



**ENVT**

23 chemin des Capelles  
31076 Toulouse cedex 3



**CIRAD-EMVT**

Campus international de Baillarguet  
34398 Montpellier cedex 5

**CERTIFICAT D'ÉTUDES APPROFONDIES VÉTÉRINAIRES (CEAV) « PATHOLOGIES ANIMALES EN RÉGIONS CHAUDES – ÉPIDÉMIOLOGIE – SURVEILLANCE – »**

## **RAPPORT DE STAGE**

# **MODÉLISATION DU RISQUE D'INTRODUCTION DES PESTES AVIAIRES (INFLUENZA AVIAIRE HAUTEMENT PATHOGÈNE ET MALADIE DE NEWCASTLE) PAR LA DISTRIBUTION GOUVERNEMENTALE DE VOLAILLE IMPORTÉE EN ÉTHIOPIE**

Présenté par

**Eulàlia CLARET i VIRÓS**

Réalisé sous la direction de : Dr GOUTARD, Flavie

Organisme et pays : CIRAD-EMVT, France

Période de stage : janvier à juin 2008

Date de soutenance : le 17 septembre 2008

## REMMERCIEMENTS

Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont aidée à la réalisation et le développement de ce stage, en commençant par les gens du CIRAD : à Dr. Flavie Goutard, qui m'a fait confiance depuis le début et m'a donnée des très précieux conseils. À Dr. François Roger pour m'avoir accueilli dans son unité. À Philippe Caufour, expatrié en Éthiopie, pour m'avoir aidée à me situer.

À la structure scientifique en Éthiopie : à mon tuteur Dr. Abraham Gopilo du laboratoire éthiopienne national animale de santé, maladie et investigation (NAHDIC), pour m'avoir encadré dans le contexte éthiopienne, à Dr. Mesfin directeur du NAHDIC pour m'avoir accueilli dans son structure et pour toutes les facilités que m'a proportionné. À Dr. Martha Yami directrice du laboratoire national éthiopienne (NVI) pour être toujours prête à collaborer avec le projet.

À la structure politique en Éthiopie : à Dr. Berhe Gebreegziabher, chef du « Animal and Plant Health Regulatory Department » du Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, pour m'avoir apportée l'appui institutionnel nécessaire pour bien travailler dans le contexte éthiopien. À Dr. Amsalu Dewissie du même ministère pour tout son aide.

À Dr. Yilma Jobre, coordinateur des projets d'Influenza aviaire de la FAO en Éthiopie et Dr. Laike Mariam de USAID, pour son temps dédié et son soutien permanent.

À toutes les personnes qui m'ont soutenu lors de mes terrains : à Ato Abel Mersie, conseiller national de l'Influenza Aviaire de la FAO à la région du SNNP qui a été engagé depuis le début avec le projet et a été clé pour le bon démarrage. Et beaucoup d'autres personnes qui ont rendu le travail accessible, comme Ato Tilahum, directeur de l'administration agricole d'Awassa, Ato Birhanu responsable de la zone de Sidama, Ato Tamiremaria w/Meskel de la région d'Oromia,...

Aux responsables des fermes gouvernementales : à Ato Mekibeb, de Gubrie et Ato Daniel de Fiche, qui ont démontré un intérêt, collaboration et gentillesse exceptionnels. À quelques employés des Woredas qui ont devenu des amis. Sans eux, rien n'aurait été possible : Sisay Taye de Chuko, Mekonnen Tsehay d'Aletawondo, Melesse Meno de Damboya et Bekele Legesse de Gutogida et bien sûr, tous les employés des Kebeles, qui ont participé et nous ont approché aux fermiers.

Et aussi quelques mots pour d'autres personnes qui ont fait que mon séjour soit inoubliable : à Mulugeta et Daniel, avec qui j'ai passé certainement plus d'heures. Ça n'aurait pas pu être mieux. Mais aussi à Messay, Hailu, Terefa, Getnet, Demisachew, Eric, Marion, Olivier, Samir, Getaneh et toute sa famille avec qui j'ai partagé des très bons moments...

Merci, aussi, à toutes les personnes qui m'ont aidé à écrire le rapport en français: à mon frère Daniel, à Julie... et toutes les personnes de l'unité AGIR du CIRAD à Montpellier (stagiaires, thésards, cdd...), très spécialement à Marie-Marie qui m'a aidée depuis le départ.

## SOMMAIRE

|   |    |
|---|----|
| SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....   | 11 |
| I.1 Les Pestes Aviaires .....   | 11 |
| I.1.a Généralités sur l’Influenza Aviaire Hautement Pathogène et la maladie de Newcastle..... | 11 |
| i. Les agents pathogènes .....  | 11 |
| ii. La transmission.....  | 12 |
| iii. Les signes cliniques .....   | 12 |
| iv. Le diagnostique.....  | 12 |
| I.1.b Le contrôle de la maladie de Newcastle en situation enzootique: La vaccination :.....   | 12 |
| i. Utilisation des vaccins .....  | 12 |
| ii. Stratégies de vaccination .....   | 13 |
| iii. Dissémination des virus virulents parmi une population vaccinée de façon hétérogène      | 13 |
| iv. Evaluation technique des méthodes d’administration du vaccin .....                        | 13 |
| I.1.c Situation épidémiologique des Pestes aviaires en Éthiopie .....                         | 14 |
| i. Situation de l’Influenza Aviaire Hautement Pathogène .....                                 | 14 |
| ii. Situation de la maladie de Newcastle .....  | 14 |
| I.2 Présentation de la méthode d’analyse de risque.....                                       | 15 |
| I.2.a Définition de l’analyse de risque en épidémiologie.....                                 | 15 |
| I.2.b Méthode de l’analyse de risque en épidémiologie animale (OIE) .....                     | 15 |
| I.2.c Étapes de l’analyse de risque .....   | 15 |
| i. Identification du danger .....   | 15 |
| ii. Appréciation du risque.....   | 16 |
| iii. Gestion du risque .....  | 16 |
| iv. Communication du risque .....   | 16 |
| I.2.d Analyse qualitative et quantitative de l’analyse de risque .....                        | 16 |
| I.2.e Analyse de Risque Quantitative.....   | 16 |
| i. Notions de calcul de probabilité et statistique .....                                      | 16 |
| ii. Appréciation probabiliste ou stochastique.....  | 17 |
| iii. Mise en œuvre de l’appréciation stochastique des risques .....                           | 17 |
| iv. Réflexions préalables à la mise en place d’une appréciation.....                          | 18 |
| TRAVAIL PERSONNEL.....  | 19 |
| I Introduction .....  | 19 |
| II Objectifs.....   | 20 |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| III     | Le contexte.....  | 21 |
| III.1   | Présentation de l'Éthiopie .....  | 21 |
| III.2   | Le secteur avicole en Éthiopie.....   | 21 |
| III.2.a | Présentation de l'élevage en l'Éthiopie.....                                  | 21 |
| i.      | La population aviaire en Ethiopie .....                                       | 21 |
| ii.     | Les types d'élevages .....  | 21 |
| ii.2    | La production de poulets de trois mois par des centres gouvernementaux.....   | 22 |
| ii.3    | Le système d'organisation de la vente de la volaille à trois mois.....        | 22 |
| III.2.b | La vaccination contre la maladie de Newcastle en Éthiopie .....               | 23 |
| IV      | Matériel et méthodes.....   | 24 |
| IV.1    | Mise en place de l'appréciation de risques quantitatives .....                | 24 |
| IV.1.a  | La question relative au risque.....   | 24 |
| IV.1.b  | Identification du danger.....   | 24 |
| IV.1.c  | Appréciation du risque .....  | 24 |
| IV.1.d  | Etablissement du modèle conceptuel .....                                      | 24 |
| IV.1.e  | Établissement des modèles événementiels .....                                 | 25 |
| i.      | Conception du modèle événementiel principal.....                              | 25 |
| ii.     | Conception des modèles événementiels secondaires.....                         | 27 |
| IV.1.f  | Simulation de la probabilité d'introduction d'au moins un animal infecté..... | 33 |
| IV.2    | Récolte des données.....  | 34 |
| IV.2.a  | Activités réalisées .....   | 34 |
| i.      | Les données officielles .....   | 34 |
| ii.     | Les observations des distributions .....                                      | 34 |
| iii.    | Les enquêtes.....   | 34 |
| IV.2.b  | Aire d'étude.....   | 35 |
| i.      | Critères de détermination du terrain .....                                    | 35 |
| ii.     | Distributions de volaille réalisées.....                                      | 35 |
| IV.2.c  | Population d'étude.....   | 35 |
| i.      | Echantillonnage .....   | 35 |
| IV.2.d  | Taille de l'échantillon .....   | 36 |
| i.      | Des distributions .....   | 36 |
| ii.     | Enquêtes auprès des éleveurs.....   | 36 |
| IV.3    | Hypothèses .....  | 37 |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| IV.3.a  | Influenza aviaire hautement pathogène.....                        | 37 |
| i.      | Infection depuis la ferme gouvernementale.....                    | 37 |
| ii.     | Infection pendant le trajet.....                                  | 37 |
| IV.3.b  | Maladie de Newcastle .....  | 38 |
| i.      | Pré-considerations pour la maladie de Newcastle .....             | 38 |
| ii.     | Infection depuis la ferme gouvernementale.....                    | 38 |
| iii.    | Infection pendant le trajet .....                                 | 39 |
| IV.4    | Valeur des paramètres .....                                       | 40 |
| IV.5    | Le traitement des données.....                                    | 40 |
| V       | Résultats.....  | 41 |
| V.1.    | Probabilité qu’au moins un poulet ait un contact infectieux ..... | 41 |
| V.1.a   | Influenza Aviaire Hautement Pathogène.....                        | 41 |
| i.      | Si l’infection a eu lieu à la ferme gouvernementale : .....       | 41 |
| ii.     | Si l’infection a eu lieu pendant le trajet : .....                | 41 |
| iii.    | Analyse de Sensibilité.....                                       | 41 |
| V.1.b   | Maladie de Newcastle .....  | 42 |
| i.      | Si l’infection a eu lieu à la ferme gouvernementale .....         | 42 |
| ii.     | Si l’infection a eu lieu pendant le trajet.....                   | 42 |
| iii.    | Analyse de Sensibilité.....                                       | 42 |
| V.2.    | Réduction sur l’appréciation de risque .....                      | 44 |
| V.2.a   | Influenza Aviaire Hautement Pathogène.....                        | 44 |
| i.      | Variations sur l’isolement : .....                                | 44 |
| V.2.b   | Maladie de Newcastle .....  | 45 |
| i.      | Variations sur l’isolement : .....                                | 45 |
| ii.     | Variations sur la vaccination : .....                             | 45 |
| iii.    | Variations sur l’isolement et la vaccination : .....              | 45 |
| V       | Discussion.....   | 47 |
| VI      | Conclusion .....  | 51 |
| VII     | Bibliographie.....  | 52 |
| ANNEXES | .....   | 55 |
|         | Influenza Aviaire Hautement Pathogène. Trajet. Isolement.....     | 73 |
|         | Maladie de Newcastle. Ferme gouvernementale. Isolement .....      | 73 |
|         | Maladie de Newcastle. Ferme gouvernementale. Vaccination.....     | 73 |

|  |    |
|--|----|
| Maladie de Newcastle. Ferme gouvernementale. Isolement et Vaccination..... | 73 |
| Maladie de Newcastle. Trajet. Isolement .....                              | 74 |
| Maladie de Newcastle. Trajet. Vaccination.....                             | 74 |
| Maladie de Newcastle. Trajet. Isolement et Vaccination .....               | 74 |
| RÉSUMÉ .....   | 75 |

## **Table des annexes**

**Annexe 1:** Les Régions et Zones d'Éthiopie (FAO, 2005)

**Annexe 2:** Fermes gouvernementales par Région (Olive 2007)

**Annexe 3 :** Modèle conceptuel d'introduction d'influenza H5N1 en Éthiopie (Olive 2007)

**Annexe 4:** Exemple de Récolte des données pendant le trajet

**Annexe 5:** Extrait des enquêtes aux centres de multiplication

**Annexe 6:** Extrait des enquêtes aux fermiers villageois

**Annexe 7:** Carte des distributions suivies pendant la période de stage

**Annexe 8:** Total des distributions des Fermes Gouvernementales

**Annexe 9:** Protocoles vaccinaux des Fermes Gouvernementales visitées

**Annexe 10:** Distributions des paramètres

**Annexe 11:** Présentation des figures de résultats

## **Table des figures**

**Figure I:** Distribution de volaille exotique provenant des fermes gouvernementales (Olive 2007).

**Figure II:** Modèle conceptuel du risque d'introduction des pestes aviaires dans la volaille à 3 mois à partir des distributions par des fermes gouvernementales

**Figure III:** Modèle événementiel principal

**Figure IV:** IAHP infection depuis la ferme gouvernementale

**Figure V:** IAHP infection pendant le trajet

**Figure VI:** NCD infection depuis la ferme gouvernementale

**Figure VII:** NCD infection pendant le trajet

**Figure VIII:** Probabilité au moins 1 poulet avec contact infectieux. HPAI. FG

**Figure IX:** Analyse de sensibilité. HPAI. FG

**Figure X:** Analyse de sensibilité. HPAI. Trajet

**Figure XI:** Analyse de sensibilité. NCD. FG

**Figure : XII:** Analyse de sensibilité. NCD. Trajet

**Figure XIII:** Probabilité au moins 1 poulet avec contact infectieux. HPAI. FG. Isolement

**Figure XIV:** Probabilité au moins 1 poulet avec contact infectieux. NCD. FG. Isolement et Vaccination

## **Table des tables**

**Table I :** : Proportion des fermiers pratiquant l'isolement. IAHP. FG

## **Liste des abréviations et acronymes**

**AFFSA** : Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments

**ARN**: Acid Ribonucleique

**CSA**: Central Statistic Agency

**FAO** Food and Agriculture Organization of the United Nations

**FSP**: Fonds de Solidarité Prioritaires

**GATT** General Agreement on Tariffs and Trade

**HA** : Hémagglutinine

**IAHP** : Influenza Aviaire Hautement Pathogène

**ILRI**: International Livestock Institut

**NA** : Neuraminidase

**NAHDIC**: National Animal Health Disease and Investigation Center

**NCD** :Maladie de Newcastle

**NVI**: National Veterinary Institut

**OIE** : Organisation Mondiale de la Santé Animale

**OMC** : Organisation Mondiale du Commerce

**SNNP**: Peoples, Nations et Nationalités du Sud

# SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Ce mémoire de CEAV-PARC repose sur deux axes bibliographiques : une synthèse sur l'épidémiologie et le contrôle des pestes aviaires qui a permis de définir les critères essentiels lors du choix des paramètres ; une revue des concepts généraux de l'analyse de risque afin d'aider à la structuration du travail pour la mise en place du modèle.

## I.1 Les Pestes Aviaires

### I.1.a Généralités sur l'Influenza Aviaire Hautement Pathogène et la maladie de Newcastle

#### i. Les agents pathogènes

**i.1 Influenza Aviaire Hautement Pathogène (IAHP):** les virus *Influenza* font partie de la famille des Orthomyxoviridés qui sont des virus à simple hélice ARN. La nature des antigènes internes définit les types d'influenza virus qui sont au nombre de trois : A, B et C. Les influenzas aviaires sont de type A. C'est la nature des antigènes externes qui définit leur sous types : l'Hémagglutinine (HA) et la Neuraminidase (NA). Actuellement, les souches identifiées comme hautement pathogènes sont les types H5 et H7 appartenant au genre *Influenza virus A* (OIE 2004).

Dans la littérature scientifique, il est décrit que la survie des virus Influenza Aviaire est très variable en fonction du milieu et de la température extérieure :

- Au moins 55 jours dans des fèces à une température de 4°C (Martin 2006)
- Dans des fientes de poulets, 30 minutes au soleil à une température comprise entre 33 et 36°C et jusqu'à 4 jours en conditions sèches et 12 jours en conditions humides à l'ombre à une température voisine de 25 à 33°C
- 5 semaines dans un poulailler (Webster 1978)
- 4 jours dans les eaux d'un lac à 22°C et 30 jours à 0°C (Webster 1978)

La résistance du virus à la plupart des désinfectants est inférieure à 10 minutes et la durée d'incubation de la maladie est de 3 à 5 jours (OIE 2004), avec une période maximale de 10 jours (US.AHA 1994)

**i.2 Maladie de Newcastle (NCD) :** le virus de la Newcastle est un virus ARN qui fait partie de la famille des Paramyxoviridés. Parmi les neuf sérotypes reconnus dans cette famille, le virus de la Newcastle représente l'APMV-1 (4), du genre *Rubulavirus*. Les souches de Newcastle ont été regroupées en cinq groupes de différentes virulences présentées par ordre décroissant de pathogénéicité (OIE 2004) :

- Viscerotropic velogenique
- Neurotropic velogenique
- Mesogenique
- Lentogenic
- Asymptomatique entérique

Sa résistance est très élevée à température ambiante. Il reste infectieux (OIE 2004) :

- Plusieurs mois dans les matières fécales
- 2 à 3 mois au sol, dans un poulailler
- 2 ans et plus dans une carcasse non cuite et congelée
- Il est sensible à plusieurs agents chimiques et désinfectants

Selon l'OIE, la durée d'incubation de la NCD est de 4 à 6 jours. La période d'excrétion selon une étude expérimentale est de 9 jours (Kapczynski 2005)

## **ii. La transmission**

Le mode de transmission de la NCD et des IAHP se fait par contact direct avec des sécrétions contaminées, notamment par contamination fécale des oiseaux infectés, mais aussi par d'autres sécrétions (respiratoires, conjonctivales,...). Les éléments qui peuvent jouer un rôle dans la voie indirecte de transmission sont les carcasses contaminées, la nourriture, l'eau ou d'autres matériaux contaminés comme les véhicules, les cages... (OIE 2005).

## **iii. Les signes cliniques**

Les signes cliniques varient selon les souches virales de l'IAHP et les espèces concernées. Ils ne peuvent pas être différenciés de ceux de la maladie de Newcastle. Ainsi, après une incubation en général très courte (de 24h à quelques jours), les animaux infectés présentent des troubles nerveux (paralysie, convulsions, perte d'équilibre), respiratoires, digestifs, mais aussi des œdèmes de la tête, des chutes de ponte. Ces symptômes peuvent être diversement associés et conduisent à une mort plus ou moins rapide. Une mortalité importante, rapide et soudaine est en soit un indice qui doit faire penser à l'une ou l'autre de ces maladies, mais seul un diagnostic de laboratoire peut apporter une confirmation (Afssa 2007).

## **iv. Le diagnostique**

Comme l'IAHP et la forme vélogénique de la maladie de NCD ne sont pas différenciables au plan clinique, des tests laboratoires doivent être réalisés. Des kits commerciaux d'ELISA sont disponibles pour les deux maladies. Dans le cas de l'influenza, il s'agit de la détection d'anticorps contre les protéines de nucléocapside du virus influenza (OIE 2005). Dans le cas de Newcastle, plusieurs techniques sont pratiquées dont la détection d'anticorps de type A qui est la plus habituelle (OIE 2005).

### **I.1.b Le contrôle de la maladie de Newcastle en situation enzootique: La vaccination :**

#### **i. Utilisation des vaccins**

Les protocoles de vaccination s'appliquent dans des pays où la maladie est enzootique (OIE 2005). La nécessité apparaît lorsque l'on souhaite assurer aux élevages vaccinés un haut niveau d'immunité, face au risque que représente la circulation de souches vélogéniques viscerotropiques dans le milieu extérieur.

Dans le passé, la forte virulence des vaccins utilisés était à l'origine de certains foyers et était responsable d'une diminution de croissance (Alexander 2003). Afin de combattre ces effets secondaires, les laboratoires se sont orientés vers l'utilisation de souches moins virulentes pour la production de leur vaccin (Van Boven 2008). Cette stratégie a effectivement réduit la mortalité due à la vaccination, mais a contribué à ce que les vaccins et les campagnes de vaccination n'aient pas une

effectivité maximale pour la prévention de l'infection et sa transmission (Alexander 2003; Kapczynski 2005)

Ci-dessous la liste des vaccins commercialisés sur le marché (OIE 2005):

- Vaccins à virus vivants :
  - Lentogène : Hitchner B1, LaSota, V4, NDW, I2 et F.
  - Mesogène : Roakin, Mukteswar et Komarov.
- Vaccins inactivés
  - Souches virulentes.
  - Souches non virulentes.

## **ii. Stratégies de vaccination**

Différentes stratégies peuvent être appliquées, avec différents niveaux de protection associés. Un grand nombre de facteurs peut faire varier le titrage d'anticorps en réponse au vaccin : la présence d'anticorps maternels (Eidson 1975, Russell 1995), l'effet de l'âge (Giambrone 1981), la voie d'administration du vaccin (Giambrone 1981 ; Westbury 1984 ; Russell 1995), la date de la première injection du protocole vaccinal (Giambrone 1981), la transmission latérale du vaccin en élevage confiné (Spradbrow 1996) et les fortes variations individuelles, surtout quand les administrations sont réalisées sous forme oculaire ou orale (Senne 2004).

## **iii. Dissémination des virus virulents parmi une population vaccinée de façon hétérogène**

La détermination d'une épizootie est conditionnée par l'immunité du troupeau. Chaque individu aura de façon hétérogène, un haut et bas niveau de protection après vaccination (Van Boven 2008). L'immunité du "troupeau" est réussie quand la proportion d'animaux avec un haut niveau de protection est égale ou supérieure à une certaine fraction critique d'animaux avec une immunité élevée (entre 70 et 90 % suivant les maladies). Ce niveau critique dépend du nombre de reproduction de l'agent infectieux au sein de populations avec un niveau de protection variable (Van Boven 2008). Selon une étude expérimentale (Van Boven 2008), plus de 85% de la volaille doit avoir un niveau élevé d'anticorps ( $\log_2$  égal ou supérieur à 3) après vaccination, afin d'éviter toute situation d'épizootie parmi une population vaccinée. Malgré tout, l'infection, l'excrétion et la transmission des souches virulentes de Newcastle parmi une population de volaille vaccinée pourrait survenir sans signes de maladies (Van Boven 2008 ; Kapczynski 2005). De plus, le virus peut rester latent dans les groupes de poulets immunisés (Allan 1973).

