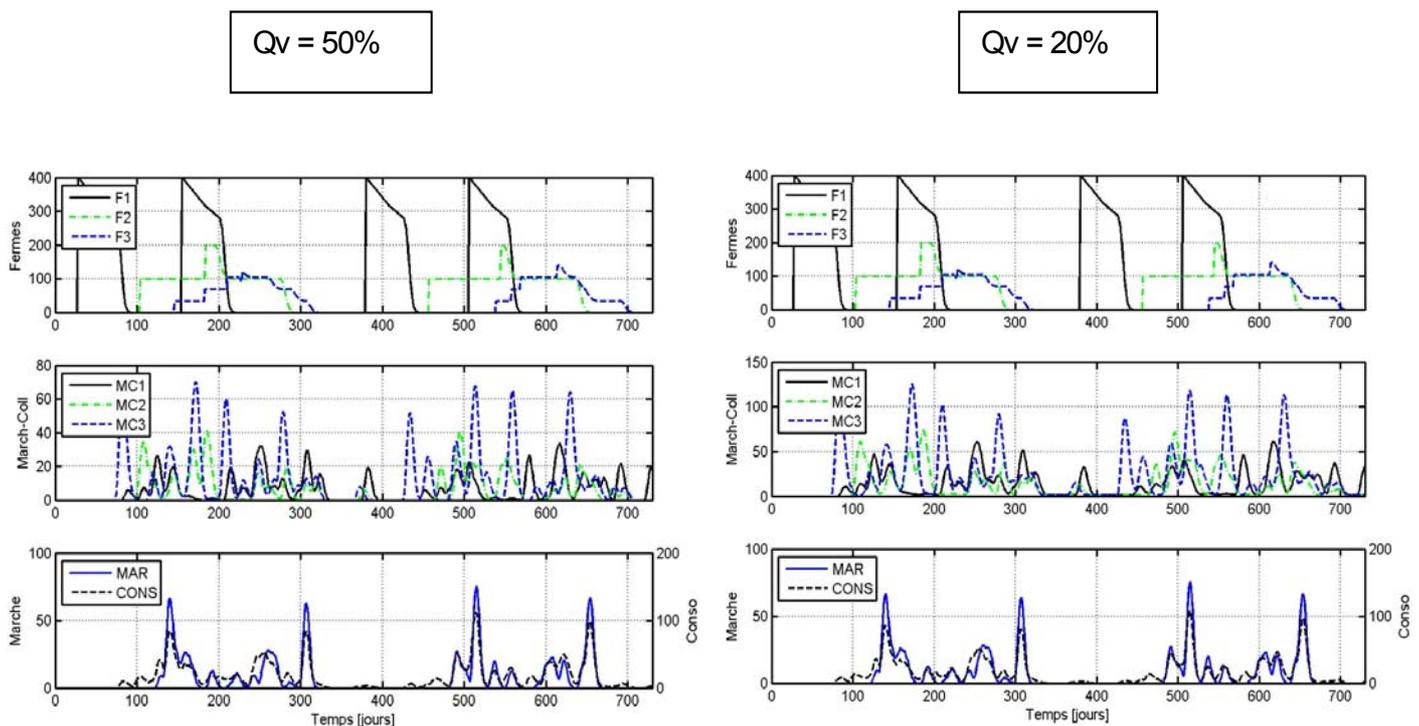
temps de séjour plus faible chez les marchands collecteurs, ce qui se traduit par un nombre moins élevé d'oiseaux au cours du temps.

On constate que les flux de canards du marché et du consommateur sont superposables. Dans les compartiments marchés et consommateurs, on distingue deux gros pics, l'un en mai-juin et l'autre en octobre-novembre (décalage d'un mois après les pics des marchands collecteurs). La variation du taux de vente de 20% à 50% n'a aucun impact sur les profils des flux de ces compartiments.

Figure 8

Evolution du nombre de canards en fonction du temps dans les fermes (Fn), chez les marchands collecteurs (MCn), au marché (MAR) et chez le consommateur (CONS) en faisant varier le taux de vente des marchands collecteurs

(pour une meilleure lisibilité, seules trois fermes sur 34 et trois marchands collecteurs sur quatre sont représentés).



IV - DISCUSSION ET CONCLUSION

L'étude se basant sur une enquête quasi exhaustive des fermes de la filière avicole au niveau communal, la question de la représentativité pour la zone d'étude ne se pose pas pour les fermes en termes d'échantillonnage. On peut en revanche s'interroger sur la représentativité de l'échantillon des marchands collecteurs (échantillonnage non aléatoire et taux de sondage difficile à évaluer). D'autre part, des biais ont pu être introduits par le questionnaire : les réponses (qualitatives) n'étant pas standardisées, elles ont pu donner lieu à une interprétation erronée, et ce d'autant plus que la vérification a posteriori était difficile. Les variables qualitatives qui ont posé le plus de problème d'interprétation dans la base de données concernent la destination des volailles vendues par les fermes. La question de la saisonnalité de la production a également été comprise différemment selon les enquêteurs et/ou les enquêtés. Ceci a introduit de l'imprécision sur la fixation de la date de début de bande.