## **iv. Evaluation technique des méthodes d'administration du vaccin**

Une étude expérimentale a été réalisée en Éthiopie (Degefa 2004). L'objectif était de comparer techniquement et économiquement trois méthodes d'administration du vaccin contre la Newcastle sur des poulets de chair: l'instillation conjonctivale, la voie orale dans l'eau de boisson et en spray. L'expérimentation se fait sur 800 poussins d'un jour répartis en 5 groupes. Chaque groupe est subdivisé de façon aléatoire en 3 sous groupes qui recevront les vaccins par voie différentes (spray, oculaire et eau de boisson) et administrés avec 2 doses à intervalle de 21 jours. Ces vaccins sont LaSota , Hitchner B1 (tous les deux produits à l'Institut National Vétérinaire Ethiopienne – NVI), et un vaccin inactivé (produit à Intervet International B.V. Wim de Körvestraat, AA Boxmeer, Hollande). La primovaccination se fait avec HB1 et les rappels avec LaSota. Après 9 semaines, 15 poussins par groupe, choisis de façon aléatoire, sont soumis à une infection expérimentale d'une souche locale de virus Newcastle hautement pathogène. Les résultats décrivent les différents niveaux d'anticorps produits par les animaux en fonction des différents types de vaccins. On obtient un pic de

6,6 log<sub>2</sub> pour une instillation oculaire, un pic de 6,3 log<sub>2</sub> pour une administration orale par eau de boisson et un pic de 5,9 log<sub>2</sub> pour une administration à base de spray. Seulement 6,7% des animaux vaccinés par voie oculaire meurent après l'infection expérimentale contre environ 50 % pour les autres voies d'administration.

#### I.1.c Situation épidémiologique des Pestes aviaires en Éthiopie

##### **i. Situation de l'Influenza Aviaire Hautement Pathogène**

Jusqu'à présent, aucun cas n'a été déclaré en Éthiopie. Néanmoins, le risque d'introduction par des oiseaux migrateurs ou lors de l'introduction de poussins d'un jour par des fermes industrielles, bien que faible (Goutard 2006), est possible.

##### **ii. Situation de la maladie de Newcastle**

Bien que la situation épidémiologique de la Newcastle en Éthiopie pour les volailles dans les villages ne soit pas clairement comprise (Tadelle 2005), il semble que ce soit la maladie épizootique la plus importante puisqu'elle entraîne de grandes pertes chaque année (Zelege 2005). Des souches vélogéniques sont largement répandues (Zelege 2005). Le virus reste latent dans les groupes de poulets immunisés (Allan 1973), ce qui expliquerait les résurgences épizootiques annuelles (Tadelle 2005).

## I.2 Présentation de la méthode d'analyse de risque

### I.2.a Définition de l'analyse de risque en épidémiologie

L'analyse de risque est une démarche scientifique qui peut être appliquée à plusieurs domaines. Dans le cadre de ce travail, son application sera limitée au commerce des animaux.

Cette démarche permet « d'organiser les informations disponibles sur un sujet donné, de les traduire en probabilités et d'en déduire logiquement des règles de décision » (Toma 2002). Elle consiste à identifier un ou plusieurs dangers connus ou potentiels et à apprécier le risque relatif à ces dangers afin de pouvoir les gérer et communiquer à leur sujet. Pour les scientifiques, c'est une méthode qui permet de comprendre et d'évaluer les événements qui peuvent aboutir à l'apparition du risque. Pour les gestionnaires, c'est un outil d'aide à la décision (Toma 2002).

### I.2.b Méthode de l'analyse de risque en épidémiologie animale (OIE)

Depuis la signature des accords du General Agreement on Tariffs and Trade (GATT) en 1994 et la création de l'Organisation Mondiale du Commerce (OMC), les échanges se sont libéralisés, en particulier ceux concernant les animaux vivants et les produits d'origine animale, entraînant une augmentation des risques sanitaires. Face à cette réalité, les accords sur les applications des mesures sanitaires et phytosanitaires (Accord SPSS, Marrakech, 1994) ont pour but de faciliter ces échanges, en encourageant les Etats membres à mettre en place des normes et des recommandations.

Ces Accords SPSS reconnaissent l'Organisation Internationale des Epizooties (OIE) comme « l'organisation internationale compétente pour l'élaboration et la promotion de normes, lignes directrices et recommandations internationales concernant le commerce des animaux vivants et des produits d'origine animale » (OIE 2006). À ce sujet, l'OIE propose dans le chapitre 1.3.2 du Code sanitaire pour les animaux terrestres une démarche pour conduire des analyses de risque transparentes, objectives et justifiables vis-à-vis des échanges internationaux. Si ce code a été établi pour le commerce international et pour fournir, ainsi, aux pays importateurs une méthode objective et justifiable pour évaluer les risques d'importation, il n'en reste pas moins que « la démarche de l'analyse de risque est transposable à ces mêmes marchandises échangées entre zones d'un même pays » (Toma 2002). La recherche de ce travail s'intéressera tout particulièrement à ce commerce intérieur.

### I.2.c Étapes de l'analyse de risque

D'après le code zoosanitaire international de l'OIE, l'analyse de risque se structure en quatre composantes:

- Identification du danger
- Appréciation du risque
- Gestion du risque
- Communication du risque

#### **i. Identification du danger**

En fonction de la définition utilisée, un danger peut être « tout agent biologique, chimique ou physique pouvant avoir un effet néfaste pour la santé » (Toma 2002). Mais un danger peut aussi être la maladie en elle-même. Dans tous les cas, cette étape a pour but l'identification de ce danger qui

serait susceptible de produire des effets indésirables s'il est importé avec la marchandise. A chaque type de danger correspond une analyse de risque (Toma 2002).

## **ii. Appréciation du risque**

Cette composante se divise en deux grandes parties : l'estimation et l'évaluation du risque. L'estimation permet de qualifier ou quantifier une probabilité de survenue d'un danger (formée par l'ensemble d'une probabilité d'émission et d'exposition) et les conséquences de ses effets néfastes sur une population donnée. Il s'agit alors de mesurer le risque global associé à un danger en intégrant des appréciations d'émission, d'exposition et de conséquence. (Toma 2002)

L'étape concernant l'évaluation du risque permet de comparer le niveau estimé au niveau que l'on considère acceptable. S'il n'est pas acceptable, il est nécessaire de mettre en place des mesures pour diminuer ce risque. (Toma 2002).

## **iii. Gestion du risque**

La gestion du risque est un « processus d'identification, de sélection et de mise en œuvre de mesures permettant de réduire le risque » (Toma 2002).

## **iv. Communication du risque**

La communication du risque correspond à un « échange d'informations et d'opinions concernant le risque, entre les responsables de l'estimation du risque, les responsables de la gestion du risque et les autres parties intéressées telles que les milieux professionnels et le public » (Toma 2002). Cet échange a lieu tout au long de la démarche de l'analyse de risque.

### **I.2.d Analyse qualitative et quantitative de l'analyse de risque**

L'analyse de risque peut se conduire de deux façons différentes : soit qualitative, où l'on attribue un adjectif à un risque déterminé, soit quantitative, où l'on associe une valeur ou une distribution de probabilité au risque à estimer. Néanmoins, la démarche est similaire. Pour faire l'estimation du risque, il faudra décortiquer cette étape et y associer une probabilité à chaque composante :

- Probabilité d'émission
- Probabilité d'exposition
- Conséquences probables : sanitaires et économiques

« Cependant, pour des raisons d'économie et de commodité, la démarche, dans l'analyse quantitative, est parfois raccourcie et limitée à l'estimation de la probabilité d'émission » (Toma 2002).

### **I.2.e Analyse de Risque Quantitative**

#### **i. Notions de calcul de probabilité et statistique**

Pour la compréhension des résultats et leur interprétation, il est nécessaire de passer en revue quelques concepts généraux de probabilité et statistique.

## **i.1 Notions de calcul de probabilité**

Il faut faire la différence entre deux concepts : expérience et événement aléatoire. L'expérience est un processus qui fournit de l'information pour confirmer une hypothèse ; et l'événement aléatoire est constitué des différentes possibilités de résultat de cette expérience. Ces deux concepts forment la notion de probabilité, qui est le résultat d'une expérience avec une valeur comprise entre 0 et 1. « Cette valeur représente une quantification de la prévision ou la vraisemblance de la survenue de l'événement » (Pouillot 2002). Le nombre de l'événement en étude, parmi le nombre total d'événements, permettra de connaître cette probabilité d'occurrence.

## **i.2 Notions de statistique**

Pour cette appréciation quantitative, il est nécessaire que chaque paramètre ait une valeur numérique. Il y a deux méthodes : l'approche déterministe et l'approche stochastique. Ce travail est basé sur une approche stochastique.

### **ii. Appréciation probabiliste ou stochastique**

L'appréciation probabiliste ou stochastique des risques est une procédure permettant de prendre en compte et d'évaluer la variabilité du risque et l'incertitude liée à son estimation (Pouillot 2002).

**ii.1 Notion de variabilité :** la variabilité d'un paramètre est la variation naturelle du paramètre dans la population. Cette variation peut refléter ce que l'on appelle la variabilité naturelle ou les fluctuations liées à un phénomène aléatoire (Anderson 1999).

**ii.2 Notion d'incertitude :** l'incertitude d'un paramètre se situe autour d'un paramètre. Elle est une variation possible du paramètre résultant de la méconnaissance de la valeur exacte du paramètre (Anderson 1999). Elle peut provenir du modèle ou des erreurs de mesure, du manque d'informations, d'informations périmées ou d'hypothèses incorrectes (Etter 2005).

L'analyse probabiliste utilisera non pas une valeur mais une distribution de probabilité de cette valeur. Cette distribution de valeurs pourra refléter soit l'incertitude, soit la variabilité du paramètre, soit une combinaison des deux (Pouillot 2002).

### **iii. Mise en œuvre de l'appréciation stochastique des risques**

Plusieurs étapes constituent la mise en œuvre. « Avant de mettre en place une appréciation du risque il faut clairement définir la ou les questions auxquelles on souhaite répondre » (Wieland 2006). Après avoir défini la question, un premier modèle conceptuel du système est construit. Ce premier modèle conduit ensuite à un modèle événementiel (arbre de décision) qui nécessite une analyse de la situation et une disposition en ordre chronologique des différentes séquences pouvant conduire à l'évènement redouté. « La construction de cet arbre événementiel permettra d'identifier l'ensemble des paramètres nécessaires à la construction de chacune des étapes ». (Murray 2002)

#### **iii.1 Choix de lois de distribution des variables entrant dans le modèle**

La principale difficulté de l'analyse quantitative des risques provient du choix de ces lois de densité pour chacune des variables utilisées dans le modèle d'estimation du risque. Le choix de la loi de distribution dépendra de la nature de la variable (Pouillot 2002) et du processus propre à cette variable. Si le processus d'obtention de la variable est un processus connu, il suffit d'appliquer la loi de distribution adéquate.

### **iii.2 Obtention de la courbe de probabilité du risque, simulation de Monte-Carlo**

La combinaison mathématique ou probabiliste entre les différents paramètres va aboutir à une nouvelle loi de probabilité, qui soit sera le paramètre final de l'analyse, soit sera elle-même combinée à une autre loi de distribution. (Pouillot 2002)

La simulation dite de « Monte-Carlo » permet de résoudre ce problème. Son principe est simple. La loi de distribution d'un paramètre (que l'on nommera  $Y$ ) issue de la combinaison de deux paramètres (que l'on nommera  $X_1$  et  $X_2$ ) peut être approchée à l'aide de l'algorithme suivant:

1. on tire au sort une valeur (que l'on nommera  $x_1$ ) dans la loi de distribution de  $X_1$
2. puis on tire au sort une valeur (que l'on nommera  $x_2$ ) dans la loi de distribution de  $X_2$
3. on combine les valeurs  $x_1$  et  $x_2$  pour obtenir une valeur  $y$ .

On répète les procédures 1 à 3 un grand nombre de fois. La distribution observée des différentes valeurs de  $y$  obtenues tend vers la loi de distribution exacte de  $Y$  quand le nombre de répétitions tend vers l'infini.

### **iii.3 Présentation et interprétation des résultats**

Le résultat de l'analyse de risque est une courbe de probabilité. La distribution du risque associée à chaque valeur possible simulée du risque sa probabilité. La lecture de la distribution cumulative est plus complète mais moins aisée: on peut connaître immédiatement la probabilité correspondant à toute valeur de risque d'introduction sur l'axe des abscisses. L'intensité de corrélation est mesurée par le coefficient de corrélation, reliant les deux variables (Pouillot 2002).

### **iii.4 Compléments**

#### *Corrélation*

Il est possible d'établir des liens entre différents paramètres avec les logiciels que l'on trouve sur le marché. L'absence de prise en compte de liens entre les variables peut invalider l'estimation de la moyenne du risque, mais son influence est encore plus importante sur la mesure de la variabilité (ou de l'incertitude) du risque (Pouillot 2002).

#### *Analyse de Sensibilité*

Elle a pour but d'analyser l'influence de chacune des valeurs des paramètres d'entrée et le risque au travers du coefficient de corrélation des rangs de Spearman (Pouillot 2002).

### **iv. Réflexions préalables à la mise en place d'une appréciation**

Pour définir correctement le sujet, il convient de déterminer si l'intérêt porte sur un agent pathogène ou plusieurs. Ensuite, il faut déterminer les sources ou voies à l'origine de la survenue du risque. Ces deux informations permettent d'établir le modèle conceptuel, et donc d'identifier, de définir et de schématiser clairement ces différentes voies. Ces informations conduisent alors au développement de la séquence d'événements aboutissant à l'apparition du risque. Ainsi, le modèle événementiel peut être établi.

# TRAVAIL PERSONNEL

---

## I Introduction

---

Dans les différents pays tropicaux, comme en Éthiopie, la volaille représente une source que représente un revenu facilement disponible pour les ménages agricoles. De plus, elle apporte une grande qualité en tant que protéine animale. En outre, cela est une activité qui s'intègre parfaitement aux activités agricoles. D'autre côté, des maladies diverses touchent la volaille et provoquent un taux de mortalité considérable. La maladie de Newcastle est la plus importante reconnue dans ce pays (Tadelle 1996). Elle est décrite comme endémique dans six pays africains (Tadelle 1996). En ce qui concerne le virus de l'Influenza Aviaire Hautement Pathogène la situation est différente, puisqu'elle n'a jamais été identifiée en Ethiopie. Néanmoins, en quelques pays de l'Asie ou l'Afrique, des nombreux cas ont été déclarés.

L'Éthiopie dispose d'une structure commerciale chargée de la production et distribution de volaille par dès fermes commerciales à grande et petite échelle jusqu'à niveau villageoise, et beaucoup d'échanges produits par le biais de marchés. Ainsi, ces systèmes commerciaux représentent une voie de dissémination vis-à-vis des pestes aviaires.

Cette étude s'inscrit dans le cadre du projet GRIPAVI « Ecologie et épidémiologie de la grippe aviaire dans les pays du Sud » financé par le Ministère des affaires étrangères sur des Fonds de Solidarité Prioritaire (FSP). Les pays impliqués dans ce projet sont : l'Afrique du Sud, l'Ethiopie, le Madagascar, le Mali, la Mauritanie, le Vietnam et le Zimbabwe. Et les partenaires en Ethiopie sont : les Services vétérinaires, le National Animal Health Disease and Investigation Center (NAHDIC) et l'International Livestock Research Institute (ILRI).

Deux études préliminaires à ce projet ont déjà été réalisées en Ethiopie par l'unité d'Epidémiologie et d'écologie animale du CIRAD. La première, en 2006, évaluait l'« appréciation du risque et les conséquences de l'introduction de la grippe aviaire à H5N1 ». Et la deuxième, en 2007, proposait une modélisation du risque de dissémination des maladies aviaires hautement pathogènes par les échanges commerciaux de volailles.

Le projet FSP est constitué de trois composantes :

- La première sur l'écologie et l'épidémiologie de l'Influenza Aviaire Hautement Pathogène et de la maladie de Newcastle
- La deuxième, lié à la description des filières, créant des modèles d'analyse du risque d'occurrence et de dissémination.
- La troisième est basée sur le management et les formations qui permettront de développer des compétences vis-à-vis des pestes aviaires.

Cette étude participe à la deuxième composante.

## II Objectifs

---

Les objectifs de l'étude présentée sont les suivantes:

- Description des circuits de distribution de volailles exotiques dans le cadre des programmes d'amélioration génétique en Éthiopie, au travers des centres gouvernementaux de multiplication et d'élevage
- Détermination des points critiques des circuits vis-à-vis de la dissémination des pestes aviaires (Influenza Aviaire Hautement Pathogène et maladie de Newcastle).
- Prédiction de mécanismes de dissémination des pestes aviaires dans les circuits de volaille exotique, au travers de la modélisation.

### III Le contexte

#### III.1 Présentation de l'Éthiopie

L'Éthiopie est une république démocratique fédérale située dans la corne de l'Afrique. La langue officielle est l'amharique, mais toutes les autres langues du pays, plus de 90, sont reconnues par l'État. L'Éthiopie est divisée en neuf régions fédérales, reposant sur neuf régions « ethniques » et deux régions autonomes (Addis Abeba et Dire Dawa) (Annexe 1). Chaque région fédérale est divisée en zones sauf pour des endroits officiellement reconnus comme ethniquement différenciés appelés Woredas spéciales. Les zones elles-mêmes se divisent en municipalités appelées Woreda. Chaque Woreda est divisée en canton appelé Kebele.

#### III.2 Le secteur avicole en Éthiopie

##### III.2.a Présentation de l'élevage en l'Éthiopie

###### i. La population aviaire en Ethiopie

Le nombre de volailles en Éthiopie est estimé à environ 34.200.000 millions, dont 95,44 % de race indigène, 3,92 % de race hybride et 0,64 % de race exotique (CSA 2006).

###### ii. Les types d'élevages

En Éthiopie, trois sortes de fermes peuvent être distinguées. Premièrement, les fermes intensives à grande échelle peuvent produire environ un demi-million de volailles par an pour les fermes les plus importantes (Abebe 2006). Deuxièmement, les élevages intensifs à petite échelle ont, dans la plupart des cas, quelques centaines de poules pondeuses. Cette strate est difficile à évaluer car il n'existe aucun enregistrement centralisé de ce type de production. Enfin, les élevages villageois représentent la strate la plus importante mais ils ne sont pas non plus officiellement recensés. Les élevages de basse-cour représentent 98% à 99% des élevages de volaille en Éthiopie (Bush 2006) et les éleveurs possèdent un nombre de volaille compris entre 2 et 12 poulets (Bush 2006).

###### ii.1 La production des fermes à grand échelle

Les élevages intensifs à grande échelle produisent de la volaille exotique. On trouve des fermes privées commerciales et des centres gouvernementaux. Les premiers produisent des poulets et des œufs qui seront distribués directement aux acheteurs. Les élevages à petite échelle préfèrent le plus souvent se fournir dans les fermes commerciales, plus productives que les centres gouvernementaux, et qui peuvent donc obtenir la quantité de volaille souhaitée à un moment donné.

Les centres gouvernementaux sont des fermes administrées par les bureaux d'agriculture de chaque région. Depuis quelques années, elles produisent la race Rhode Island Red. Parmi les centres gouvernementaux, deux sortes de fermes sont à distinguer : les centres de multiplication et les centres d'élevage. Les centres de multiplication importent des reproducteurs et renouvellent leur stock d'animaux à partir de ce premier lot de parent jusqu'à ce qu'il soit nécessaire de renouveler le patrimoine génétique. Ils ont différents types de production : la production d'œufs, la vente de poussins d'un jour et la production de poussins de un jour à trois mois (la plus importante). Au

contraire, les centres d'élevage n'ont pas de stock de parents. Ils achètent donc des poussins d'un jour ou des œufs dans les centres de multiplication. Ensuite, ils élèvent les animaux jusqu'à l'âge de trois mois.

Un total de 14 centres gouvernementaux compose le système de production en Éthiopie, parmi lesquelles, 10 se trouvent dans les régions d'Oromya et SNNP (Annexe 2)

## ii.2 La production de poulets de trois mois par des centres gouvernementaux

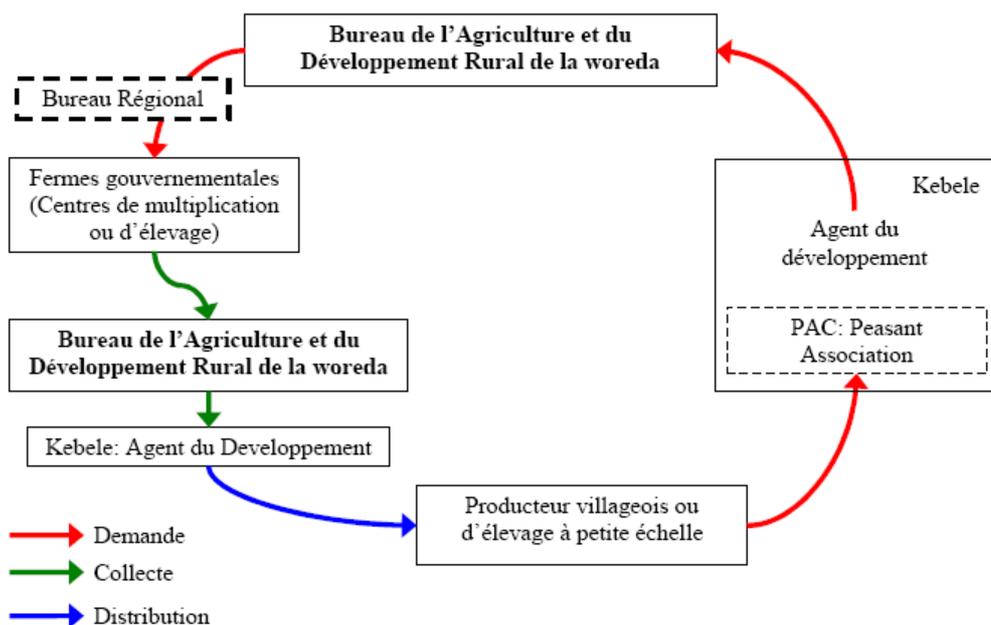
Les centres gouvernementaux sont des fermes composées de différents bâtiments contenant des lots de poulets d'un jour à trois mois. Cette production est régulière au cours d'une année. Quand un lot est arrivé à la fin de sa période productive, il est distribué.