D'autre part, il faut noter que pour certaines variables quantitatives, comme les quantités distribuées aux différentes destinations (consommateur, marchand collecteur, marché), les données disponibles concernent une période particulière de l'année, ici en l'occurrence, le mois précédant l'enquête c'est-à-dire, en mai-juin 2008. Les proportions x_c , x_d , x_1 et x_2 de la figure 2 qui sont intégrées dans le modèle ont été calculées à partir de ces valeurs qui ne sont pas forcément représentatives de l'ensemble de l'année.

Enfin, se pose la question de la représentativité spatiale de l'étude. Les données concernent plusieurs communes d'une seule province, Bac Giang. Nous avons choisi de prendre dans notre modèle des fermes réelles choisies aléatoirement parmi les fermes de toute la province en ayant vérifié préalablement que les communes étaient homogènes du point de vue de la production des fermes. Ainsi, le modèle est représentatif de toutes les communes de Bac Giang, mais la représentativité pour des communes d'autres provinces implique une structuration du réseau de la filière volailles de chair ainsi qu'une production similaires.

Les résultats du modèle peuvent être confrontés aux données de l'enquête concernant la saisonnalité de la vente des

marchands collecteurs. Cette confrontation permet de vérifier si le modèle est bien cohérent avec la réalité. Nous disposons dans les données issues de l'enquête des quantités moyennes vendues par mois ainsi que des quantités maximales et minimales vendues par les marchands collecteurs sur les différentes périodes de l'année (sans toutefois savoir si cette période s'étale sur un ou plusieurs mois). Ces valeurs s'élèvent à 145 oiseaux commercialisés par mois par marchand collecteur en moyenne avec un minimum à 65 pour les canards, 9 pour les poulets et un pic maximal à 210 pour les canards et 65 pour les poulets.

En regardant les figures 4,6 et 8 on voit que les écarts sur les valeurs entre chaque marchand collecteur peuvent être importants ; il faut donc faire attention à la comparaison avec des valeurs moyennes. Cependant, on constate que les valeurs issues des données sont plus proches pour les poulets d'une situation où le taux de survie chez le marchand collecteur serait de 70%. Mais il faut être prudent car bien d'autres facteurs peuvent influencer le modèle comme le taux de vente journalier, qui peut être plus élevé que dans notre exemple où nous l'avons fixé à 20%. Le nombre moyen de 145 oiseaux commercialisés par mois semble élevé par rapport à ce qu'on voit sur les simulations. Ce chiffre a peut-être été biaisé par le fait que l'enquête s'est déroulée en juin, juillet qui est plutôt une période de commercialisation importante, les marchands collecteurs se sont peut-être fondés sur cette période pour estimer leurs quantités commercialisées.

Concernant les variations saisonnières, on retrouve dans les données de l'enquête les résultats du modèle. Ainsi, d'après les réponses données aux enquêteurs par les marchands collecteurs, le commerce des poulets est au plus bas autour du mois d'avril puis reprend pour être maximal au mois de décembre. De même pour les canards, le pic se situe en juin, ce qui est cohérent avec les résultats du modèle.

Une étude du Pro-Poor Livestock Policy Initiative [Soares Magalhaes *et al.*, 2007] réalisée dans la province de Ha Tay met en exergue l'existence de connexions et de vente entre fermes de volailles « non finies » (c'est-à-dire n'ayant pas encore terminé leur cycle de production), que nous ne mentionnons pas

dans le réseau communal de Bac Giang. Nous avons fait des interprétations et des approximations concernant la destination des volailles produites par les fermes (la destination « vente à une autre ferme » était ambiguë et a été considérée comme « vente à un consommateur ») qui ont sans doute conduit à une perte d'information sur l'existence de cette connexion. En outre, nous n'avons pas fait de distinction entre poulets « finis » et « non finis » dans notre étude car ces derniers étaient très peu nombreux à être commercialisés dans la province de Bac Giang et étaient principalement constitués de poussins et des canetons, que nous n'avons pas inclus dans l'étude. Concernant la saisonnalité de vente, elle est comparable à notre étude (pic avant le Têt).