## ii.3 Le système d'organisation de la vente de la volaille à trois mois

Les poulets produits dans ces centres officiels sont distribués à deux sortes de clients : ceux qui achètent directement à la ferme gouvernementale (une minorité) et ceux qui passent par le bureau régional. Ces derniers se divisent en trois catégories: des acheteurs aux objectifs commerciaux, qui payent le prix le plus élevé, des coopératives et enfin, des éleveurs villageois qui payent le prix le plus bas. La plupart des animaux vendus sont distribués aux éleveurs villageois.

Le système de circuit commercial pour la distribution aux éleveurs villageois se compose de différents acteurs. L'organisation de ce type de circuit est constante et peut être représentée par le schéma ci-dessous (Fig I), issu des résultats d'études antérieures :

**Figure I: Distribution de volaille exotique provenant des fermes gouvernementales (Olive 2007).**



Ainsi, de façon générale, ce sont les bureaux régionaux qui planifient la livraison des poulets produits dans les fermes gouvernementales. Les bureaux décident de la quantité de volaille à distribuer par zone. Ensuite, les zones planifient la quantité de poulets pour chaque Woreda. Les Woredas se mettent alors en contact avec les agents du développement des différents Kebeles, qui organisent la collecte d'argent pour acheter un volume de volaille souhaité. Les bureaux des Woredas sont chargés de prélever cet argent. Quand les centres gouvernementaux prévoient la distribution d'un lot à une date donnée, ces fermes se mettent en contact avec le bureau régional qui contacte les zones qui contacteront les Woredas. Si les Woredas ont l'argent suffisant et les moyens pour aller chercher la volaille à la ferme gouvernementale, elles obtiendront un délai d'environ quinze jours pour aller la chercher.

Ce système de production et distribution devient intéressant dans un point de vu sanitaire, parce qu'il est potentiellement dangereuse vis-à-vis de la dissémination de maladies. Ceux-ci distribuent des milliers d'animaux à des endroits très éloignés dans une même région, où se trouvent autres populations de volaille susceptibles à l'introduction d'une maladie quelconque. Donc le système représente un danger à cause de différents aspects : dans le cas où la bande est importé, cela pourrait auberger des souches faiblement pathogènes, qu'après un certain temps de production dans les fermes gouvernementales n'auraient pas été détectées. Dans le cas où la génération avait été produite par les fermes eux-mêmes, la volaille pourrait auberger des virus qui auraient pu être introduites par défauts de biosécurité. Le système de transport et les bonnes ou mauvaises pratiques avec la manipulation de matériaux, représentent aussi un danger vis-à-vis d'une nouvelle infection des animaux. Alors, la production de quelques milliers d'oiseaux (une minuscule partie de toute la population de la volaille en Éthiopie), représente un danger pour tout le reste de population aviaire dispersé très loin dans tout le pays. Pour ces raisons ce système exige une spéciale attention.

### III.2.b La vaccination contre la maladie de Newcastle en Éthiopie

Seules de strictes mesures de prophylaxie sanitaire et médicale peuvent permettre de protéger les élevages situés en zone d'enzootie (Thiaucourt 1988). Vu l'importance de la maladie dans le pays, les fermes gouvernementales et commerciales appliquent des protocoles de vaccination pour la volaille qui va être distribuée aux éleveurs villageois. L'organisme chargé de la production est le National Veterinary Institute (NVI). Quand il y a une volonté de vaccination au niveau villageois, les éleveurs se procurent des vaccins provenant directement du NVI. Les vaccins produits par le NVI sont des vaccins inactivés : LaSota, I2 thermostable et Hitchner B1.

## IV Matériel et méthodes

### IV.1 Mise en place de l'appréciation de risques quantitatives

#### IV.1.a La question relative au risque

Quelle est le risque d'introduction des pestes aviaires (Influenza Aviaire Hautement Pathogène et maladie de Newcastle) au niveau d'une ferme villageoise à partir d'un lot de poulet distribué à l'âge de 3 mois, par des fermes gouvernementales de la région d'Oromya et SNNP en Éthiopie ?

#### IV.1 b Identification du danger

Les deux dangers identifiés sont le virus de l'Influenza Aviaire Hautement Pathogène et le virus de la maladie de Newcastle.

#### IV.1.c Appréciation du risque

Dans le cadre de ce travail, il s'agit de risque d'émission et d'exposition. Les éléments étudiés dans le circuit commercial comme étant des éléments qui peuvent entraîner une introduction du danger, sont présentés ci-dessous:

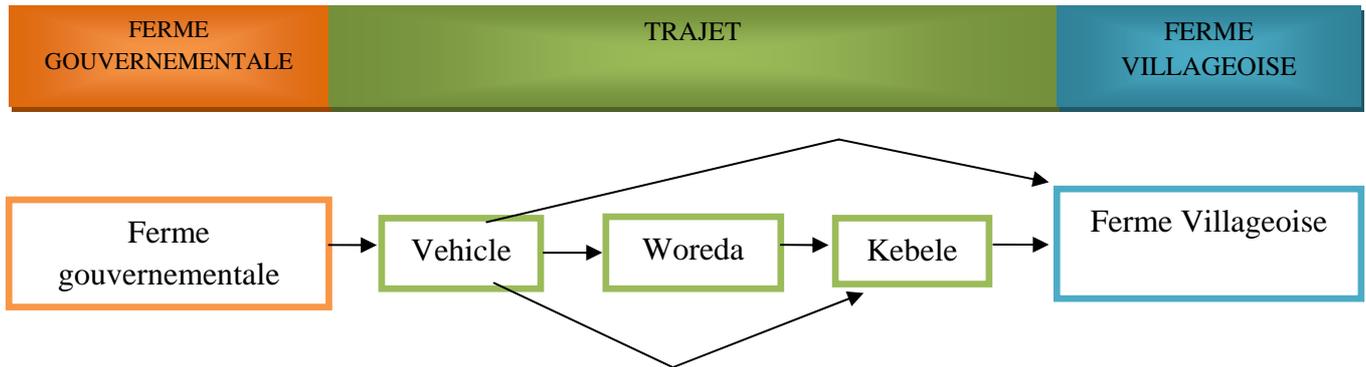
- Les poulets exotiques qui arrivent vivants ou excréteurs dans les élevages villageois.
- Les aliments délivrés aux Woredas lors du trajet qui seront administrés à la volaille pendant le trajet.
- Les caisses, contaminées par des fèces, utilisées pour transporter la volaille des fermes gouvernementales jusqu'aux Woredas.

D'autres éléments pourraient entraîner des risques d'introduction, en particulier les oiseaux sauvages, mais cela n'est pas traité dans cette étude.

#### IV.1.d Etablissement du modèle conceptuel

Les résultats d'études antérieures établissent un modèle conceptuel du risque d'introduction du virus influenza H5N1 en Éthiopie (Annexe 3). C'est à partir de l'une de ces branches qu'a été conçu le modèle de cette étude. Il représente les compartiments que les poulets traversent au cours de leur transport de la ferme gouvernementale à la ferme villageoise. Donc, ci-dessous (Fig. II), est représenté le modèle conceptuel de la probabilité d'introduction de peste aviaire dans une ferme villageoise à partir d'une distribution de volaille à 3 mois par des fermes gouvernementales :

**Figure II: Modèle conceptuel du risque d'introduction des pestes aviaires dans volaille à 3 mois à partir des distributions par des fermes gouvernementales**



#### IV.1.e Établissement des modèles événementiels

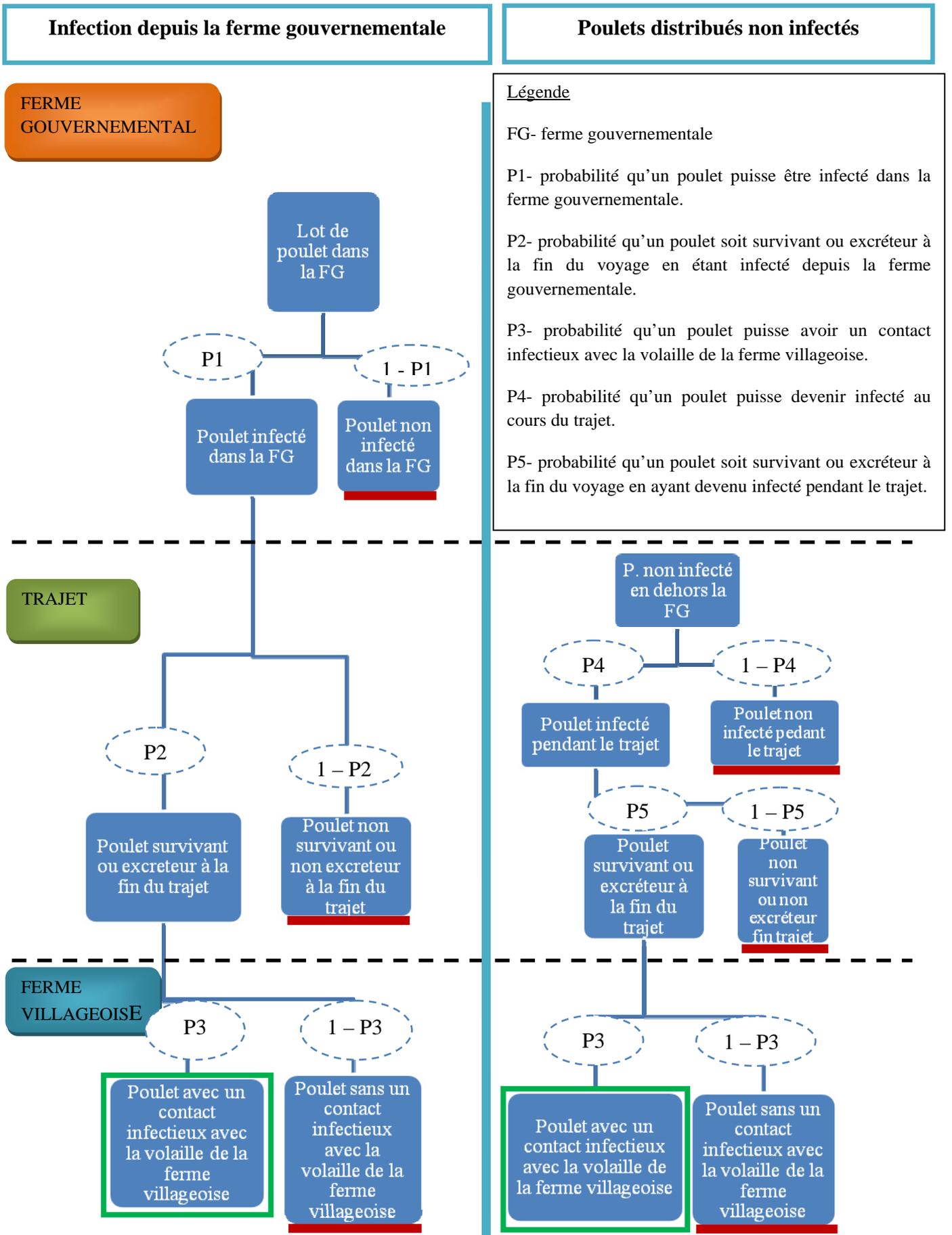
##### i. Conception du modèle événementiel principal

L'établissement du modèle conceptuel exposé au paragraphe précédent montre qu'il s'agit d'un circuit où la volaille traverse différentes étapes. Pour répondre à la question de départ, il faudra décomposer le scénario et répondre à deux questions :

- Appréciation du risque d'introduction de la maladie dans une ferme villageoise suite à une infection non détectée dans une ferme gouvernementale
- Appréciation du risque d'introduction de la maladie dans une ferme villageoise suite à une infection non détectée au cours du trajet

Le risque d'introduction des pestes aviaires à la ferme villageoise est considéré à partir du moment où des poulets infectés en période d'incubation dans le cas de l'IAHP, ou excréteurs du virus dans le cas de la NCD, ont un contact infectieux avec de la volaille présente chez les éleveurs. C'est pourquoi dans notre modèle, les éleveurs possédant déjà de la volaille ne constituent pas un risque. Voici le schéma principal utilisé quelque soit la maladie considérée (Fig. III) :

Figure III: Modèle événementiel principal



*Note:*

- le concept « infecté » est valable pour les deux maladies
- le concept « survivant » fait référence à l'IAHP
- le concept « excréteur » fait référence à la NCD

**ii. Conception des modèles événementiels secondaires**

Comme dit précédemment, il faut décomposer le modèle principal pour pouvoir donner des réponses concrètes aux probabilités identifiées. Puisque le travail porte sur deux maladies avec une situation épidémiologique différente, il faudra faire la différence de chaque modèle pour chaque maladie. Toutes les séquences sont donc détaillées ci-dessous :

- IAHP :
  - Infection depuis la ferme gouvernementale (Fig. IV)
  - Infection pendant le trajet (Fig.V)
- Maladie de NCD :
  - Infection depuis la ferme gouvernementale (Fig. VI)
  - Infection pendant le trajet (Fig VII)

Figure IV: IAHP infection depuis la ferme gouvernementale

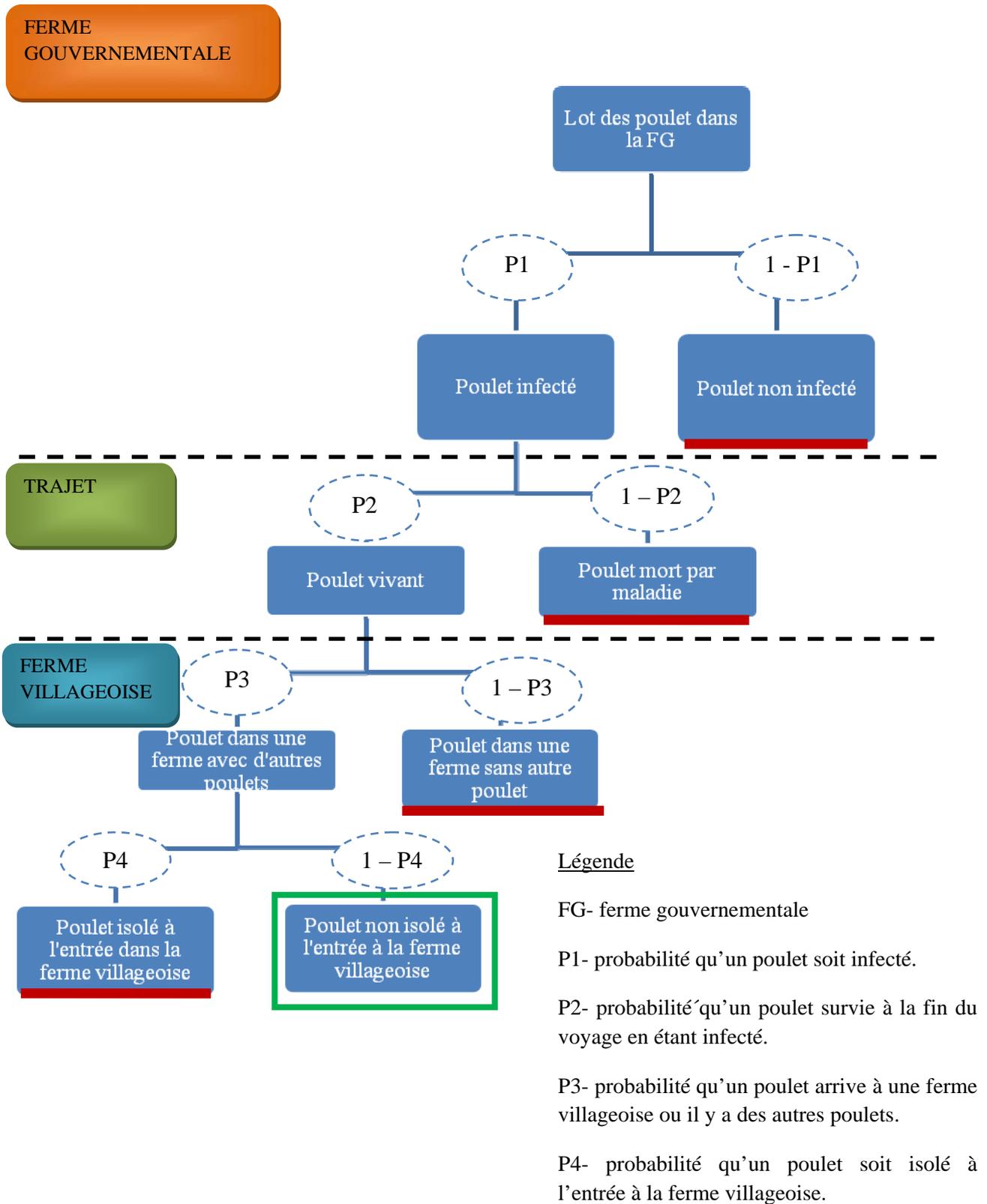
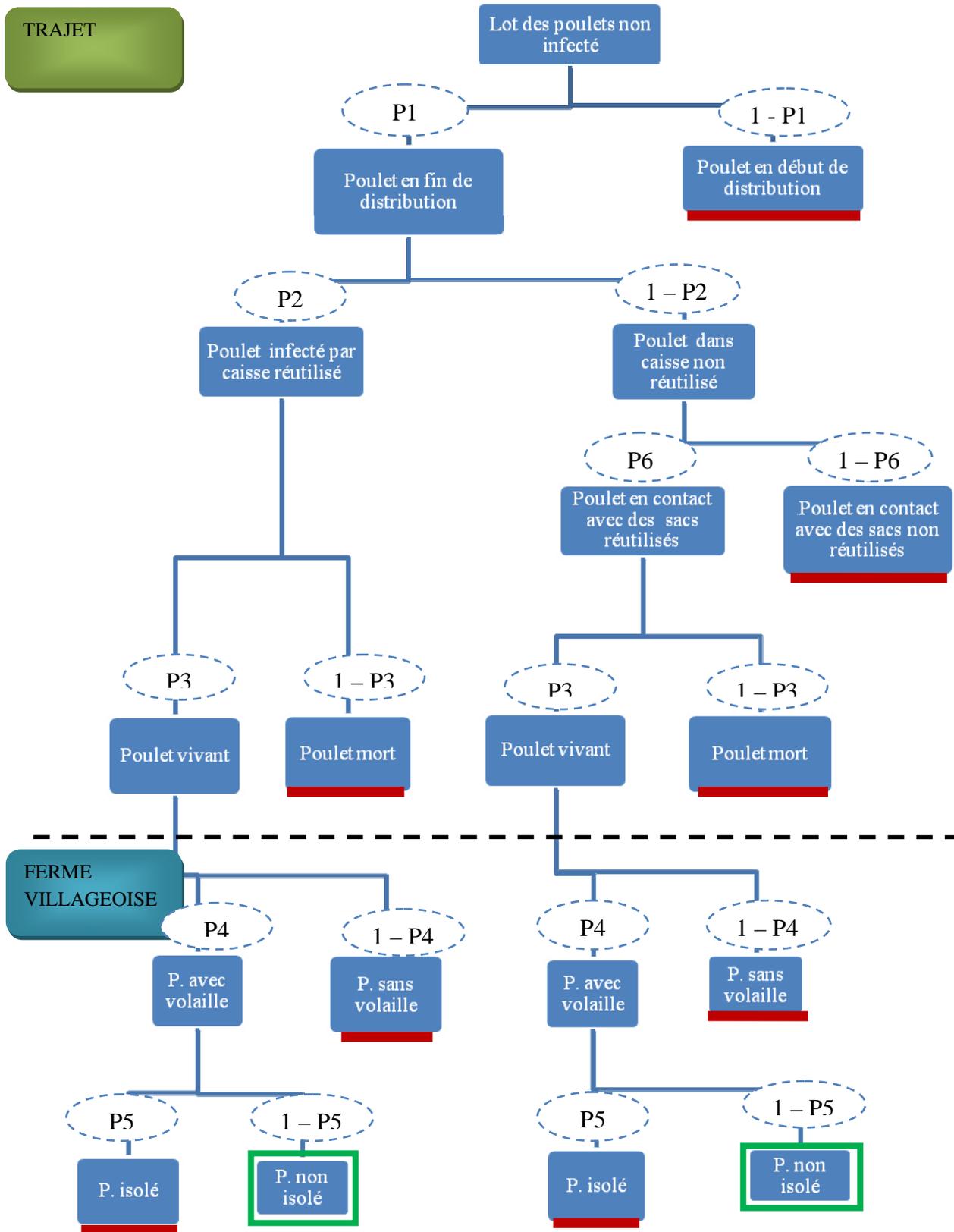


Figure V: IAHP infection pendant le trajet



## Légende

P1- probabilité d'être distribué en fin de distribution.

P2- probabilité qu'un poulet ait un contact avec des caisses non propres aux Woredas (Les caisses non propres aux Woredas à la fin de la distribution proviennent de l'utilisation d'autres Woredas. Les caisses réutilisées sont infectés).

P3- probabilité qu'un poulet survie à la fin du voyage en étant infecté.

P4- probabilité qu'un poulet arrive à une ferme villageoise où il y a des autres poulets.

P5- probabilité qu'un poulet soit isolé à l'entrée de la ferme villageoise.

P6- probabilité qu'un poulet contacte avec d'aliment contenu dans des sacs non neufs (Les sacs non neufs à la fin de la distribution proviennent de l'utilisation d'autres Woredas. Les sacs réutilisés sont infectés).

Figure VI: NCD infection depuis la ferme gouvernementale

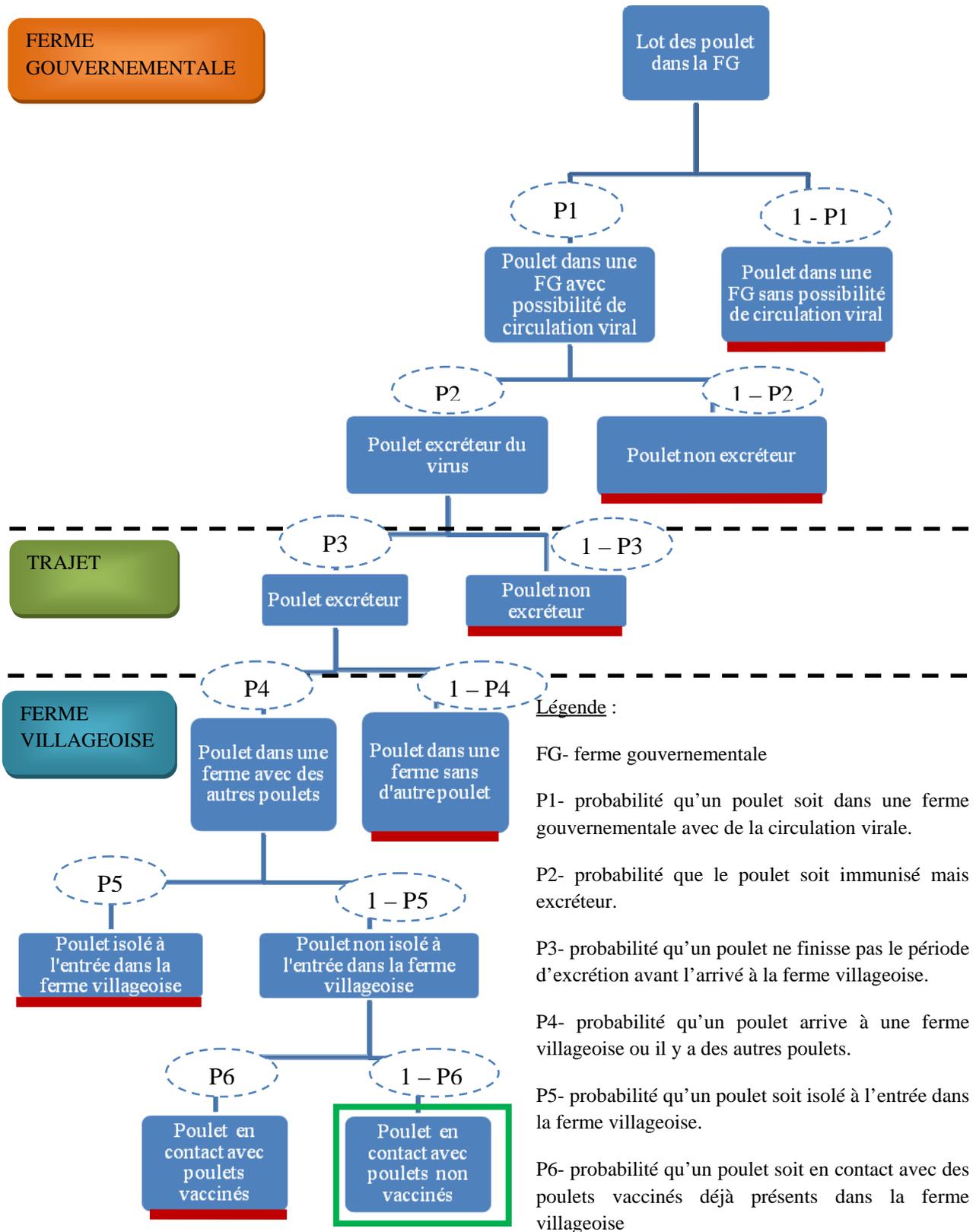
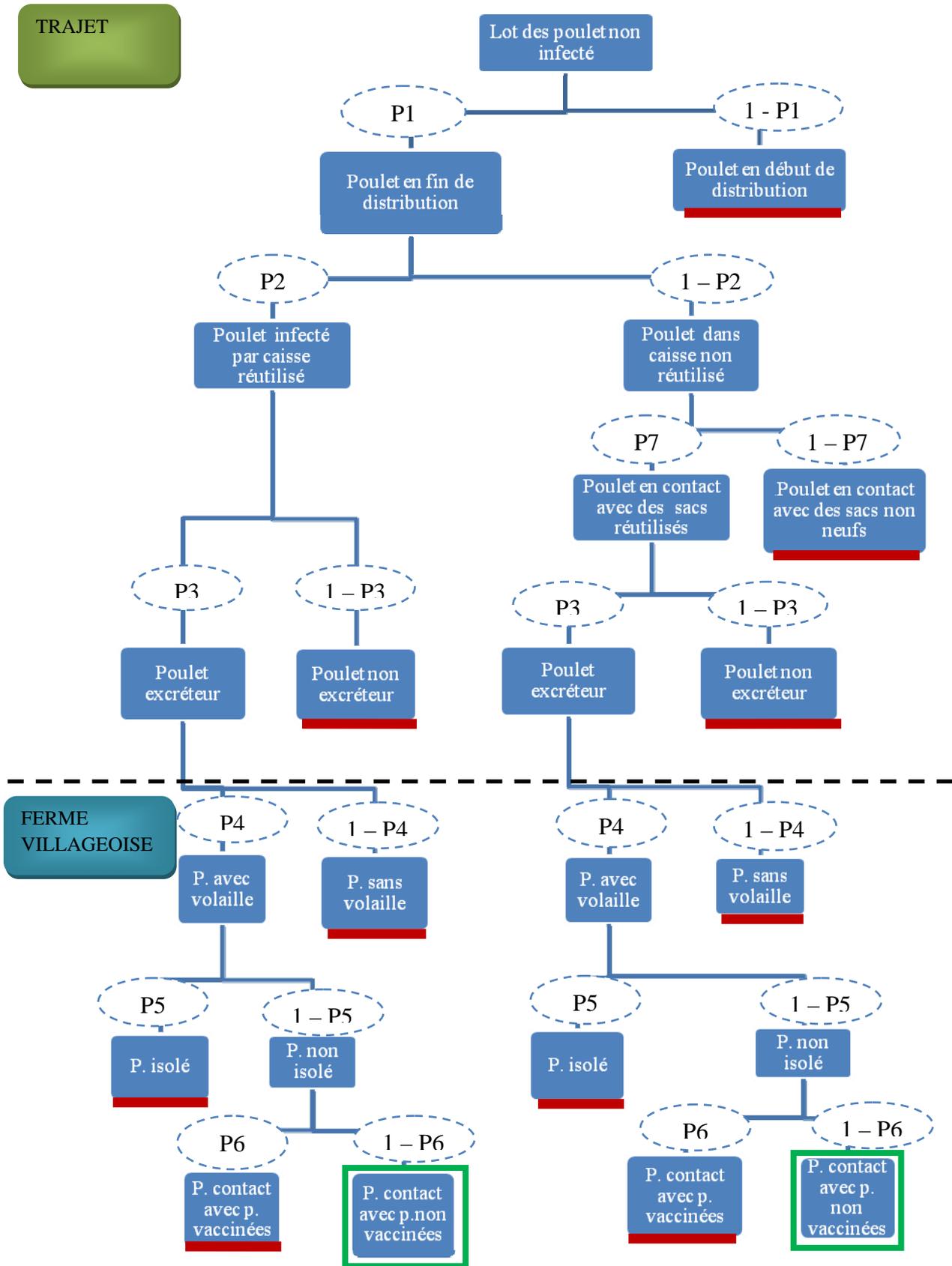


Figure VII: NCD infection pendant le trajet



## Légende

P1- probabilité qu'un poulet soit envoyé à la fin de la distribution (les animaux distribués à fin sont à risque d'être en contact avec du matériel réutilisé)

P2- probabilité qu'un poulet ait un contact avec des caisses non propres aux Woredas (Les caisses non propres aux Woredas à la fin de la distribution proviennent de l'utilisation d'autres Woredas. Les caisses réutilisées sont infectés).

P3- probabilité qu'un poulet soit excréteur à la fin du voyage (pour simplifier le modèle on ne tient pas compte des individus sensibles qui peuvent être en contact avec la source infectieuse et qui pourraient mourir au cours du chemin).

P4- probabilité qu'un poulet arrive à une ferme villageoise où il y a des autres poulets.

P5- probabilité qu'un poulet soit isolé à l'entrée de la ferme villageoise.

P6- probabilité qu'un poulet soit en contact avec des poulets vaccinés

P7- probabilité qu'un poulet contacte avec d'aliment contenu dans des sacs non neufs (Les sacs non neufs à la fin de la distribution proviennent de l'utilisation d'autres Woredas. Les sacs réutilisés sont infectés).

### IV.1.f Simulation de la probabilité d'introduction d'au moins un animal infecté

Afin de répondre à la question de départ il faut calculer la probabilité d'infection des poulets présents dans des fermes villageoises à partir des distributions de volaille exotique. Le logiciel utilisé est @Risk (©Palisade Corp). 10000 itérations avec des simulations de Monte Carlo ont été effectuées. Ce calcul a été répété pour les quatre scénarios identifiés. La démarche permettant de calculer la probabilité d'avoir au moins un animal infecté est la suivante :

- La probabilité qu'un poulet introduise le virus à la volaille présente dans la ferme villageoise en ayant été infecté à la ferme gouvernementale ou pendant le trajet est : P
- La probabilité qu'un poulet qui arrive d'une distribution gouvernementale n'infecte pas la volaille présente dans la ferme villageoise est :  $1 - P$
- On tient compte de l'intervalle d'animaux distribués par lot parmi les fermes gouvernementales de l'étude. Alors, la probabilité qu'aucun poulet ait un contact infectieux avec les poulets présents à la ferme villageoise est :  $(1 - P)^N$
- À l'inverse, la probabilité qu'au moins un animal ait un contact infectieux avec la volaille présente dans la ferme villageoise sera :

$$\mathbf{P \text{ contact infectieux}} = 1 - (1 - P)^N$$

P et N sont donc les paramètres qui vont permettre de calculer la Probabilité d'introduction du virus dans la ferme villageoise. On parle de paramètre d'entrée. Comme ces paramètres sont variables, on leur associe une distribution.

## IV.2 Récolte des données

### IV.2.a Activités réalisées

Plusieurs activités ont été réalisées pour collecter les données nécessaires à la détermination de la valeur des paramètres présentés antérieurement. Ces données sont issues de différentes sources :

- Les données officielles
- Les observations des distributions des volailles
- Les enquêtes
- La bibliographie

#### **i. Les données officielles**

Elles proviennent de :

- Deux bureaux régionaux d'agriculture et du développement rural afin d'acquérir les données concernant les volumes de volailles distribuées et leurs destinations, ainsi que des fiches techniques des performances des fermes gouvernementales.
- Deux bureaux d'agriculture et du développement rural des zones, afin d'établir un contact avec les Woredas quand il n'est pas possible de passer directement par des fermes gouvernementales.
- Huit bureaux d'agriculture et du développement rural des Woredas issues des huit distributions suivies. L'information sur l'organisation de la distribution, le nombre de volaille et le nombre d'éleveurs a été collectée auprès de ces bureaux afin d'acquérir des critères pour échantillonner la population.
- Plusieurs bureaux d'agriculture et du développement rural des Kebeles faisant partie des Woredas visitées avec le même objectif que les précédents.
- Le laboratoire National Vétérinaire en Éthiopie (National Veterinary Institute), responsable de la production de vaccins pour tout le pays, a été visité afin d'obtenir des informations sur les différentes sortes de vaccins de Newcastle produits mais aussi des informations sur le volume annuel et la destination des vaccins.

#### **ii. Les observations des distributions**

- Huit filières de distribution ont été suivies des fermes gouvernementales jusqu'aux Woredas. Une description détaillée (Annexe 4) a été effectuée afin de comprendre les circuits et d'identifier les points potentiellement à risque pour l'introduction des pestes aviaires.

#### **iii. Les enquêtes**

- Quatre enquêtes auprès des fermes gouvernementales (Annexe 5) ont été réalisées dans le but d'acquérir une information détaillée sur le système d'organisation de la ferme, le volume de volaille produit et le niveau de biosécurité. Les enquêtes n'ont pas fait l'objet de tests.
- 100 éleveurs faisant partie d'un total de 26 Kebeles issues des huit circuits de distribution suivies, ont été enquêtés (Annexe 6) afin de récolter des informations sur le type d'élevage, la manipulation à l'entrée de la ferme de volailles nouvellement introduites et les pratiques de vaccination des volailles déjà présentes dans les élevages villageois. L'enquête a été testée avant sa mise en œuvre sur le terrain, ce qui a conduit à des modifications.

## IV.2.b Aire d'étude

### i. Critères de détermination du terrain

Pour des raisons logistiques, de temps et d'accessibilité, les deux régions étudiées sont l'Oromya et le SNNP où se trouvent 10 fermes gouvernementales parmi les 14 existantes en Éthiopie.

Les fermes gouvernementales visitées correspondent aux fermes qui ont réalisées des distributions de volaille durant la période du terrain. Ainsi, quatre fermes gouvernementales ont été visitées : deux centres de multiplication dans les villes d'Awassa et Gubrie et deux centres d'élevage à Ambo et Fiche.

### ii. Distributions de volaille réalisées

Pendant la durée du stage, huit distributions ont été suivies du départ de la ferme gouvernementale jusqu'à l'arrivée à la Woreda (Annexe 7), des distances variables comprises entre quinze minutes et deux jours ont été parcourues.

## IV.2.c Population d'étude

### i. Echantillonnage

**i.1 Des distributions de volailles:** aucun échantillonnage n'a été effectué. Les distributions suivies correspondent à celles que les fermes gouvernementales ont effectuées aux jours prévus des visites (Annexe 8)

**i.2 Enquêtes auprès des éleveurs :** différentes méthodes ont été mises en place en fonction du système de distribution des Woredas. L'information entre parenthèse est l'information nécessaire pour effectuer la technique d'échantillonnage. Les différentes méthodes sont exposées ci-dessous :

- Si la livraison de la volaille était directement effectuée aux fermiers au bureau de la Woreda : échantillonnage aléatoire systématique (nombre de fermiers)
- Si la livraison de la volaille était effectuée aux agents du développement des Kebeles :
  - Si même nombre de fermier par Kebele : sondage aléatoire à deux degrés (Kebeles et fermes)
  - Si nombre de fermiers par Kebele différent : sondage aléatoire simple (Kebeles et fermes)
- Si la livraison de la volaille était effectuée en partie aux agents du développement des Kebeles et dans les bureaux des Woredas directement aux fermiers :
  - S'il n'y a aucun ordre d'arrivée des fermiers : sondage aléatoire systématique (nombre de fermes)
  - Si les fermes arrivent ordonnées par Kebeles : sondage aléatoire à deux degrés (Kebeles et fermes)
- Si la livraison de la volaille était effectuée directement par le camion qui se déplaçait à chaque Kebele où les fermiers attendaient : sondage aléatoire simple (Kebeles et fermes)

#### IV.2.d Taille de l'échantillon

- i. **Des distributions** : huit distributions de volaille ont été suivies en fonction du temps, de l'organisation des fermes gouvernementales et des formalités des Woredas qui venaient chercher les volailles au jour prévu.
- ii. **Enquêtes auprès des éleveurs** : 100 enquêtes ont été effectuées en fonction des distances, de l'accessibilité au terrain, du temps et de la disponibilité des agents du développement pour le suivi des activités.

## IV.3 Hypothèses

### IV.3.a Influenza aviaire hautement pathogène

#### i. Infection depuis la ferme gouvernementale

- Tous les animaux sont potentiellement sensibles au virus puisqu'ils ne sont pas vaccinés.
- En raison des caractéristiques épidémiologiques de la maladie, et pour des raisons de simplification du modèle, on considère qu'après introduction du virus dans un lot, la probabilité d'infection est comprise dans un intervalle entre 1 et 100%, avec une valeur moyenne estimée très élevée. Cette valeur est fixée à 95%.
- L'introduction du virus peut survenir à n'importe quel moment au cours de la période de production (90 Jours).
- L'infection ne peut pas survenir une fois que la distribution a commencé.
- Pour des raisons de simplification, la dynamique des populations au sein d'un lot de poulet n'est pas prise en compte.
- Tous les animaux sont distribués pendant un période de 15 jours.
- Le délai entre la fin de la période d'incubation et la mort est très court. Il est donc considéré comme négligeable dans notre modèle.
- Pour qu'un poulet soit vivant en arrivant à la ferme villageoise, l'animal doit y parvenir avant la fin de la période d'incubation (PI). L'infection peut survenir à tout moment au cours de la période de production (x), l'animal peut être distribué dans un délai de 15 jours (y) et la durée des trajets oscillent entre 0 et 5 jours (t). Ainsi, l'expression suivante montre la probabilité qu'un animal arrive à la ferme villageoise avant la fin de la période d'incubation:

$$\text{Poulet toujours en incubation si: } [(90 + y - x) + t] < \text{PI}$$

- La probabilité de survivre en étant infecté au niveau de la ferme villageoise ne dépend que de la possibilité individuelle de chaque poulet.

#### ii. Infection pendant le trajet

- Pour qu'un poulet soit vivant en arrivant à la ferme villageoise, l'animal doit y parvenir avant la fin de la période d'incubation (PI). L'infection (x) peut survenir à tout moment du trajet, qui oscille entre 0 et 5 jours (t). Ainsi, l'expression suivante montre la probabilité qu'un animal arrive infecté et en période d'incubation à la ferme villageoise :

$$\text{Poulet toujours en incubation si: } t - x < \text{PI}$$

- Les caisses avec une origine différente de celle des bureaux d'agriculture des Woredas, qui sont retournées à la ferme gouvernementale pour être réutilisées, sont considérées comme contaminées.
- Les caisses contaminées entraînent l'infection de l'animal.
- L'aliment peut seulement être contaminé à partir de la réutilisation de sacs d'aliment.
- L'aliment en contact avec des sacs contaminés est contaminé.
- Le contact des poulets avec de l'aliment contaminé entraîne l'infection du poulet.
- La volaille est distribuée de façon homogène pendant les 15 jours que dure la distribution.

- Les sacs et caisses réutilisés commencent à arriver à la ferme gouvernementale vers le jour 10.
- Ainsi, la quantité de volaille susceptible d'être infecté par des sacs ou caisses réutilisés, est de l'ordre de 30%.

#### IV.3.b Maladie de Newcastle

##### i. Pré-considérations pour la maladie de Newcastle

On ne connaît pas l'état sérologique des fermes gouvernementales visitées. On assume que les protocoles de vaccination sont correctement mis en place. Toutes les fermes gouvernementales visitées appliquent un protocole différent de vaccination (Annexe 9). Face à l'entrée d'une souche virulente viscerotropique de Newcastle, si on tient compte des études précédemment citées avec les protocoles de vaccination appliqués par les fermes, on fera les hypothèses suivantes:

- Le niveau d'immunité des élevages d'Awassa, d'Ambo et de Fiche est supérieur à celui de Gubrie.
- On suppose que les titres d'anticorps au niveau du troupeau oscillent entre  $6,3 \log_2$  et  $6,6 \log_2$  pour les fermes d'Awassa, d'Ambo et de Fiche. Avec ce titrage, on assume que plus de 85% de la population a un niveau de protection élevé. L'observation d'une épizootie de Newcastle à partir de la circulation dans l'élevage d'une souche virulente est improbable en raison d'une couverture vaccinale élevée. Par contre, une circulation silencieuse est possible parce qu'il y aura infection, excrétion et transmission à partir des individus immunisés porteurs latents.
- On présume que le titrage d'anticorps au niveau du troupeau de Gubrie est égal ou inférieur à 6,3. Avec ce titrage, on assume que moins de 85% de la population a un niveau d'immunité élevé. L'observation d'une épizootie de Newcastle à partir de la circulation d'une souche virulente est possible et la circulation silencieuse du virus est improbable.

A partir de ces 3 hypothèses, on assume que la présence de Newcastle sera détectée dans les fermes de type Gubrie par l'augmentation du taux de mortalité avant que la volaille ne sorte de la ferme gouvernementale. Par contre, les autres fermes ne seront pas capables de détecter la maladie si elle est présente et risquent de disséminer le virus au travers des animaux immunisés.

##### ii. Infection depuis la ferme gouvernementale

- Les poulets qui s'infectent sont les poulets immunisés, qui n'auront pas de signes cliniques mais qui seront excréteurs du virus jusqu'à neuf jours post infection.
- L'excrétion commence le même jour que l'infection.
- Si un poulet est infecté et qu'il termine la période d'excrétion, il ne pourra pas être infecté à nouveau.
- Les virus ne se transmettent pas à la volaille qui est sensible parce qu'il n'y a pas un nombre suffisant de reproducteurs de l'agent infectieux.
- L'introduction du virus peut survenir à n'importe quel moment au cours de la période de production (90 Jours).
- Pour des raisons de simplification du modèle, les oscillations d'anticorps après vaccination ne sont pas prises en compte.
- L'infection ne peut pas survenir une fois que la distribution a commencé.
- La dynamique des populations n'est pas traitée ici.
- La couverture vaccinale exacte de chaque ferme est inconnue.

- Comme dit précédemment, la proportion d'animaux avec un haut titrage d'anticorps est considérée supérieure à 85%. On cherche la proportion de volaille excrétrice parmi cette population avec un haut titrage d'anticorps. Cette valeur est incertaine. Alors l'intervalle des poulets qui peuvent être excréteurs est compris entre 1 et 100, avec une moyenne estimée de 85%.
- Tous les animaux sont distribués de façon homogène pendant une période de 15 jours.
- Le seul facteur qui détermine l'arrivée d'un poulet infecté à la ferme villageoise est le fait d'arriver excréteur ou pas.
- Pour qu'un poulet soit excréteur en arrivant à la ferme villageoise, le moment d'arrivée doit être inférieur à la période d'excrétion (PE), en sachant que l'infection peut survenir à tout moment de la période productive (x). L'animal peut être distribué dans un délai de 15 jours (y) et la durée des trajets (t) oscillent entre 0 et 5 jours. Ainsi, l'expression suivante montre la probabilité qu'un animal soit excréteur à l'arrivée à la ferme villageoise :

$$\text{Poulet toujours excréteur si: } [(90 + y - x) + t] < PE$$

- On considère que la période d'isolation que certains fermiers pratiquent sera suffisante pour garantir la fin de la période d'excrétion.