Tung a étudié les différents canaux de commercialisation de fermes familiales et semi-commerciales du Nord du Vietnam en fonction des caractéristiques topographiques et de leur localisation géographique: hauts plateaux, plateaux moyens et régions de basse altitude. Le marché est privilégié dans les régions de basse altitude alors que dans les régions où le relief est plus important (hauts et moyens plateaux), la vente aux marchands collecteurs est dominante. Tung analyse que selon l'accessibilité des marchés (distance, état des routes...), les fermiers privilégient l'un ou l'autre canal de vente : ainsi, les fermiers isolés vont plutôt choisir la vente aux marchands collecteurs uniquement, alors que les fermiers se trouvant proches d'un marché pourront aller y vendre une partie de leur production. Ce paramètre influence aussi le nombre de ventes par an. Il est plus important (5,1 en moyenne) dans les régions de basse altitude que dans les hauts plateaux (3,9) [Tung, 2006].

Cette étude introduit un critère de représentativité et de comparabilité des réseaux de distribution des produits avicoles: la topographie de l'emplacement des fermes traduisant l'accessibilité du marché. Ainsi, Bac Giang est une province se situant en zones de moyens et bas plateaux, son réseau de distribution est donc représentatif des autres provinces ayant les mêmes caractéristiques géographiques.

Nous avons vu dans les résultats comment évolue la population de volailles en faisant varier différents paramètres. Le modèle permet donc de prévoir l'impact de changements dans la production et dans les échanges commerciaux sur la dynamique des flux et ainsi de s'adapter à différentes situations

Dans les simulations montrées dans la partie résultat, nous avons conservé les proportions des volailles se répartissant dans les différents canaux de distribution du réseau, afin de coller au plus près des données de terrain. Mais il est fort probable que ces proportions ne soient pas figées dans le temps. De même, le nombre de connexions entre fermes et marchands collecteurs d'une part et entre marchands collecteurs et marché d'autre part sont variables selon les périodes, les conjonctures [Ifft *et al.*, 2008] et la localisation topographique des fermes comme nous venons de le voir [Tung, 2006]. Le modèle permet d'explorer l'impact de telles variations structurelles sur la dynamique de flux de volailles. En revanche, il ne pourra s'appliquer dans le cas d'un réseau dont la nature des liens entre acteurs est différente. Par exemple, l'échange entre fermes, dont nous avons discuté précédemment, n'apparaît pas dans notre réseau et ne peut pas être pris en compte dans le modèle. De même, si d'autres acteurs comme les grossistes ou des détaillants s'ajoutent à la chaîne de commercialisation. C'est une des limites du modèle: il ne peut être utilisé que sur des réseaux comparables à celui que nous avons construit ici.

La structure du réseau associée à la connaissance de l'épidémiologie de l'influenza aviaire, nous permettra de définir la typologie des contacts à risque (contact direct ou indirect entre volailles ou incorporation d'oiseaux infectés d'un compartiment à l'autre) pour la transmission du virus au sein du réseau avicole étudié. Cette première étape est nécessaire pour déterminer les probabilités de contacts qui seront ensuite intégrées dans un modèle SIR dans lequel les volailles passent d'un état sanitaire à un autre (sensible à infecté et/ou à mort). En appliquant la dynamique de flux de volailles à ce modèle épidémiologique par différentes simulations, nous pourrions visualiser comment la dynamique de population dans le réseau contrôle la dynamique épidémiologique et quels impacts les variations de flux d'échange peuvent avoir sur la propagation du virus au sein du réseau étudié. Nous pourrions ainsi utiliser le modèle pour tester différents scénarios d'introduction du virus, soit à partir des fermes, soit à partir des marchands collecteurs (ces deux scénarios ayant été évoqués pour expliquer la dissémination virale lors des précédentes épizooties [Delquigny *et al.*, 2004]) et tester l'efficacité de mesures de contrôle (vaccination et/ou abattage préventif).