### iii. Infection pendant le trajet

- Pour qu'un poulet soit excréteur en arrivant à la ferme villageoise, l'animal doit arriver avant que la période d'excrétion (PE) ne finisse. L'infection peut survenir à tout moment du trajet, qui oscille entre 0 et 5 jours (t). Ainsi, l'expression suivante montre la probabilité qu'un animal arrive excréteur à la ferme villageoise :

$$\text{Poulet toujours excréteur si: } t - x < PE$$

- Le reste des hypothèses est identique à celles valables pour l'influenza aviaire hautement pathogène au cours du trajet.

## IV.4 Valeur des paramètres

La valeur des paramètres est issue de l'ensemble de la récolte des données et des hypothèses réalisées. Des paramètres sont définis pour chacune des différentes situations (Annexe 10):

Influenza Aviaire Hautement Pathogène :

- ▲ Infection depuis la ferme gouvernementale
- ▲ Infection pendant le trajet

Maladie de Newcastle

- ▲ Infection depuis la ferme gouvernementale
- ▲ Maladie de Newcastle

## IV.5 Le traitement des données

Plusieurs programmes sont utilisés pour l'organisation, traitement et analyse des données. Ils sont présentés ci-dessous :

- Tous les tirages au sort sont effectués avec le programme *Open Epi Version 2.2.1 2008*
- Les données sont stockées grâce à une base de données de *Microsoft Office Accès 2007*
- Le traitement statistique des données a été effectué avec le logiciel *Epi info Version 3.4.1 2007*
- La définition des distributions pour chaque variable a été effectuée avec le logiciel *@Risk (© Palisade Corp)*

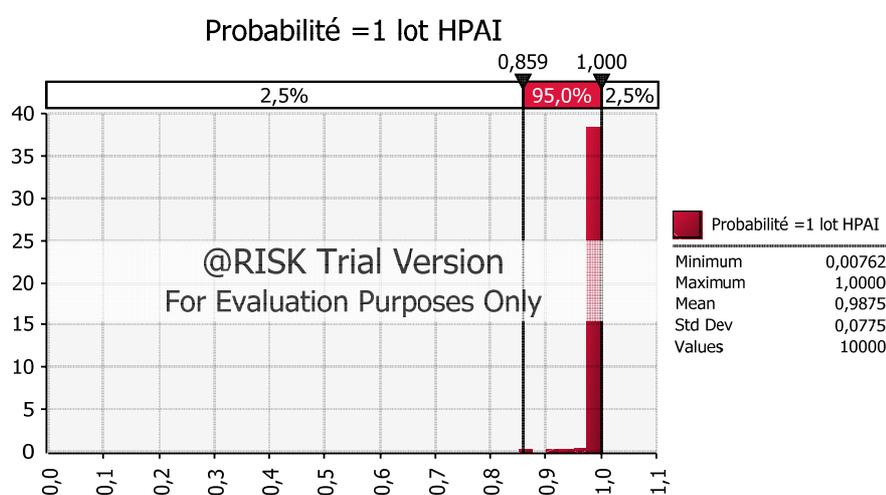
## V Résultats

### V.1. Probabilité qu'au moins un poulet ait un contact infectieux

#### V.1.a Influenza Aviaire Hautement Pathogène

##### i. Si l'infection a eu lieu à la ferme gouvernementale :

Figure VIII: Probabilité au moins 1 poulet avec contact infectieux. HPAI. FG



L'historgramme (Fig. VIII) représente la distribution de probabilité qu'au moins un poulet au sein d'un lot distribué par des fermes gouvernementales où il y a un foyer d'influenza non détecté, ait un contact infectieux avec des poulets présents dans une ferme villageoise. La probabilité, à 95%, de confiance est proche de 100%.

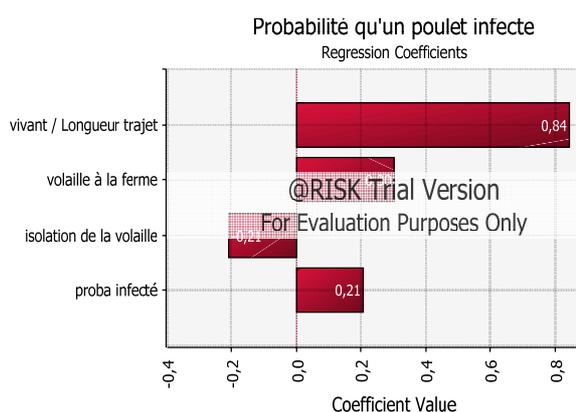
##### ii. Si l'infection a eu lieu pendant le trajet :

L'historgramme (Annexe 11, Fig I) représente la distribution de probabilité qu'au moins un poulet au sein d'un lot distribué par des fermes gouvernementales, soit infecté par le virus influenza (présent dans les caisses ou les sacs) au cours du trajet et qu'il ait un contact infectieux avec des poulets présents dans une ferme villageoise. La probabilité, à 95% de confiance, est proche de 100%.

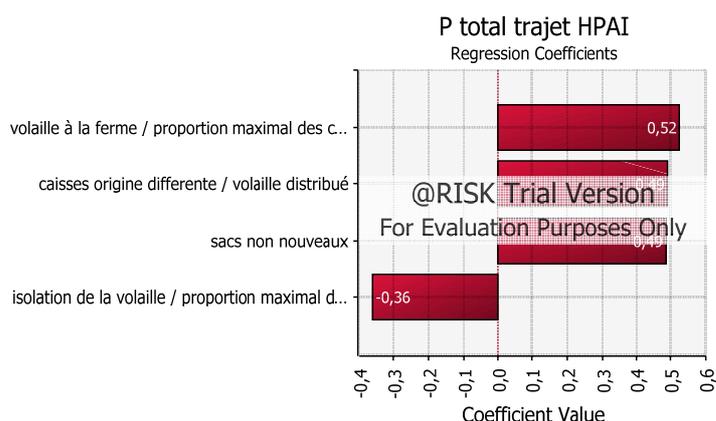
##### iii. Analyse de Sensibilité

Afin de comprendre quels sont les paramètres d'entrées qui ont le plus d'influence dans le résultat de notre probabilité, il est intéressant de procéder à une analyse de sensibilité sur notre variable P « probabilité qu'un poulet choisi au hasard ait un contact infectieux ». L'analyse pour la situation d'infection depuis la ferme gouvernementale (Fig. IX) et pour la situation d'infection pendant le trajet (Fig. X) est présenté ci-dessous:

**Figure IX: Analyse de sensibilité. HPAI. FG**



**Figure X: Analyse de sensibilité. HPAI. Trajet**



Dans la situation d'infection à partir de la ferme gouvernementale, le paramètre le plus influent sur la probabilité de sortie est la probabilité que le poulet infecté survive durant la distribution. Ce facteur est lié au moment où l'infection est introduite dans la ferme commerciale. La probabilité d'être infecté dans la ferme gouvernementale en présence du virus reste moins influente. Dans la situation d'infection pendant le trajet, trois facteurs ont une influence similaire : présence dans la ferme villageoise de la volaille et usage de sacs ou de caisses réutilisés. La probabilité que le poulet soit distribué en fin de distribution est le facteur le moins influent. La probabilité de mise en quarantaine à l'arrivée à la ferme représente le seul facteur de protection dans les deux scenarios.

### V.1.b Maladie de Newcastle

#### i. Si l'infection a eu lieu à la ferme gouvernementale

L'histogramme (Annexe 11, Fig. II) présente la distribution de probabilité qu'au moins un poulet d'un lot distribué par une ferme gouvernementale de la région d'étude avec une circulation virale de Newcastle non détectée, ait un contact infectieux avec les poulets qui sont présents à la ferme villageoise. La probabilité moyenne est de 97,53% avec un intervalle de confiance à 95% de [0,63 ;1]

#### ii. Si l'infection a eu lieu pendant le trajet

L'histogramme (Annexe 11, Fig. III) représente la distribution de probabilité qu'au moins un poulet d'un lot distribué par une ferme gouvernementale de notre région d'étude, infecté par le virus de la Newcastle (présent dans les caisses ou les sacs) au cours du trajet, ait un contact infectieux avec les poulets qui sont présents à la ferme villageoise. La probabilité est proche de 100%.

#### iii. Analyse de Sensibilité

Une analyse de sensibilité pour la situation d'infection depuis la ferme gouvernementale (Fig. XI) et pour la situation d'infection pendant le trajet (Fig. XII) a été réalisé pour l'étude des facteurs les plus influents :

Figure XI: Analyse de sensibilité. NCD. FG

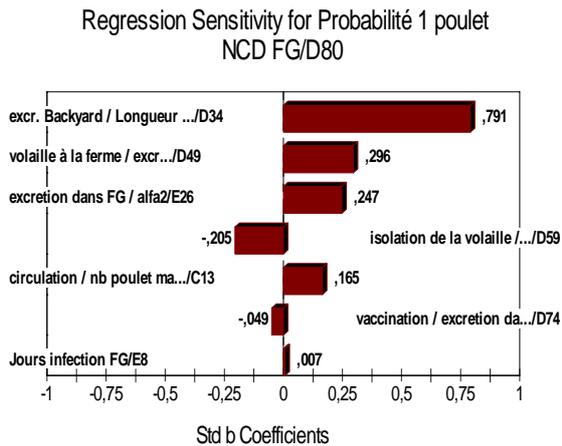
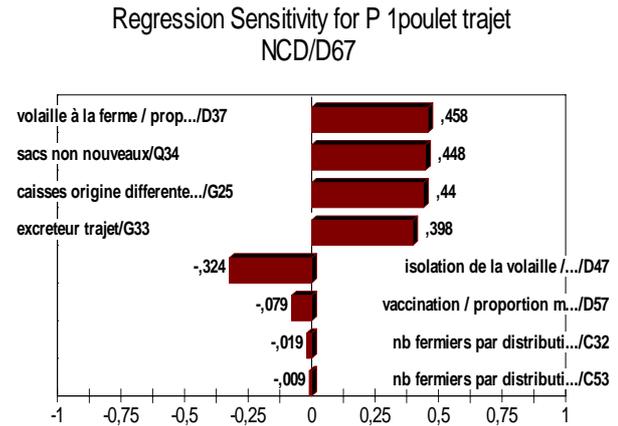


Figure : XII: Analyse de sensibilité. NCD. Trajet



Dans la situation d'infection à partir de la ferme gouvernementale (Fig. XI), le paramètre le plus influent sur notre probabilité de sortie est la probabilité que le poulet excrète toujours le virus en arrivant à la ferme villageoise. Ce facteur est lié au moment où l'infection est introduite dans notre ferme commerciale. D'autre part, le fait que les fermiers aient ou pas de la volaille dans leurs élevages constitue une deuxième variable influente. La probabilité qu'un poulet soit excréteur dans la ferme gouvernementale et la probabilité qu'un poulet provienne d'une ferme où la circulation virale est possible reste moins importante.

Dans la situation d'infection pendant le trajet (Fig. XII), quatre facteurs ont une influence similaire : présence dans la ferme villageoise de la volaille, usage de sacs et caisses réutilisés et probabilité que l'animal soit toujours excréteur à l'arrivée à la ferme. La probabilité de quarantaine à l'entrée de la ferme représente un facteur de protection plus influent que la proportion de fermiers qui vaccinent en milieu villageois pour les deux scenarios.

## V.2. Réduction sur l'appréciation de risque

Différents scénarios ont été tentés avec des variables potentiellement « contrôlables » pour réduire le risque et afin d'orienter les travaux prioritaires.

### V.2.a Influenza Aviaire Hautement Pathogène

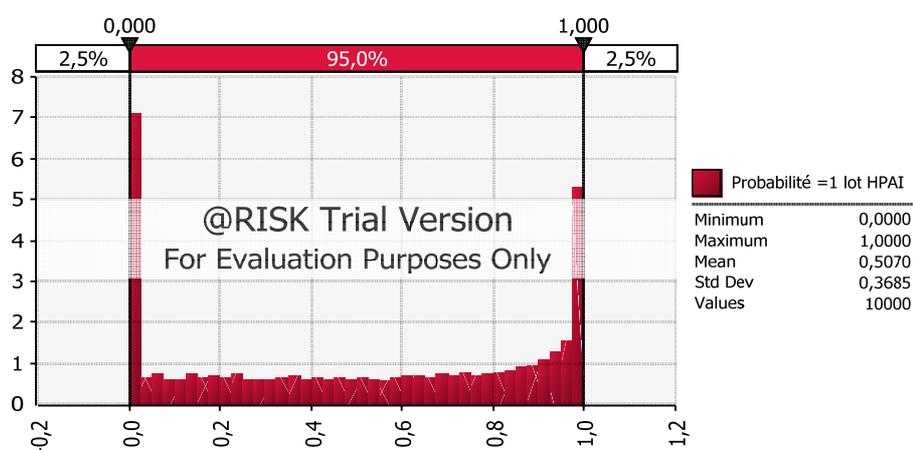
**i. Variations sur l'isolement :** différentes proportions des fermiers pratiquant l'isolement ont été proposées afin de connaître le seuil à partir duquel il aurait une réduction du risque considérable. Les résultats sont présentés ci-dessous (Table I). Des résultats similaires sont observés quand l'infection a lieu pendant le trajet (Annexe 12) :

Table I: Proportion des fermiers pratiquant l'isolement. IAHP. FG

| Proportion des fermiers pratiquant l'isolement (%) | Risque moyenne d'introduction d'au moins un poulet infecté (%) | Intervalle de confiance à 95% |
|--|--|-------------------------------|
| 50   | 99,9   | [0,96 ;1]                     |
| 80   | 99,9   | [0,75 ;1]                     |
| 90   | 96,23  | [0,46 ;1]                     |
| 95   | 89,97  | [0,27 ;1]                     |
| 99   | 50,70  | [0 ;0,99]                     |

Par conséquent, au moins une proportion de 99% des fermiers devraient pratiquer l'isolement pour que la distribution de probabilité qu'au moins un poulet ait un contact infectieux à partir d'une infection à la ferme gouvernementale, ait une moyenne de 50,70% avec un intervalle de confiance à 95% [0 ; 0,99] (Fig. XIII)

Figure XIII: Probabilité au moins 1 poulet avec contact infectieux. HPAI. FG. 99% Isolement



Des résultats similaires sont observés quand l'infection a lieu pendant le trajet (Annexe 11, Fig IV)

### V.2.b Maladie de Newcastle

**i. Variations sur l'isolement :** la même procédure qu'auparavant a été appliquée. Les relations entre le pourcentage d'isolement et la réduction du risque associé a été aussi étudié (Annexe 12). Au moins une proportion de 99% des fermiers doivent pratiquer l'isolement afin que la distribution de probabilité qu'au moins un poulet ait un contact infectieux à partir d'une infection à la ferme gouvernementale, ait une moyenne de 41,22% avec un intervalle de confiance à 95% [0 ; 0,99] (Annexe 11, Fig. V)

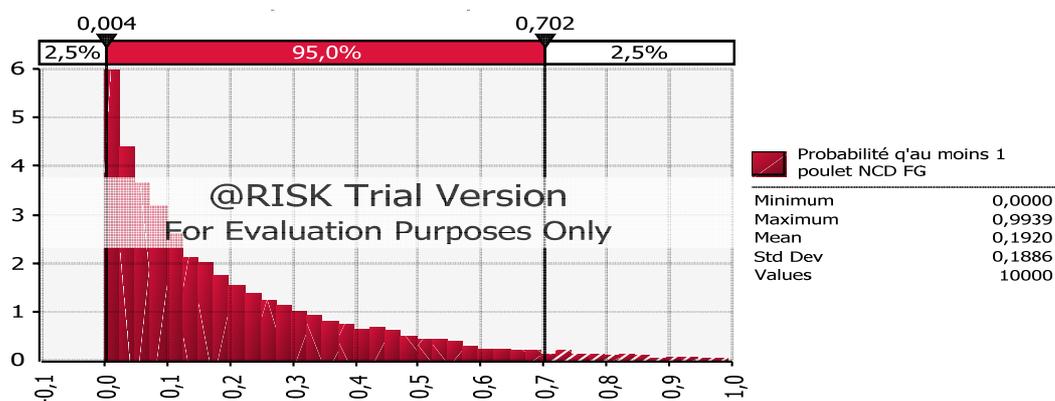
Des proportions encore plus élevés d'éleveurs doivent pratiquer l'isolement quand l'infection a lieu pendant le trajet (Annexe 11, Fig VI)

**ii. Variations sur la vaccination :** également quand des différentes proportions des fermiers appliquent cette procédure, des différents résultats sur la réduction du risque sont rencontrés (Annexe 12). Au moins une proportion de 99% des fermiers doivent pratiquer l'isolement afin que la distribution de probabilité qu'au moins un poulet ait un contact infectieux à partir d'une infection à la ferme gouvernementale, ait une moyenne de 40,98% avec un intervalle de confiance à 95% [0 ; 0,99] (Annexe 11, Fig. VII)

Des proportions encore plus élevés d'éleveurs doivent pratiquer la vaccination quand l'infection a lieu pendant le trajet (Annexe 11, Fig VIII).

**iii. Variations sur l'isolement et la vaccination :** quand les deux mesures sont étudiées les réductions de risque arrivent plus rapidement (Annexe 12). Un minimum de 95% des fermiers doivent pratiquer les deux mesures, afin que la distribution de probabilité qu'au moins un poulet ait un contact infectieux à partir d'une infection à la ferme gouvernementale, soit en moyenne de 19,2% avec un intervalle de confiance à 95% [0,04 ; 0,70] (Fig. XIV).

**Figure XIV: Probabilité au moins 1 poulet avec contact infectieux.  
NCD. FG. 95% Isolement et vaccination**



Pour les situations où l'infection a lieu pendant le trajet, 99% des fermiers doivent mettre en place les mesures pour que la distribution de probabilité ait une moyenne de 4% avec un intervalle de confiance à 95% [0 ;0,23] (Annexe 11, Fig IX)

## V Discussion

---

Cette étude de la distribution de volailles exotiques dans l'Oromya et le SNNP permet de mieux comprendre comment les circuits s'organisent en termes d'acteurs, de pratiques à risque et de volume d'oiseaux distribués. Ces programmes de distribution existent depuis plus d'une cinquantaine d'années mais la demande reste constante. En effet, la perception des éleveurs vis-à-vis des bonnes performances des races exotique, entraîne une énorme demande. Néanmoins, le faible niveau de production des fermes gouvernementales ne permet pas de satisfaire toutes les demandes d'éleveurs villageois qui, dans la plupart de cas, doivent atteindre de longues périodes afin de recevoir un nombre de volaille inférieur à celui désiré.

L'analyse des données officielles a permis de quantifier le volume de volaille distribuée, mais également d'identifier les différents liens qui existent entre les différents bureaux d'agriculture, les fermes gouvernementales et les éleveurs.

De façon générale, on peut définir deux étapes au cours du déroulement des distributions de volaille : la première étape similaire à tous les districts qui regroupe la phase de collecte des animaux auprès des fermes par les agents de la Woreda et leur transport jusqu'au bureau de la Woreda ; la seconde étape très variable selon les bureaux, qui est la distribution des oiseaux aux éleveurs.

Un modèle d'analyse de risque a été conçu afin d'évaluer le risque potentiel en terme de dissémination que constitueraient ces distributions en cas de foyer de grippe aviaire ou de Maladie de Newcastle. Pour chacune de ces maladies deux questions ont été formulées et 2 scénarios ont été envisagés afin d'y répondre.

- Question 1 : En cas d'infection dans une ferme gouvernementale, quel est le risque d'introduction de la maladie dans une ferme villageoise au cours de la distribution d'un lot de poulet ?
- Question 2 : Quel est le risque d'introduction de la maladie dans une ferme villageoise au cours de la distribution d'un lot de poulet si l'infection se produit au cours du transport ?

Les résultats globaux de l'appréciation du risque montrent que si la maladie est présente dans la ferme ou bien au cours du trajet, la probabilité qu'au moins un poulet infecté parmi le lot distribué arrive dans une ferme villageoise est proche de 100%. L'analyse du modèle nous montre qu'afin de réduire ce risque, plusieurs paramètres importants seraient potentiellement modifiables grâce à certaines mesures.

Nous avons émis l'hypothèse que si le virus de l'IAHP est introduit dans une ferme gouvernementale pendant le cycle de production, la proportion d'animaux infectés par le virus est rapidement élevée (moyenne de 95%). Cependant, considérant que ce poulet infecté a une probabilité élevée de mourir dans la ferme avant la distribution ou lors du transport, la probabilité d'introduction du virus de l'IAHP par ce dernier dans une ferme villageoise reste faible. La variable apportant le plus d'influence à notre modèle est le moment d'introduction de la maladie dans la ferme. En effet une introduction du virus en fin de période de production augmenterait considérablement les risques de dissémination de la maladie.

En comparaison, s'il y a infection au cours d'un transport, considérant que les temps de transport sont courts, la probabilité d'introduction d'un virus dans une ferme villageoise est quasiment certaine.

L'estimation de notre période d'incubation est également un facteur important sachant que nous avons estimé ce paramètre entre 3 et **10 jours** et qu'une distribution dure au maximum 5 jours.

Ce contact infectieux à partir d'une contamination au cours du trajet est beaucoup plus influencé par la présence des caisses et sacs réutilisés que par les animaux qui n'ont pas encore été distribués.

Nous avons testé le fait d'isoler des poulets nouvellement introduits dans la ferme villageoise et nous avons déterminé que c'est le seul facteur permettant de diminuer la probabilité d'infection des volailles déjà présentes dans la ferme. **Le scénario proposé pour la réduction sur l'appréciation du risque au travers d'une augmentation de la proportion d'éleveurs qui pratiquent l'isolement de la volaille à l'entrée, montre que au moins 99% des fermiers doivent le pratiquer pour diminuer le risque d'introduction à valeurs autour du 50% quelque soit le lieu d'infection.**

La probabilité d'avoir un poulet excréteur du virus de la maladie de Newcastle dans une ferme gouvernementale est variable. Elle dépend de la probabilité que le protocole de vaccination appliqué dans la ferme gouvernementale soit efficace (avec un fort niveau de protection) pour éviter des mortalités en cas d'introduction du virus et de la probabilité individuelle qu'un poulet puisse devenir excréteur. Cependant, considérant que ce poulet infecté a une probabilité élevée de finir le période d'excrétion dans la ferme ou lors du transport, la probabilité d'introduction du virus de la Newcastle par ce dernier dans une ferme villageoise reste faible.

Egalement, l'usage des sacs et caisses réutilisés entraîne un risque vis-à-vis de l'infection.

**Les résultats suggèrent que l'isolement des poulets à l'arrivée dans la ferme villageoise a plus d'influence que la vaccination. Cependant quand des scénarios sont proposés pour la réduction sur l'appréciation du risque, l'on observe que l'augmentation de la proportion d'éleveurs qui pratiquent une des deux mesures doivent être les mêmes pour acquérir de réduction de risque très semblables. Dans les deux cas, au moins 99% d'éleveurs doivent pratiquer ou la vaccination ou l'isolement pour avoir une réduction du risque jusqu'à valeurs de 40% si l'infection est produite à la ferme gouvernementale, ou 70% si l'infection est produite au cours du trajet. Néanmoins, si les deux mesures sont appliqués au même temps par 99% des fermiers, une réduction jusqu'à valeurs du 9% ou 4% sont réussis, quand l'infection se produise à la ferme gouvernementale ou pendant le trajet, respectivement.**

Cette étude présente certaines limites. Au niveau général, on peut se poser la question si, même en étant une étude stochastique, l'incertitude de certains paramètres peut être représentée avec une étude ponctuelle où huit distributions provenant de quatre fermes gouvernementales ont été suivies. Cependant la limite de trois mois sur le terrain ne permet pas de faire une étude plus précise. De plus, des contraintes diverses ont rendu difficile les contacts avec les fermes gouvernementales en particulier des problèmes de télécommunications. D'autres problèmes ont été rencontrés lors du terrain : inexactitude des dates des livraisons de volaille, avancements ou retards des dates prévues, chevauchements des distributions, impossibilité de suivi des distributions pour des raisons de sécurité, difficultés d'accès au terrain, besoin d'un certain nombre de jours pour réaliser chaque distribution lors desquelles le personnel des bureaux d'agriculture n'étaient pas toujours disponibles...

Plusieurs biais peuvent être identifiés. Les distributions de volaille suivies n'ont pas été sélectionnées de façon aléatoire. Au début du stage, il n'était pas possible de savoir la destination ni la quantité de volaille distribuée par les fermes gouvernementales. Cette information est définie par les zones peu de temps avant de réaliser la distribution. Donc nous la découvrons sur place. Et souvent les fermes ne savaient pas quelles Woredas venaient chercher la volaille le jour même de la

distribution, puisque dans la majorité des cas, les Woredas contactaient l'office de la zone qui informait la ferme. Par contre, la variabilité au niveau des fermes villageoises a été représentée par différentes méthodes d'échantillonnage appliquées à l'arrivée aux différentes Woredas. Plusieurs contraintes de terrain (non disponibilité d'agents des bureaux d'agriculture, manque, changements ou erreurs dans les listes des éleveurs, manque de temps ou difficultés d'accès) ont empêché, dans la plupart de cas, de mettre en place le protocole ou de prendre contact avec les éleveurs échantillonnés.

Des biais d'observation ou mesures peuvent être aussi identifiés, à commencer par le facteur d'avoir eu deux traducteurs. Les deux avaient reçus les instructions pour traduire correctement l'enquête, mais les appréciations individuelles, la capacité de communication, le niveau de compréhension de la langue anglaise et l'intérêt pour le projet n'étaient pas les mêmes. Le double traduction, de l'anglais vers l'amharique et de l'amharique vers une autre langue locale, constitue un deuxième facteur qui a dû être réalisé dans un pourcentage considérable d'enquêtes. Les premières appréciations vis-à-vis du biais d'observation sont aussi valables pour le traducteur de la troisième langue. D'autres erreurs ont été faites : la réalisation de questionnaires de groupe de fermier était moins efficace par manque de concentration des éleveurs et par l'influence que les réponses des uns pouvaient avoir sur les autres. Le désir de participation de la population locale à l'enquête a parfois créé une certaine confusion. Des solutions ont été tentées afin de résoudre ce problème, comme par exemple la demande d'un espace tranquille pour réaliser les questionnaires. La fatigue après des heures de voyage sur des pistes a eu aussi une influence sur la motivation du travail de l'équipe.

Des biais concernant les critères d'échantillonnage ont également été relevés. Ces critères ont été décidés sur place à partir de l'observation de l'organisation des différents bureaux de Woredas en fonction de l'information disponible. Parfois on n'obtenait pas l'information nécessaire pour réaliser un correcte échantillonnage au début. Des mauvais choix lors d'incomplètes informations auraient conduit à des résultats inexacts.

La formulation des hypothèses incorrectes pourrait conduire à l'incertitude de certains paramètres. Par exemple, nous avons émis l'hypothèse qu'une caisse ou un sac réutilisé sont forcément infectés. Nous aurions pu considérer la probabilité qu'une caisse ou un sac soit infecté et la probabilité de survie du virus dans le matériel. Mais, nous avons choisi de commencer par faire un modèle simple qui pourra être complexifié par la suite.

Le manque d'informations pour certains paramètres a constitué aussi une incertitude. Ce fût le cas du paramètre calculant la circulation virale silencieuse. Cette hypothèse a été calculée à partir des enquêtes de quatre 4 fermes gouvernementales. Des enquêtes supplémentaires auraient permis d'affiner ce paramètre, mais des contraintes de terrains ne nous ont permis de les réaliser.

Une maladie très contagieuse ne peut être bien évaluée si on ne tient pas compte de l'ensemble des animaux et, donc, de la dynamique de la population et de la maladie. Dans ce cas, l'application ou la combinaison de modèles plus dynamiques comme les modèles mathématiques à compartiments aurait permis de connaître la diffusion dans un groupe d'animaux. Des études ont estimé les valeurs de paramètres de modélisation pour l'influenza aviaire hautement pathogène dans une population sensible (Tiensin 2007) et pour la Newcastle dans une population vaccinée (Van Boven 2008). Par ailleurs, les fermes gouvernementales ont des systèmes de surveillance sanitaire par l'observation de la mortalité de base (qui diffère entre fermes) et la détection d'animaux malades. Ces modèles auraient permis de fixer le seuil maximal dans le cas où la volaille aurait été distribuée sans déclencher aucune suspicion, ce qui aurait donnée la probabilité réelle qu'un poulet soit infecté au départ en fonction des seuils de détection. Ainsi, différents scénarios par des souches virales diverses permettrait d'évaluer le risque qu'un lot de poulet puisse partir infecté. Cependant, une étude de ces caractéristiques ne fait pas partie des compétences demandées pour la réalisation du CEAV. Néanmoins, c'est une possibilité pour de futures études.

Le traitement d'autres paramètres a été très discuté, notamment le fait d'arriver vivant ou excréteur à la ferme villageoise à partir d'une infection au niveau de la ferme gouvernementale. Ce paramètre aurait pu également être traité au travers d'un modèle dynamique mais aussi au travers des distributions qui tiennent compte du temps. Une loi de poisson, par exemple, aurait permis de savoir le nombre moyen d'événements (la mort due à la fin de la période d'incubation ou la fin du période d'excrétion) pendant un intervalle de temps. Mais l'application de cette loi n'est pas correcte pour des maladies très contagieuses où la probabilité d'occurrence n'est pas constante et les événements ne sont pas indépendants (Pouillot 2002). De plus, la flexibilité des périodes d'incubation différentes, la contamination à un jour aléatoire durant le période de production, le choix aléatoire du jour de distribution et la durée variable du trajet aurait conduit à une analyse plus déterministe.

Le cas d'infection au cours du trajet a posé le même souci. Des études ont été faites pour estimer la probabilité qu'un animal soit infecté (Jones 2005). Elles proposent de résoudre la question en admettant que l'infection suit un processus binomial et qu'elle dépend de la prévalence, du nombre de contacts et de la probabilité de contact avec des animaux non immunisés. Mais cette option, à nouveau, n'est pas adaptée pour une maladie où l'environnement joue un rôle dans la transmission.

D'autres questions ont été posées. C'est le cas des protocoles vaccinaux aux fermes gouvernementales. On se demande si des protocoles plus efficaces pour la Newcastle, auraient permis une protection plus forte qui pourrait empêcher la circulation virale. D'études avec des vaccins à virus vivants (van Boven 2008) affirment que, malgré que les protocoles confèrent une bonne protection en général, la circulation des souches virulentes de Newcastle ne peut être pas exclue. Des autres études avec des vaccins à souches inactivées avec des poules pondeuses au Sénégal (Cardinale 1999) signalent que des protocoles avec 3 administrations injectables à virus inactivé, confèrent une protection élevée, mais rien n'indique que les virus ne puissent pas circuler malgré tout. En plus, ces protocoles ont besoin de 3 administrations jusqu'à l'âge de 4 mois, moment où la volaille des fermes gouvernementales a été déjà dispatché.

## VI Conclusion

---

Cette étude, inscrite dans la composante d'analyse de risque du projet GRIPAVI, a permis d'estimer que le risque d'introduction des pestes aviaires (Influenza Aviaire Hautement Pathogène et maladie de Newcastle) au niveau villageois dans la région d'Oromya et SNNP en Éthiopie à partir d'un un lot de poulet est très élevé, si les virus sont présents dans les deux scénarios identifiés.

Cependant il faudrait considérer la présence de facteurs très influents dans l'introduction, qui pourraient être contrôlés.

Pour empêcher l'introduction des virus dans les fermes villageoises à partir d'une infection depuis la ferme gouvernementale, des mesures de contrôle très strictes devraient être mise en place au niveau villageois. Pour cela, le contrôle des animaux au départ des fermes gouvernementales avec d'importantes mesures de biosécurité consistantes avec des désinfections systématiques du matériel, pourrait être la mesure la plus efficace. D'autre part, une sensibilisation des éleveurs vis-à-vis de l'isolement de la volaille à l'entrée de la ferme pourrait être envisagée, ainsi qu'une organisation des différents acteurs pour mettre en place des campagnes de vaccination de Newcastle de façon régulière. Cependant les difficultés de terrain et la pénurie de main d'œuvre remettent en question cette possibilité.

Pour empêcher l'introduction des virus dans les fermes villageoises à partir d'une infection au cours du trajet, des mesures appropriées de nettoyage et désinfection à l'entrée des fermes gouvernementales pourraient être proposées. Par ailleurs, le contrôle de l'origine des caisses pour transporter la volaille ou l'utilisation de sacs neufs serait aussi une mesure à mettre en place.

Malgré les limitations du modèle proposé, celui-ci a permis de comprendre que le risque d'introduction des pestes aviaires au niveau villageois au travers du circuit commercial gouvernemental est très élevé. Il a également conduit à l'identification des facteurs les plus significatifs pour le contrôle de ce risque. Dans une perspective de poursuite de ce travail, il serait intéressant d'analyser les risques de dissémination en fonction des systèmes de surveillance et de biosécurité des fermes gouvernementales. Également il serait intéressant d'étudier les risques d'importation des souches d'influenza aviaire faiblement pathogènes (déjà étudié pour des souches hautement pathogènes), et intégrer ces résultats avec des études de risque d'introduction au niveau villageoise en fonction des systèmes de surveillance des fermes gouvernementales, en tenant compte des dynamiques de populations.

## VII Bibliographie

---

- ABEBE W., 2006. Poultry Biosecurity Study in Ethiopia. In: Consultancy Report FAO, Addis Abeba, 42p
- Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments AFSSA (2007) *Influenza* aviaire hautement pathogène, *In* : Fiche « Maladies animales »
- Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments AFSSA (2007) Maladie de Newcastle et Paramyxovirose du pigeon, *In* : Fiche « Maladies animales »
- ALEXANDER D. (2003). Newcastle disease, other avian paramyxoviruses, and pneumovirus infections. *Diseases of Poultry*: 63-99.
- ALLAN, W. (1973). The production and Use of Newcastle Diseases Vaccines. FAO. Rome
- ANDERSONN E.L., HATIS, D. (1999) When and how can you specify a probability distribution when you don't know much. Foundations: A. Uncertainty and Variability. *Risk Anal*, **19**, 47-49.
- BUSH J (2006) The Threat of Avian Flu, Predicted Impact on Rural Livelihoods in SNNPR (Ethiopia), *The Food Economy Group*, 25p
- CARDINALE E., TALL F., KANE P., MOISAN A. Étude comparative de protocoles de vaccination contre la maladie de Newcastle dans les élevages modernes de poules pondeuses au Sénégal, *Revue Méd. Vét. Pays trop.* **52 (3-4)**, 189-193
- CSA (2006) Agricultural Sample Survey (2006-2007) Volume II, *Report on Livestock and Livestock characteristics*, Statistical Bulletin, **2**
- DEGEFA T, DADI L, YAMI A, G/MARIAM K, NASSIR M (2004) Technical and economic evaluation of different methods of Newcastle disease vaccine administration, *J. Vet. Med. A* **51**, 365-369
- EIDSON CS, KLEVEN SH (1975) A comparison of various routes of Newcastle disease vaccination at one day of age, *Poultry Science* **55**, 1778-1797
- ETTER E (2005) Élevage, épidémiologie et analyse de risque, *In* : Atelier de formation «Elevage et risque » CIRAD/ EPE, Montpellier, 6 et 7 septembre 2005
- GIAMBRONE JJ (1981) Laboratory evaluation of the immune response of young broiler chickens vaccinated against Newcastle disease under field conditions, *Poultry Science* **60**, 1204-1208
- GOUTARD F, SOARES MAGALHAES R (2006) Risk and consequence assessment of HPAI introduction in Ethiopia, Rapport, CIRAD - Département EMVT (Montpellier) et Organisation des Nations Unis pour l'agriculture et l'alimentation
- JONES RD, KELLY L, FOOKS AR, WOOLDRIDGE M (2005) Quantitative Risk Assessment of Rabies Entering Great Britain from North America via Cats and Dogs, *Risk Analysis* **25(3)**, 533-542
- KAPCZYNSKI DR, KING DJ (2005) Protection of chickens against overt clinical disease and determination of viral shedding following vaccination with commercially available Newcastle disease virus vaccines upon challenge with highly virulent virus from the California 2002 exotic Newcastle disease outbreak, *Vaccine* **23**, 3424-3433

MARTIN V., FORMAN A., LUBROTH J.,(2006). Preparing for Highly Pathogenic Avian Influenza. *A Manual for Countries at Risk*. Rapport FAO, EMPRES, OIE

MURRAY N. (2002) Import risk analysis. Animals and animals products. 183 pages, MAF New Zealand, Wellington (NZ)

OLIVE MM (2007) *Modélisation du risque de dissémination par les échanges commerciaux de maladies aviaires hautement pathogènes en Ethiopie, approche quantitative*, Rapport de stage, master 2eme année Biologie, géosciences, agroressources et environnement spécialité

Organisation mondiale de la santé animale OIE, Manual of Diagnostic Tests and Vaccines for Terrestrial Animals, Manuel terrestre de l'OIE chapitre 2.1.15 [en ligne], mise à jour le 23/07/2004, [[http://www.oie.int/fr/normes/mmanual/A\\_00038.htm](http://www.oie.int/fr/normes/mmanual/A_00038.htm)]

Organisation mondiale de la santé animale OIE, **Recueil des données par maladie [en ligne], mise à jour le 19/03/2008** [[http://www.oie.int/fr/maladies/fr\\_alpha.htm?e1d7](http://www.oie.int/fr/maladies/fr_alpha.htm?e1d7)]

Organisation mondiale de la santé animale OIE, Code sanitaire pour les animaux terrestres [en ligne], mise à jour le 09/08/2007 [http://www.oie.int/esp/normes/es\\_mcode.htm?e1d10](http://www.oie.int/esp/normes/es_mcode.htm?e1d10)

POUILLOT R (2002) Caractérisation d'une loi de distribution d'une variable entrant dans un modèle d'analyse de risque probabiliste, *Epidémiol. et santé anim.* **41**, 113-143

POUILLOT R, SANAA M, DUFOUR B (2002) Principes de l'appréciation quantitative probabiliste des risques, *Epidémiol. et santé anim.* **41**, 95-112

Productions animales en régions chaudes, Cirad et UFR Sciences, Montpellier, 85p.

RUSSELL PH, EZEIFEKA GO (1995) The Hitchner B1 strain of Newcastle disease virus induces high levels of IgA, IgG and IgM in newly hatched chicks, *Vaccine* **13 (1)**, 61-66

SENNE DA, KING DJ, KAPCZYNSKI DR (2004) Control of Newcastle disease by vaccination. *Dev Biol (Basel)* **119**:165-70.

SERKALEM T, HAGOS A, ZELEKE A (2005) Seroprevalence study of Newcastle disease in local chickens in central Ethiopia, *Intern. J. Appl. Res. Vet. Med.* **3 (1)**, 25-29

SPRADBROW, PB, COPLAND, JW, (1996). Production of thermostable disease vaccines in developing countries. *Preventive Veterinary Medicine*, **29** : 157-159

TADELLE D., MILLION ., ALEMU Y., PETERS K.J., 2003. Village chicken production systems in Ethiopia : 1. Flock characteristics and performance, *Livestock Research for Rural Development* **15 (1)**, 22p

THIAUCOURT F (1988) Production et essais de vaccins inactivés en excipient huileux contre la maladie de Newcastle en Ethiopie, *Revue Méd. Vét. Pays trop.* **41 (3)**, 229-233

TIENSIN T, NIELEN M, VERNOOIJ H, SONGSERM T, KALPRAVIDH W, CHOTIPRASATINTARA S *et al.* (2007) Transmission of the Highly Pathogenic Avian Influenza Virus H5N1 within Flocks during the 2004 Epidemic in Thailand, *Infect. Dis.* **96 (11)**, 1679-1684

TOMA B, DUFOUR B, SANAA M *et al* (2001) *Epidémiologie appliquée à la lutte collective contre les maladies animales transmissibles majeures*, 2<sup>nd</sup> éd. Maisons-Alfort : AEEMA, 696p

U.S. Animal Health Association (1994) Report of the Committee on Transmissible Diseases of Poultry and Other Avian Species. Criteria for determining that an AI virus isolation causing an outbreak must be considered for eradication, *Proceedings of the 98th Annual Meeting of the U.S. Animal Health Association*, 522

VAN BOVEN M, BOUMA A, FABRI THF, KATSMA E, HARTOG L, KOCH G (2008) Herd immunity to Newcastle disease virus in poultry by vaccination, *Avian Pathology* **37(1)**, 1-5

WESTBURY HA (1984) Comparison of the immunogenicity of Newcastle disease virus strains V4, B1 and La Sota in chickens, 1. Tests in susceptible chickens, *Australian Veterinary Journal* **61 (1)**, 5-9

WESTBURY HA, PARSONS G, ALLAN WH (1984) Comparison of the immunogenicity of Newcastle disease virus strains V4, B1 and La Sota in chickens, 2. Tests in chickens with maternal antibody to the virus, *Australian Veterinary Journal* **61 (1)**, 10-13

WESTBURY HA, PARSONS G, ALLAN WH (1984) Comparison of the residual virulence disease vaccine strains V4, Hitchner B1 and La Sota, *Australian Veterinary Journal* **61 (2)**, 47-49

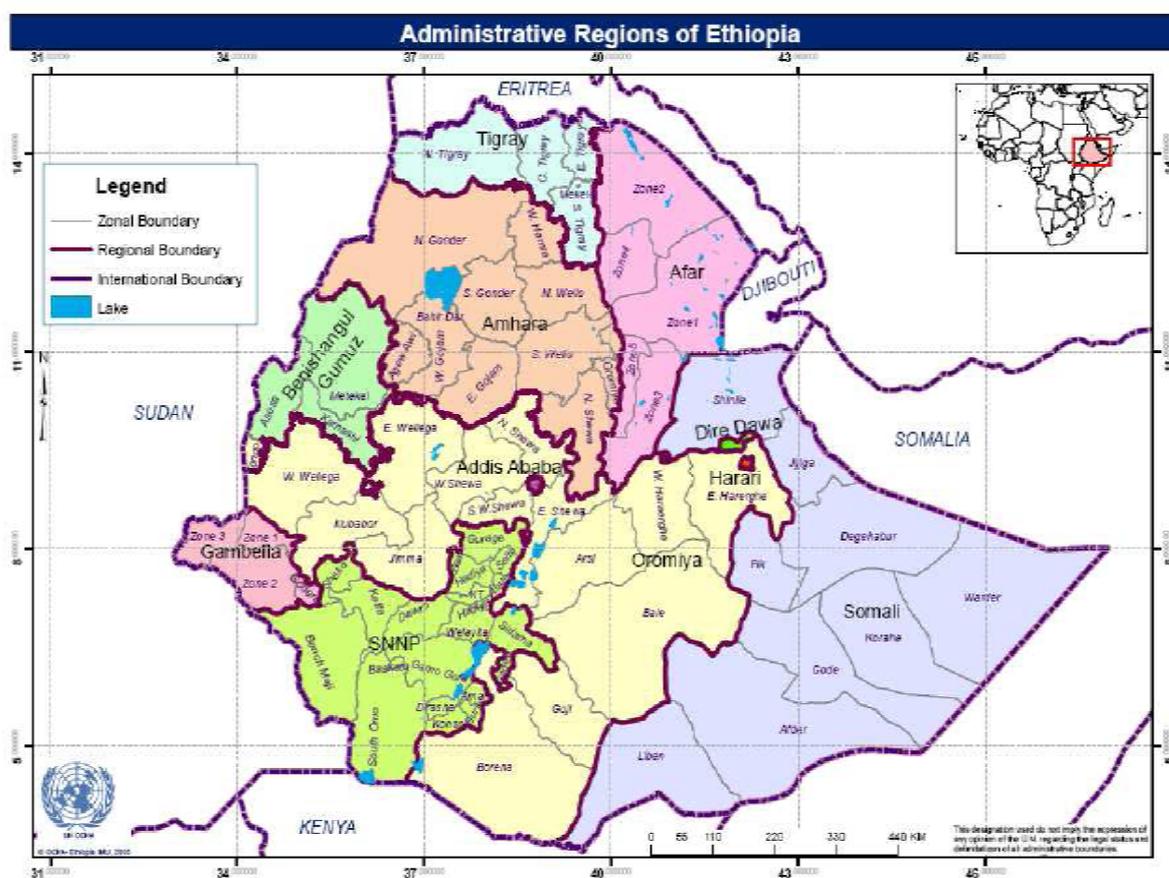
WIELAND B. (2006). Introduction à l'analyse de risque. Congrès Hammamet juin 2006