BIBLIOGRAPHIE

- Agrifood Consulting International (AGC) - Poultry Sector Rehabilitation Project - Phase I: The Impact of Avian Influenza on Poultry Sector Restructuring and its Socio-economic Effects. Prepared for the Food and Agriculture Organization of the United Nations by Agrifood Consulting International. Bethesda, Maryland, 2006.
- Delquigny T., Edan M., Nguyen D.H., Pham T.K., Gautier P. - Evolution et impact de l'épidémie d'Influenza Aviaire et description de la filière au Vietnam. Rapport final. Lyon: Agronomes et Vétérinaires Sans Frontières (AVSF), 2004.
- Desvaux S., Ton V.D., Thang P.D., Hoa P.T.T., éditeurs. - A General Review and a Description of the Poultry Production in Vietnam. Hanoi: CIRAD, CIRRD, 2008.
- Gilbert M., Chaitaweesub P., Parakamawongsa T., Premashthira S., Tiensin T., Kalpravidh W. *et al.* - Free-grazing ducks and highly pathogenic avian influenza, Thailand. *Emerg. Infect. Dis.*, 2006, **12**(2), 227-234.
- Guan Y., Peiris J.S., Lipatov A.S., Ellis T.M., Dyrting K.C., Krauss S. *et al.* - Emergence of multiple genotypes of H5N1 avian influenza viruses in Hong Kong SAR. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2002, **99** (13), 8950-8955.
- Hulse-Post D.J., Sturm-Ramirez K.M., Humberd J., Seiler P., Govorkova E.A., Krauss S. *et al.* - Role of domestic ducks in the propagation and biological evolution of highly pathogenic H5N1 influenza viruses in Asia. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2005, **102** (30), 10682-10687.
- Ifft J., Otte D., Roland-Holst D., Zilberman D. - Poultry Market Institutions and Livelihoods: Evidence from Viet Nam. Rome: Pro-Poor Livestock Policy Initiative Food and Agriculture Organization, 2008.
- Kim Lan L.T., Quoc H.D., Soares Magalhaes R. - Sources and Destinations of Poultry Traded in Ha Vi Market: Results of a Participatory Appraisal. Rome: Pro-Poor Livestock Policy Initiative Food and Agriculture Organization, 2007.
- Nguyen D.C., Uyeki T.M., Jadhao S., Maines T., Shaw M., Matsuoka Y. *et al.* - Isolation and characterization of avian influenza viruses, including highly pathogenic H5N1, from poultry in live bird markets in Hanoi, Vietnam, in 2001. *J. Virol.*, 2005, **79** (7), 4201-4212.
- Office International des Epizooties (OIE) - Point sur la situation de l'influenza aviaire hautement pathogène chez les animaux (type H5 et H7) Paris: Foyers d'influenza aviaire (sous-type H5N1) chez les volailles. De fin 2003 au 28 mai 2009. [mis à jour 4 juin 2009 cité le 14 juin 2009]. Disponible sur http://www.oie.int/download/AVIAN%20INFLUENZA/graphique%20IAHP/graphique%20IAHP%2028_05_2009.pdf
- Schuff E. - La filière du canard de chair au Vietnam et son rôle dans la propagation de l'Influenza aviaire hautement pathogène à H5N1 *Thèse Méd. Vétérinaire*, Lyon, Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon, 2009.
- Soares Magalhaes R., Pfeiffer D., Wieland D., Dung D., Otte J. - Commune-level Simulation Model of HPAI H5N1 Poultry Infection and Control in Viet Nam. Rome: Pro-Poor Livestock Policy Initiative Food and Agriculture Organization, 2006.
- Soares Magalhaes R., Quoc H.D., Kim Lan L.T. - Farm Gate Trade Patterns and trade at Live Poultry Markets Supplying Ha Noi: Results of a Rapid Rural Appraisal. Rome: Pro-Poor Livestock Policy Initiative Food and Agriculture Organization, 2007.
- Sturm-Ramirez K.M., Ellis T., Bousfield B., Bissett L., Dyrting K., Rehg J.E. *et al.* - Reemerging H5N1 influenza viruses in Hong Kong in 2002 are highly pathogenic to ducks. *J. Virol.*, 2004, **78** (9), 4892-4901.
- Sturm-Ramirez K.M., Hulse-Post D.J., Govorkova E.A., Humberd J., Seiler P., Puthavathana P. *et al.* - Are ducks contributing to the endemicity of highly pathogenic H5N1 influenza virus in Asia? *J. Virol.*, 2005, **79** (17), 11269-11279.
- Tiensin T., Nielen M., Vernooij H., Songserm T., Kalpravidh W., Chotiprasatintara S. *et al.* - Transmission of the highly pathogenic avian influenza virus H5N1 within flocks during the 2004 epidemic in Thailand. *J. Infect. Dis.*, 2007, **196** (11), 1679-1684.
- Tran T.H., Nguyen T.L., Nguyen T.D., Luong T.S., Pham P.M., Nguyen V.C. *et al.* - Avian

- Influenza A (H5N1) in ten patients in Vietnam. *The New England Journal of Medicine*, 2004, **350** (12), 1179-1188.
- Tung D.X. - Smallholder Poultry Production in Vietnam Marketing Characteristics and Strategies. Hanoi: National Institute of Animal Husbandry, 2006.
- Vong S., Ly S., Mardy S., Holl D., Buchy P. - Environmental contamination during influenza A virus (H5N1) outbreaks, Cambodia, 2006. *Emerg. Infect. Dis.*, 2008, **14** (8), 1303-1305.
- Wang M., Di B., Zhou D.H., Zheng B.J., Jing H., Lin Y.P. *et al.* - Food markets with live birds as source of avian influenza. *Emerg. Infect. Dis.*, 2006, **12** (11), 1773-1775.
- Webster R.G., Peiris M., Chen H., Guan Y. - H5N1 outbreaks and enzootic influenza. *Emerg. Infect. Dis.*, 2006, **12** (1), 3-8.