ZELEKE A, SORI T, GELAYE E, AYELET G (2005) Newcastle disease in village chickens in the southern and rift valley districts in Ethiopia, *International Journal of Poultry Science* **4 (7)**, 507-501

# ANNEXES

---

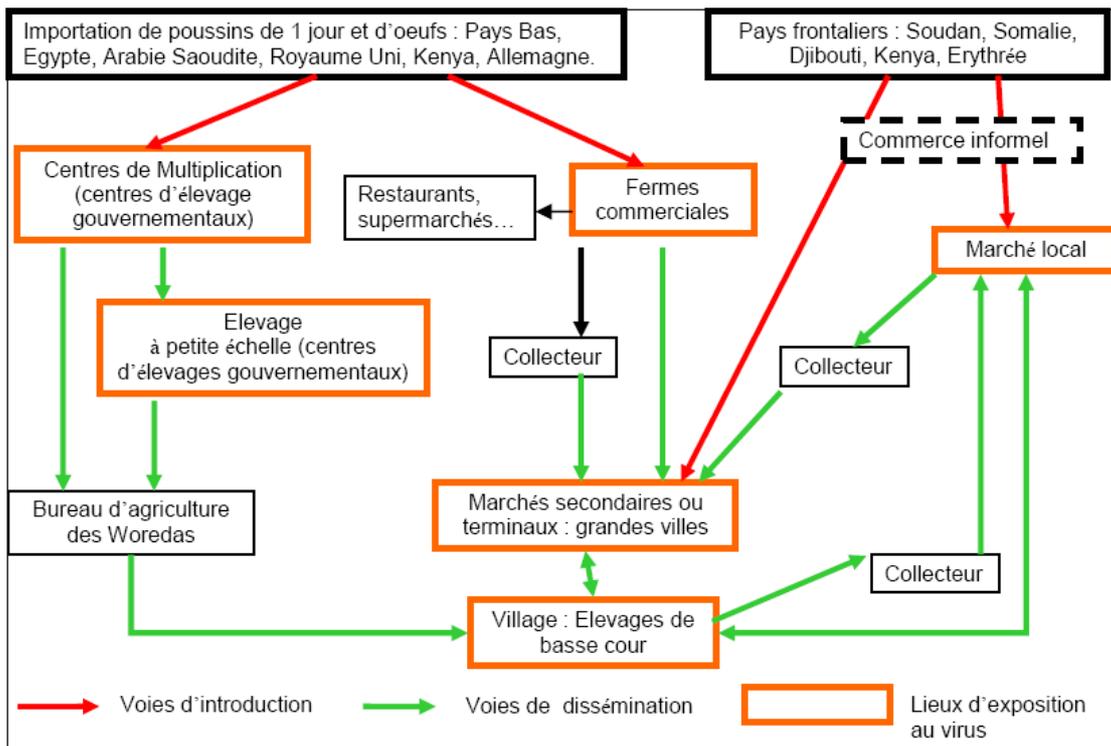
## Annexe 1: Les Régions et Zones d'Éthiopie (FAO, 2005)



**Annexe 2: Fermes gouvernementales par Région (Olive 2007)**

| <b>Multiplication center</b> |               | <b>Rearing center</b> |               |
|------------------------------|---------------|-----------------------|---------------|
| <b>Name</b>                  | <b>Region</b> | <b>Name</b>           | <b>Region</b> |
| Mekele                       | Tigray        | Fiche                 | Oromya        |
| Kombolcha                    | Amhara        | Ambo                  | Oromya        |
| Andasa                       | Amhara        | Nekemt                | Oromya        |
| Bedele                       | Oromya        | Assela                | Oromya        |
| Nathreth                     | Oromya        | Dire Dawa             | Dire Dawa     |
| Adele                        | Oromya        | Sodo                  | SNNP          |
| Awassa                       | SNNP          | Gubrie                | SNNP          |

**Annexe 3: Modèle conceptuel du risque d'introduction d'H5N1 en Éthiopie (basé sur Goutard 2006)**



**Annexe 4: Exemple de Récolte des données pendant le trajet**

**DATE**

**N° DISTRIBUTION:**

| <b>N° STOP</b> | <b>LOCATION</b> | <b>GPS</b> | <b>T0</b> | <b>Tf</b> | <b>Reason</b> | <b>N° poultry dowloaded</b> | <b>Other material downloaded</b> | <b>Comments</b> |
|----------------|-----------------|------------|-----------|-----------|---------------|-----------------------------|----------------------------------|-----------------|
| 1              |                 |            |           |           |               |                             |                                  |                 |
| 2              |                 |            |           |           |               |                             |                                  |                 |
| 3              |                 |            |           |           |               |                             |                                  |                 |
| 4              |                 |            |           |           |               |                             |                                  |                 |
| 5              |                 |            |           |           |               |                             |                                  |                 |
| 6              |                 |            |           |           |               |                             |                                  |                 |
| 7              |                 |            |           |           |               |                             |                                  |                 |

## Annexe 5: Extrait des enquêtes aux centres de multiplication

### GOVERNMENTAL FARM

### MULTIPLICATION CENTER

**DATE:**

### GENERAL INFORMATION

#### IDENTIFICATION

|          |  |
|----------|--|
| Name     |  |
| Activity |  |

#### LOCALISATION

|                                       |                    |
|---------------------------------------|--------------------|
| GPS                                   |                    |
| Which is the location of this center? |                    |
| Which is the situation?               | woreda:<br>kebele: |

#### FARM ORGANISATION

|   |          |
|---|----------|
| How many people are working in this farm? |          |
| Is there an attendant/house?              | YES / NO |

#### ORIGINE

|                                   |                                      |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Name of breed                     |                                      |
| Do you import the day-old chicks? | YES / NO                             |
|                                   | Y: from which country do you import? |
|                                   | Y: what is the frequency?            |
|                                   | Y: when was the last purchase?       |
| Do you import fertilized eggs?    | YES / NO                             |
|                                   | Y: from which country do you import? |
|                                   | Y: what is the frequency?            |
|                                   | Y: when was the last purchase?       |

**Annexe 6: Extrait des enquêtes aux fermiers villageois**

**BACKYARD SURVEY**

**EXOTIC AND INDIGENOUS POULTRY**

**DATE:**

**N° BACKYARD:**

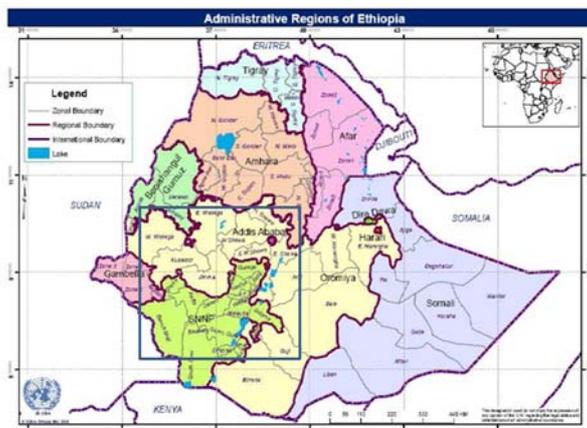
**GENERALITIES**

|   |  |                               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---|--|-------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Survey made in  | <input type="radio"/> Meeting point (woreda,...)<br><br>n° STOP for this distribution:<br><input type="radio"/> Backyard<br>GPS: |                               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Name farmer:  |  |                               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Wereda:   |  |                               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Kebele (village):   |  |                               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Are you the responsible to take care of the poultry? YES / NO                       |  |                               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   | N: Who is?   |                               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   | Are the responsible married? YES / NO  |                               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   | Sex responsible<br><input type="radio"/> male<br><input type="radio"/> female  |                               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| How old are the responsible?  | <input type="radio"/> 10-18<br><input type="radio"/> 19-40<br><input type="radio"/> >41  |                               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Have the responsible another job? YES / NO  |  |                               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   | Y: Agricultural activities by order of importance of the responsible<br>Crop/cereal _____<br>Cash crop _____<br>Husbandry _____  |                               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| In how many distributions have you already participated?      1-3      4-7      > 7 |  |                               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| During last year, when have you bought EXOTIC poultry?                              | 1999   | 2000                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   | M   J   Jl   A   | S   O   N   D   J   F   M   A |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Breed of EXOTIC poultry?  |  |                               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

**TOTAL POULTRY**

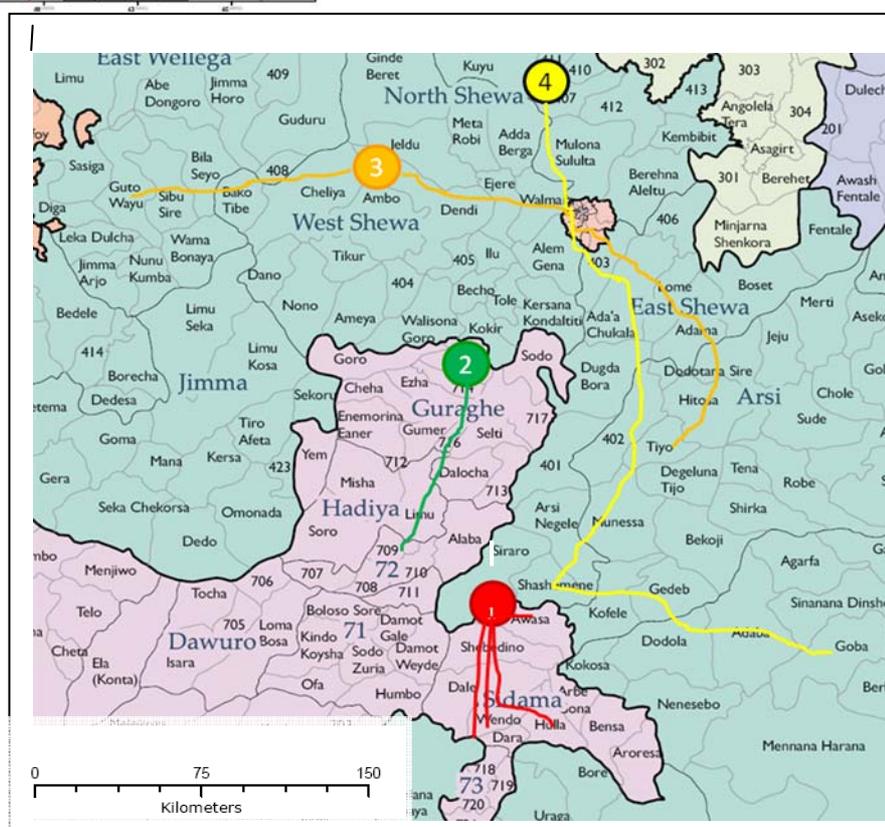
|   |                             |        |        |             |
|---|-----------------------------|--------|--------|-------------|
| How many TOTAL POULTRY do you currently have? |                             | EXOTIC | NATIVE | CROSS BREED |
|   | Adults (more than 5 months) |        |        |             |
|   | Growers (1-5 months)        |        |        |             |
|   | Chicks (day-old-1months)    |        |        |             |
|   | TOTAL                       |        |        |             |
| Do you have exotic hens? YES / NO             |                             |        |        |             |
| Do you have exotic cocks? YES / NO            |                             |        |        |             |

## Annexe 7: Carte des distributions suivies pendant la période de stage



Fermes  
gouvernementales et  
distributions suivies  
pour chaque ferme :

- 1 Awassa
- 2 Gubrie
- 3 Ambo
- 4 Fiche



**Source:** Atlas of the Ethiopian Rural Economy. Ethiopian Development Research Institute. Addis Ababa, Ethiopia

## Annexe 8: Total des distributions des Fermes Gouvernementales

### DISTRIBUTIONS DE LA FERME GOUVERNEMENTALE AWASSA

| Nom Zone                           | Nom Woreda       | 25 febr - 2 mars | Jour livraison | Quantité volaille | Suivi distribution |
|------------------------------------|------------------|------------------|----------------|-------------------|--------------------|
| <b>Awassa City Agr. Coop. Desk</b> | Subcity Kebele 1 | oui              | Au jour prévu  | 80                | oui                |
|                                    | Subcity Kebele 2 | oui              | Au jour prévu  | 256               | non                |
|                                    | Subcity Kebele 3 | oui              | Au jour prévu  | ?                 | non                |
|                                    | Subcity Kebele 4 | oui              | Au jour prévu  | ?                 | non                |
|                                    | Subcity Kebele 5 | oui              | Au jour prévu  | ?                 | non                |
|                                    | Subcity Kebele 6 | oui              | Au jour prévu  | ?                 | non                |
|                                    | Subcity Kebele 7 | oui              | Au jour prévu  | ?                 | non                |
| <b>Amaro</b>                       | Special Woreda   | non              | Au jour prévu  | 800               | non                |
| <b>Sidama</b>                      | Arbegona         | oui              | Au jour prévu  | 320               | non                |
|                                    | Hula             | oui              | Avancé         | 320               | oui                |
|                                    | Aletawondo       | oui              | Avancé         | 320               | oui                |
|                                    | Chuko            | oui              | Avancé         | 320               | oui                |
|                                    | Mega             | non              | Au jour prévu  | 320               | non                |
| <b>Gedeo</b>                       | Special Woreda   | non              | Au jour prévu  | 1000              | non                |
| <b>Alaba</b>                       | Special Woreda   | non              | Au jour prévu  | 1100              | non                |
| <b>Cuculu poultry</b>              | Cooperative      | non              | Au jour prévu  | 350               | non                |
| <b>DISTRIBUTION TOTAL AWASSA</b>   |                  |                  |                |                   | <b>5650</b>        |

## DISTRIBUTIONS DE LA FERME GOUVERNEMENTALE GUBRIE

| Nom Zone                         | Nom Woreda | 10 - 24 mars | Livraison     | Quantité volaille | Suivi distribution |
|----------------------------------|------------|--------------|---------------|-------------------|--------------------|
| Kembata Tembaru                  | Damboya    | oui          | Au jour prévu | 368               | oui                |
|                                  | Angatcha   | non          | Annulé        | 362               | non                |
|                                  | Doyogena   | non          | Annulé        | 372               | non                |
| <b>DISTRIBUTION TOTAL GUBRIE</b> |            |              |               |                   | <b>368</b>         |

## DISTRIBUTIONS DE LA FERME GOUVERNEMENTALE AMBO

| Nom Zone                       | Nom Woreda | 7 – 21 avril | Livraison     | Quantité volaille | Suivi distribution |
|--------------------------------|------------|--------------|---------------|-------------------|--------------------|
| West Arsi                      | Shashamene | non          | Avancé        | 488               | non                |
|                                | Korei      | non          | Avancé        | 212               | non                |
| Arsi                           | Gole       | oui          | Avancé        | 300               | non                |
|                                | Gololcha   | oui          | Avancé        | 250               | non                |
|                                | Tiyo       | oui          | Au jour prévu | 150               | oui                |
| East Wellega                   | Gutogida   | oui          | Au jour prévu | 300               | oui                |
| West Shoa                      | Gindeberet | oui          | Au jour prévu | 250               | non                |
|                                | Geldu      | oui          | Au jour prévu | 150               | non                |
| <b>DISTRIBUTION TOTAL AMBO</b> |            |              |               |                   | <b>2100</b>        |

**DISTRIBUTIONS DE LA FERME GOUVERNEMENTALE FICHE**

| <b>Nom Zone</b>                 | <b>Nom Woreda</b> | <b>3 - 9 mai</b> | <b>Livraison</b> | <b>Quantité volaille</b> | <b>Suivi distribution</b> |
|---------------------------------|-------------------|------------------|------------------|--------------------------|---------------------------|
| <b>Shashamene</b>               | Abichu            | non              | Avancé           | 212                      | non                       |
|                                 | Debre Libanos     | non              | Avancé           | 151                      | non                       |
|                                 | Kimbibit          | non              | Avancé           | 245                      | non                       |
| <b>Bale</b>                     | Seewonna          | non              | Avancé           | 122                      | non                       |
|                                 | Raayitum          | non              | Avancé           | 118                      | non                       |
|                                 | Hebre Buluk       | non              | Avancé           | 154                      | non                       |
|                                 | Goba              | oui              | Au jour prévu    | 155                      | oui                       |
| <b>Borona</b>                   | Borona            | oui              | Au jour prévu    | 626                      | non                       |
| <b>DISTRIBUTION TOTAL FICHE</b> |                   |                  |                  |                          | <b>661</b>                |

### Annexe 9: Protocoles vaccinaux des Fermes Gouvernementales visitées

| Ferme gouvernementale | Moment de la vaccination | Protocol Vaccinal | Voie d'administration     | Jours Vaccination                        |
|-----------------------|--------------------------|-------------------|---------------------------|--|
| Awassa                | Primovaccination         | Hitchner-B1       | Instillation conjonctival | 1 <sup>ère</sup> sem.                    |
|                       | Rappel                   | LaSota            | Eau de boisson            | 3 <sup>ème</sup> , 7 <sup>ème</sup> sem. |
| Gubrie                | Primovaccination         | LaSota            | Eau de boisson            | 15j                                      |
|                       | Rappel                   | LaSota            | Eau de boisson            | 29, 59j                                  |
| Ambo                  | Primovaccination         | Hitchner-B1       | Instillation conjonctival | 1j                                       |
|                       | Rappel                   | Thermostable      | Eau de boisson            | 21, 60j                                  |
| Fiche                 | Primovaccination         | Hitchner-B1       | Instillation conjonctival | 7j                                       |
|                       | Rappel                   | LaSota            | Eau de boisson            | 21, 60j                                  |

## Annexe 10: Distributions des paramètres 1

### Influenza Aviaire Hautement Pathogène : Infection depuis la ferme gouvernementale

| Localisation                 | Variables   | Valeurs à modéliser   | Source                             | Input  |
|------------------------------|---|---|------------------------------------|--|
| <b>Ferme Gouvernementale</b> | Probabilité d'infection dans un lot   | Probabilité qu'un poulet soit infecté : (0,01 ;0,95 ;1)           | Hypothèse                          | Pert   |
| <b>Trajet</b>                | Probabilité qu'un poulet infecté arrive vivant à la ferme villageoise               | Choix aléatoire du jour d'infection dans la FG : Uniform (0,90)   | Hypothèse                          | [(90 + Uniform (0,15) ) – Uniform (0,90)] + Pert (0,1,5) < Pert (2,4,21).<br>Après 30 simulations on applique une distribution Normale |
|                              |   | Choix aléatoire du jour de distribution : Uniform (0,15)          | Hypothèse                          |  |
|                              |   | Choix aléatoire de la longueur du trajet: Pert (0,1,5)            | Distributions observés et enquêtes |  |
|                              |   | Choix aléatoire de la période d'incubation: Pert (3,4,21)         | Bibliographie (OIE, 2004)          |  |
| <b>Ferme villageoise</b>     | Probabilité qu'un poulet soit distribué dans une ferme où il y a déjà des volailles | n: Nombre de fermiers par distribution: UniformInt (76;184)       | Enquêtes                           | Beta   |
|                              |   | s: Nombre de fermiers qui ont déjà de la volaille à la ferme : 74 |                                    |  |
| <b>Ferme villageoise</b>     | Probabilité qu'un poulet soit isolé à la ferme villageoise                          | n: Nombre des fermiers par distribution: UniformInt (76 ;184)     | Enquêtes                           | Beta   |
|                              |   | s: Nombre de fermiers qui isolent la volaille : 47                |                                    |  |

## Influenza Aviaire Hautement Pathogène : Infection pendant le trajet

| Localisation   | Variables   | Valeurs à modéliser   | Source  | Input  |
|--|---|---|---|--|
| Trajet   | Probabilité qu'un poulet soit distribué après 10 jours                                  | Nombre de volaille distribuée par lot dans des FG : UniformInt (368 ; 10000)  | Enquête   | Binomial   |
|  |   | Proportion des poulets qui risquent d'être en contact avec des caisses réutilisées et contaminées parmi les poulets des fermes gouvernementales (%) :30 | Hypothèse   |  |
|  | Probabilité qu'un poulet soit mis dans une caisse réutilisée                            | n: Nombre des caisses par distribution: IntUniform (8 ;14))   | Distributions observées                                       | Beta   |
|  |   | s: Nombre des caisses réutilisées par distribution : IntUniform (0 ; 6)   |   |  |
|  | Probabilité qu'un poulet soit en contact avec un sac non neuf                           | n: Nombre des sacs distribués parmi les 8 distributions observées: 4  | Distributions observées                                       | Beta   |
|  |   | s: Nombre de sacs non neufs : IntUniform (0 ;1)   | Distributions observées                                       |  |
|  | Probabilité qu'un poulet infecté pendant le trajet arrive vivant à la ferme villageoise | Choix aléatoire de la durée du trajet : Pert (0,1,5)  | Distributions observées et enquêtes                           | Pert (0,1,5) -<br>Pert (0,1,5) <<br>Pert (2,4,21)<br>Après 30 simulations on appliqué une distribution Normale |
|  |   | Choix aléatoire d'être infecté pendant le trajet: Pert (0,1,5)  | Distributions observées et enquêtes                           |  |
|  |   | Choix aléatoire de la période d'incubation: Pert (3,4,21)   | Bibliographie (OIE ; 2004)                                    |  |
|  | Ferme villageoise   | Probabilité qu'un poulet soit distribué dans une ferme où il y a déjà des volailles   | n: Nombre des fermiers par distribution: UniformInt (76 ;184) | Enquêtes   |
| s: Nombre de fermiers qui ont déjà volaille à la ferme: 74 |   |   |   |  |
| Probabilité qu'un poulet soit isolé à la ferme villageoise |   | n: Nombre de fermiers par distribution: UniformInt (76 ;184)  | Enquêtes  | Beta   |
|  |   | s: Nombre de fermiers qui isolent la volaille :47   |   |  |

## Maladie de Newcastle : Infection depuis la ferme gouvernementale

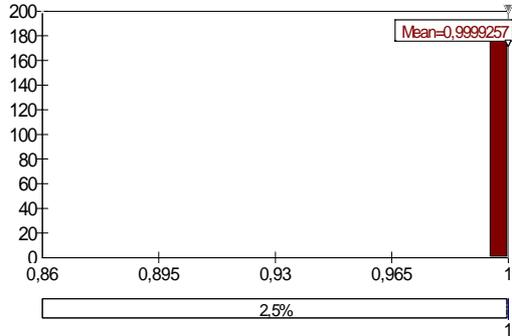
| Localisation          | Variables   | Valeurs à modéliser   | Source                              | Input   |
|-----------------------|---|---|-------------------------------------|---|
| Ferme gouvernementale | Probabilité d'avoir une circulation virale dans la FG   | n: Nombre de volaille distribuée par an aux FG : 132577   | Enquêtes                            | Beta  |
|                       |   | s: nombre de poulets qui viennent d'une ferme avec une circulation virale: Uniform (42464 ; 101661) | Hypothèse                           |   |
|                       | Poulets infectés (excréteurs)   | Probabilité qu'un poulet devienne excréteur: Pert (0,01 ; 0,85 ;1)                                  | Hypothèse                           | Pert  |
| Trajet                | Probabilité qu'un poulet infecté à la FG soit excréteur à la ferme villageoise                        | Choix aléatoire du jour d'infection dans la FG : Uniform (0,90)                                     | Hypothèse                           | [90 + Uniform (1,15) - Uniform (0,90) + Pert (0,1,5)] < Uniform (0,9)<br>Après 30 simulations, on a appliqué une distribution normale |
|                       |   | Choix aléatoire du jour de distribution : Uniform (0,15)  | Hypothèse                           |   |
|                       |   | Choix aléatoire de la longueur du trajet: Pert (0,1,5)  | Distributions observées et enquêtes |   |
|                       |   | Choix aléatoire du jour final de la période d'excrétion: Uniform (0,9)                              | Bibliographie (Kapczynski)          |   |
| Ferme villageoise     | Probabilité qu'un poulet soit distribué dans une ferme où il y a déjà des volailles                   | n: Nombre de fermiers par distribution: UniformInt (76 ;184)  | Enquêtes                            | Beta  |
|                       |   | s: Nombre de fermiers qui ont déjà de la volaille à la ferme: 74                                    |                                     |   |
|                       | Probabilité qu'un poulet soit isolé à la ferme villageoise  | n: Nombre de fermiers par distribution: UniformInt (76 ;184)  | Enquêtes                            | Beta  |
|                       |   | s: Nombre de fermiers qui isolent la volaille : 47  |                                     |   |
|                       | Probabilité qu'un poulet infecté à la ferme villageoise soit en contact avec des poulets non vaccinés | n: Nombre de fermiers par distribution: UniformInt (76 ;184)  | Enquêtes                            | Beta  |
|                       |   | s: Nombre de fermiers qui vaccinent la volaille qui est dans la ferme : 10                          |                                     |   |

## Maladie de Newcastle : Infection pendant le trajet

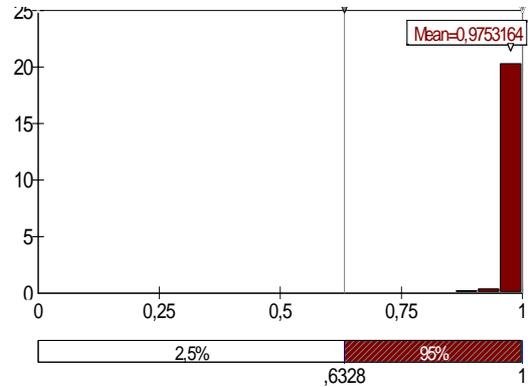
| Localisation  | Variables  | Valeurs à modéliser  | Source  | Input    |
|---|--|--|---|----------|
| Trajet  | Probabilité qu'un poulet soit envoyé à la fin de la distribution               | Nombre de volaille distribuée par lot dans des FG : UniformInt (368 ; 10000)   | Enquête   | Binomial |
|   |  | Proportion des poulets qui risquent d'être en contact avec des caisses réutilisées et contaminées parmi les poulets des fermes gouvernementales (%) : 30 | Hypothèse   |          |
|   | Probabilité qu'un poulet soit dans une caisse non propre à la Woreda           | n: Nombre de caisses par distribution: IntUniform (8 ;14))   | Distributions observées   | Beta     |
|   |  | s: Nombre de caisses réutilisées par distribution : IntUniform (0 ; 6)   |   |          |
|   | Probabilité qu'un poulet soit en contact avec un sac non neuf                  | n: Nombre de sacs distribués parmi les 8 distributions observées: 4  | Distributions observées   | Beta     |
|   |  | s: Nombre de sacs non neufs : IntUniform (0 ;1)  | Distributions observées   |          |
| Probabilité qu'un poulet infecté pendant le trajet arrive vivant à la ferme villageoise | Choix aléatoire de la durée du trajet : Pert (0,1,5)                           | Distributions observées et enquêtes  | Pert (0,1,5) -<br>Pert (0,1,5) <<br>Pert (2,4,21)<br>Après 30 simulations, on a appliqué une distribution normale |          |
|   | Choix aléatoire d'être infecté pendant le trajet: Pert (0,1,5)                 | Distributions observées et enquêtes  |   |          |
|   | Choix aléatoire de finir le période d'excrétion: Uniform (0 ;9)                | Bibliographie (Kapczynski)   |   |          |
| Ferme villageoise   | Poulet infecté à la ferme villageoise où il y a d' autres poulets              | n: Nombre de fermiers par distribution: UniformInt (76 ;184)   | Enquêtes  | Beta     |
|   |  | s: Nombre de fermiers qui ont déjà volaille à la ferme: 74   |   |          |
|   | Poulet infecté et isolé à la ferme villageoise                                 | n: Nombre de fermiers par distribution: UniformInt (76 ;184)   | Enquêtes  | Beta     |
|   |  | s: Nombre de fermiers qui isolent la volaille :47  |   |          |
|   | Poulet infecté à la ferme villageoise en contact avec des poulets non vaccinés | n: Nombre de fermiers par distribution: UniformInt (76 ;184)   | Enquêtes  | Beta     |
|   |  | s: Nombre de fermiers qui vaccinent la volaille qui est dans la ferme : 10   |   |          |

**Annexe 11: Présentation des figures de résultats**

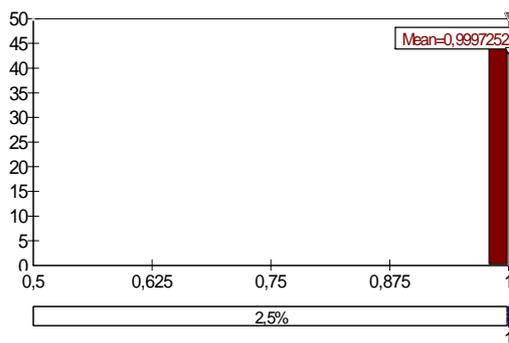
**Figure I : Probabilité au moins 1 poulet avec contact infectieux. HPAI. Trajet**



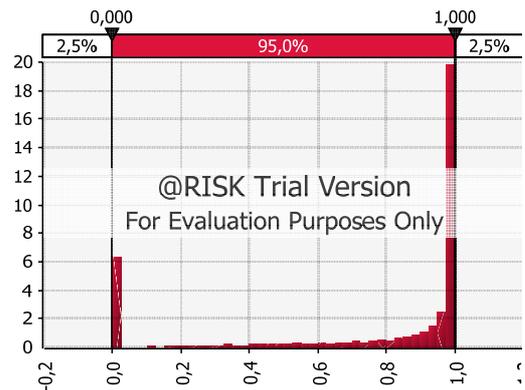
**Figure II : Probabilité au moins 1 poulet avec contact infectieux. NCD. FG**



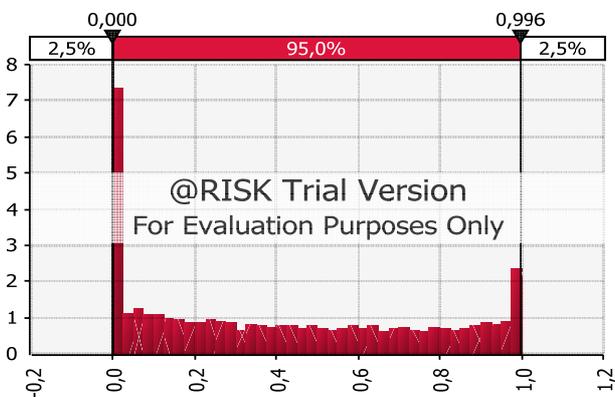
**Figure III : Probabilité au moins 1 poulet avec contact infectieux. NCD. Trajet**



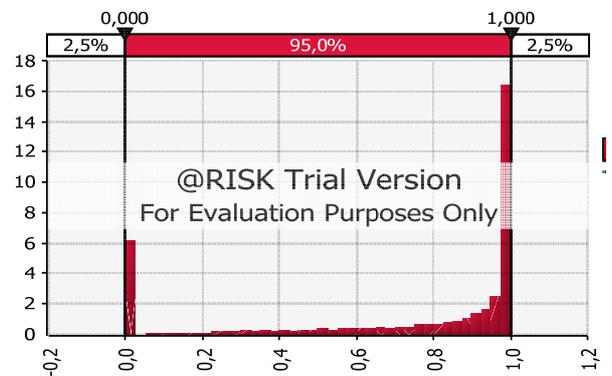
**Figure IV : Probabilité au moins 1 poulet avec contact infectieux. IAHP. Trajet. 99% Isolement**



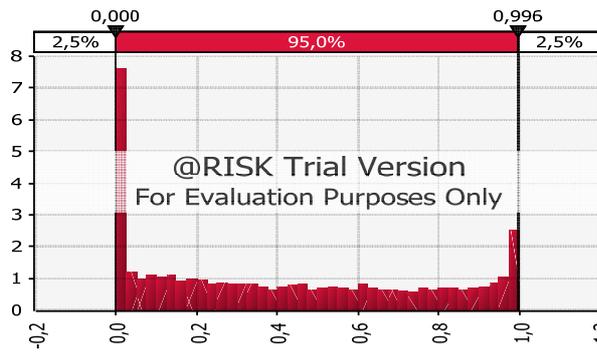
**Figure V : Probabilité au moins 1 poulet avec contact infectieux. Newcastle. FG. 99% Isolement**



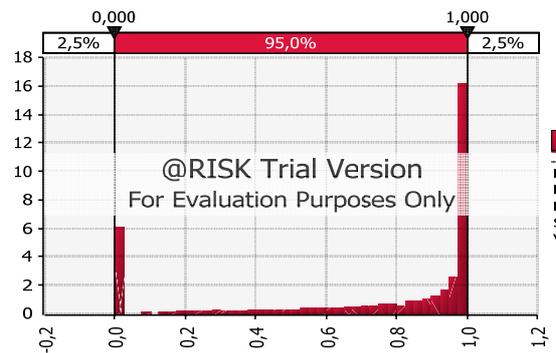
**Figure VI : Probabilité au moins 1 poulet avec contact infectieux. Newcastle. Trajet. 99% Isolement**



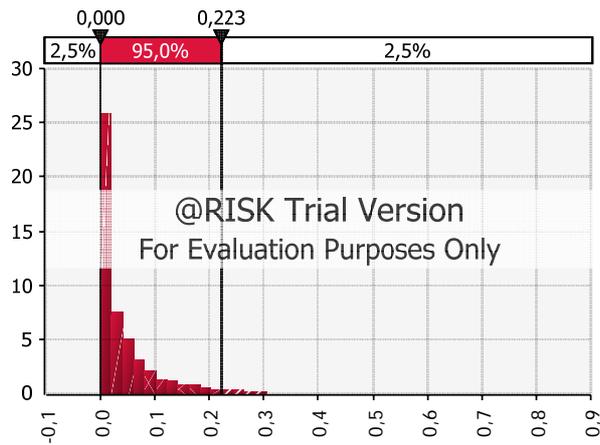
**Figure VII : Probabilité au moins 1 poulet avec contact infectieux. Newcastle. FG. 99% Vaccination**



**Figure VIII : Probabilité au moins 1 poulet avec contact infectieux. Newcastle. Trajet. 99% Vaccination**



**Figure IX : Probabilité au moins 1 poulet avec contact infectieux. Newcastle. Trajet. 99% Isolement et Vaccination**



## Annexe 12: Tables sur la réduction du risque

### Influenza Aviaire Hautement Pathogène. Trajet. Isolement

| Proportion des fermiers pratiquant l'isolement (%) | Risque moyenne d'introduction d'au moins un poulet infecté (%) | Intervalle de confiance à 95% |
|--|--|-------------------------------|
| 50   | 99,99  | [1]                           |
| 80   | 99,96  | [0,99 ; 1]                    |
| 90   | 99,74  | [0,98 ; 1]                    |
| 95   | 98,80  | [0,84 ; 1]                    |
| 99   | 75,57  | [0 ; 1]                       |

### Maladie de Newcastle. Ferme gouvernementale. Isolement

| Proportion des fermiers pratiquant l'isolement (%) | Risque moyenne d'introduction d'au moins un poulet infecté (%) | Intervalle de confiance à 95% |
|--|--|-------------------------------|
| 50   | 97,37  | [0,65 ; 1]                    |
| 80   | 93,90  | [0,32 ; 1]                    |
| 90   | 88,45  | [0,16 ; 1]                    |
| 95   | 78,78  | [0,08 ; 1]                    |
| 99   | 41,22  | [0 ; 0,99]                    |

### Maladie de Newcastle. Ferme gouvernementale. Vaccination

| Proportion des fermiers pratiquant la vaccination (%) | Risque moyenne d'introduction d'au moins un poulet infecté (%) | Intervalle de confiance à 95% |
|---|--|-------------------------------|
| 50  | 97,72  | [0,66 ; 1]                    |
| 80  | 93,68  | [0,36 ; 1]                    |
| 90  | 88,27  | [0,16 ; 1]                    |
| 95  | 79,09  | [0,07 ; 1]                    |
| 99  | 40,98  | [0 ; 0,99]                    |

### Maladie de Newcastle. Ferme gouvernementale. Isolement et Vaccination

| Proportion des fermiers pratiquant l'isolement et la vaccination (%) | Risque moyenne d'introduction d'au moins un poulet infecté (%) | Intervalle de confiance à 95% |
|--|--|-------------------------------|
| 50   | 94,91  | [0,36 ; 1]                    |
| 80   | 75,85  | [0,07 ; 1]                    |
| 90   | 47,01  | [0,01 ; 0,99]                 |
| 95   | 19,20  | [0,04 ; 0,70]                 |
| 99   | 0,9  | [0 ; 0,06]                    |

#### Maladie de Newcastle. Trajet. Isolement

| Proportion des fermiers pratiquant l'isolement (%) | Risque moyenne d'introduction d'au moins un poulet infecté (%) | Intervalle de confiance à 95% |
|--|--|-------------------------------|
| 50   | 99,99  | [1 ; 1]                       |
| 80   | 99,92  | [0,99 ; 1]                    |
| 90   | 99,72  | [0,95 ; 1]                    |
| 95   | 98,07  | [0,72 ; 1]                    |
| 99   | 72,29  | [0 ; 1]                       |

#### Maladie de Newcastle. Trajet. Vaccination

| Proportion des fermiers pratiquant l'isolement (%) | Risque moyenne d'introduction d'au moins un poulet infecté (%) | Intervalle de confiance à 95% |
|--|--|-------------------------------|
| 50   | 99,98  | [1 ; 1]                       |
| 80   | 99,84  | [0,99 ; 1]                    |
| 90   | 99,41  | [0,95 ; 1]                    |
| 95   | 97,88  | [0,74 ; 1]                    |
| 99   | 72,46  | [0 ; 1]                       |

#### Maladie de Newcastle. Trajet. Isolement et Vaccination

| Proportion des fermiers pratiquant l'isolement et la vaccination (%) | Risque moyenne d'introduction d'au moins un poulet infecté (%) | Intervalle de confiance à 95% |
|--|--|-------------------------------|
| 50   | 99,89  | [1 ; 1]                       |
| 80   | 97,67  | [0,72 ; 1]                    |
| 90   | 85,34  | [0,23 ; 1]                    |
| 95   | 53,37  | [0,06 ; 0,98]                 |
| 99   | 4  | [0 ; 0,22]                    |

# RÉSUMÉ

---

Ce travail se situe dans le cadre de l'Éthiopie, où l'industrie de la volaille représente une valeur économique et familiale importante. Mais des maladies diverses touchent cette volaille et provoquent des pertes, ce qui peut entraîner des déséquilibres monétaires et de santé publique. Deux maladies de transmission très rapide ont été ciblées : l'Influenza Aviaire Hautement Pathogène et la maladie de Newcastle. La première n'a pas été encore déclarée dans l'Éthiopie mais elle est susceptible d'être introduite. La deuxième est enzootique.

Différentes classes de volaille peuvent être rencontrées dans le contexte éthiopien : les indigènes, les importés ou exotiques, qui ont été importés par l'état avec le but d'une amélioration des races locales et qui représentent un pourcentage minuscule de toute la population de volaille en Éthiopie, et finalement les hybrides, résultat justement de ce programme d'amélioration génétique.

Les producteurs agricoles impliqués dans le business de la volaille sont classifiés en 3 modèles selon l'échelle : des grandes entreprises privées ou publiques industrielles qui produisent de races exotiques, des petites entreprises privées (aussi avec une production exotique), et des fermiers avec une économie majoritairement de subsistance, avec tout sort de races. Mais la plupart des échanges du secteur avicole en Éthiopie présentent une organisation chaotique, impossible à contrôler, puisque la plupart des transactions se font à niveau des marchés locaux : des ventes d'animaux par des fermiers qui veulent se débarrasser d'un animal pour des raisons diverses. Ainsi, le control des maladies doivent se faire à l'origine. Pour cela, le ministère d'agriculture de ce pays a voulu explorer le rôle de ces grandes entreprises gouvernementales qui fournissent de la volaille exotique aux petits fermiers au travers d'un système organisé. Ce système, donc, représente un danger potentiel vis-à-vis de la dispersion des maladies, puisqu'il distribue des milliers d'animaux dans les différents villages de leurs régions où l'on y trouve d'autres populations de volaille. Ainsi, l'intérêt de ce travail, est l'étude du risque d'introduction des maladies aviaires à partir de ces échanges commerciales à niveau des petits fermiers, où le control pourrait devenir difficile à gérer, et les dégâts, difficiles à pallier.

Donc, le traitement pour aborder le sujet a été un modèle d'analyse quantitative sur les risques d'introduction des pestes aviaires (Influenza Aviaire Hautement Pathogène et maladie de Newcastle). Ici, l'on a pu identifier les éléments clés des circuits de distribution qui pourraient être potentiellement contrôlables. Pour cela, l'étude c'est servie de différentes activités qui ont proportionnée les informations.

Dans un premier temps l'étude a consisté à la prise de contact avec des bureaux d'agriculture et des fermes gouvernementales qui fournissent de la volaille au niveau villageois à travers des bureaux municipaux. Les entretiens à chaque niveau ont permis de comprendre la filière. Des informations sur les volumes de volaille distribuée, leurs destinations, les liens entre chaque acteur ont été recueillis.

Dans un deuxième temps, plusieurs distributions effectuées par des bureaux municipaux d'agriculture ont été suivies afin d'effectuer une description des circuits commerciaux et une

identification des points considérés comme risqués vis-à-vis de l'introduction de pestes aviaires à niveau villageois.

Finalement, des entretiens avec des éleveurs ont eu pour but la compréhension de leurs systèmes de production de volaille. Des questions sur le traitement de la volaille nouvelle à l'entrée de la ferme, l'appartenance d'autre volaille ou les pratiques de vaccination ont donc été posées.

L'appréciation quantitative s'est attachée à estimer le risque d'introduction d'au moins un poulet infecté par l'Influenza Aviaire Hautement Pathogène ou la maladie de Newcastle dans deux scénarios différents : le premier lors d'une infection depuis la ferme gouvernementale, et le deuxième lors d'une infection pendant le trajet. Ensuite, des mesures de contrôle de risque ont été proposées. En effet, le risque d'introduction à niveau villageois d'au moins un poulet infecté à partir d'une infection, quelque soit la situation, est très élevé (proche de 100% avec un niveau de confiance à 95%). Néanmoins, si des mesures de contrôle sont posées, le risque peut décroître selon la maladie et la situation jusqu'à atteindre une valeur de l'ordre de 5% avec un intervalle de confiance à 95% [0 ;0,22].

Cette étude fait partie d'un projet de recherche de 3 ans, dont l'un des objectifs est la création des modèles d'analyse de risque, d'émergence et de dissémination des pestes aviaires en Éthiopie.

**Mots clés :** Modélisation – Appréciation quantitative du Risque – Distribution – Fermes gouvernementales - Volaille - Maladie de Newcastle –Influenza Aviaire Hautement Pathogène –  
Ethiopie

# ABSTRACT

---

The structure of a quantitative analysis model about avian pests risk introduction (Avian Influenza Highly Pathogenic and Newcastle disease) have been put in place. It concerns the introduction of such diseases through the Ethiopian governmental poultry farms avian distribution system.

At first, the study focused on entering in contact with agricultural offices and governmental farms responsible of the distribution of poultry to villages through local offices. Interviews performed at all levels were allowed understanding the overall distribution process.

As second step, a description of commercial circuits was wanted. For doing so, some distributions done by local agricultural offices were followed. An identification of critical points about the introduction of avian pests at village level was also carried out.

Finally, interviews with farmers were useful to understand their own avian production systems. Some questions about the treatment of new poultry at the reception to the farm, the property of other birds or practices on vaccination were placed.

Quantitative assessment was used to reckon an estimation of the risk of introduction of at least one infected chick of Avian Influenza Highly Pathogenic or Newcastle disease in two different scenarios: firstly through an infection from a governmental farm, and secondly, through an infection during the trip. As a result, risk management measures were proposed. As conclusion it was underlined that risk introduction at village level of at least one infected chick from an infection, whatever the situation, is indeed very high (around 100% with a confidence level of 95%). However, if control measures were put, risk could decrease depending upon the disease and situation. The decrease can be estimated down to values on the order of 5%, with an interval of confidence of 95% [0 ; 0,22].

**Keywords :** Modelisation – Quantitative risk assessment – Distribution – Governmental farms  
- Poultry – Newcastle disease – Highly Pathogenic Avian Disease – Ethiopia