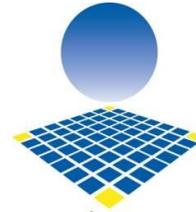




Unité de Service Enseignement  
et Formation en Elevage  
Campus de Baillarguet  
TA A-71 / B



UNIVERSITÉ MONTPELLIER II

UFR - Fac de Sciences  
Place Eugène Bataillon  
34 095 MONTPELLIER Cedex 5

MASTER 2EME ANNEE

BIOLOGIE GEOSCIENCES AGRORESSOURCES ENVIRONNEMENT SPECIALITE ECOLOGIE

FONCTIONNELLE ET DEVELOPPEMENT DURABLE

PARCOURS ELEVAGE DES PAYS DU SUD

ENVIRONNEMENT, DEVELOPPEMENT

---

## RAPPORT DE STAGE

**Etude des structures des schémas commerciaux pour  
évaluer le rôle des marchés dans la dissémination de  
la maladie de Newcastle, région Oromia, Ethiopie**



Présenté par

**Emilie VALLEE**

Réalisé sous la direction de : Dr Flavie GOUTARD, CIRAD

Organisme et pays : CIRAD EMVT, France

Période du stage : 15 mars au 31 août 2009

Date de soutenance : 18 septembre 2009

Année universitaire 2008-2009

## Résumé et mots clés

---

Les pratiques commerciales des éleveurs et des marchands de la zone East Shewa, région Oromia en Ethiopie ont été étudiées dans 29 marchés. Les pratiques d'achat, de vente, d'utilisation des marchés, de quarantaine et de transport des animaux ont été décrites.

La méthode d'analyse des réseaux sociaux ou SNA a été utilisée pour construire le réseau des flux de volailles entre les marchés dus à l'activité des marchands, et pour analyser ce réseau selon des indices de centralité : in degree, out degree, betweenness. Le réseau a été construit et analysé pour les périodes de fêtes et dehors de ces fêtes. Une typologie des marchés a également été construite à partir de ces indices. Il en ressort que le marché de Meki semble jouer un rôle de plaque tournante dans la région d'étude. D'autres marchés, Debre Zeit, Akaki et Dire ressortent également comme des marchés à risque de diffusion pour la maladie de Newcastle.

Le réseau des flux de volailles entre marchés mais aussi entre villages et marchés a également été construit, représentant à la fois l'activité des fermiers et des marchands. Il a été décrit et l'analyse de ce réseau aura lieu ultérieurement.

Cette première étape de modélisation servira de base à d'autres étapes, comme le couplage avec des méthodes SEIR (Susceptible Exposed Infected Recovered) et des simulations d'épidémies. Les résultats obtenus peuvent également servir à cibler un programme de surveillance sur les marchés identifiés.

Mots-clés : Ethiopie – Marché – Maladie de Newcastle – Analyse des Réseaux Sociaux

# Abstract

---

Breeders and merchants trade practices in East Shewa zone, Oromia region, Ethiopia have been studied. Purchase, sale, markets use, quarantine and animal transport practices have been described.

Social Networks Analysis (SNA) method was used to build the network of poultry flows between markets due to merchants' activity, and to analyze this network using centrality parameters: betweenness, in degree and out degree. Networks were built and analyzed for religious feasts time and out of feasts time. A market typology was also built using these parameters. According to this typology, Meki seems to play an important part as a nerve centre in the study area. Some other markets, Debre Zeit, Akaki and Dire are also highlighted as having high diffusion risk for Newcastle disease.

The network of poultry flows between markets and also between villages and markets was also built, representing both farmers' and merchants' activity. It was described and its analysis will be done later.

This first step of modelling will be used as a basis for other steps, such as coupling with SEIR methods (Susceptible Exposed Infected Recovered) and epidemics simulations. These results can also be used to build a targeted surveillance program on the identified markets.

Keywords: Ethiopia – Markets – Newcastle Disease – Social Network Analysis

# Sommaire

---

<b>Résumé et mots clés.....</b>	<b>p. 2</b>
<b>Abstract and keywords.....</b>	<b>p. 3</b>
<b>Liste des figures et tableaux.....</b>	<b>p. 6</b>
<b>Liste des abréviations.....</b>	<b>p. 7</b>
<b>Remerciements.....</b>	<b>p.8</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>p. 9</b>
<b>I. Contexte et étude bibliographique.....</b>	<b>p.10</b>
I.A Le projet GRIPAVI.....	p.10
I.A.1 Présentation du projet.....	p.10
I.A.2 Le projet en Ethiopie.....	p.10
I.B Présentation de l’Ethiopie et de la région Oromia.....	p.11
I.B.1 L’Ethiopie.....	p.11
I.B.2 La zone d’étude.....	p.12
I.B.3 Description de la filière avicole éthiopienne.....	p.13
I.C La maladie de Newcastle.....	p.14
I.C.1 Présentation de la maladie de Newcastle.....	p.14
I.C.2 La maladie de Newcastle en Ethiopie.....	p.17
I.D Rôle des marchés dans la transmission des maladies aviaires.....	p.18
I.E Présentation de la méthode d’analyse des réseaux sociaux.....	p.19
I.E.1 Principes généraux.....	p.19
I.E.2 Utilisation en épidémiologie.....	p.19
I.E.3 Quelques indicateurs.....	p.20
<b>II. Matériels et méthode.....</b>	<b>p.22</b>
II.A Les questionnaires utilisés.....	p.22
II.B Zone d’étude.....	p.22
II.C Calendrier.....	p.22
II.D Echantillonnage.....	p.23
II.D.1 Echantillonnage boule de neige ou « snowball ».....	p.23
II.D.2 Echantillonnage dans les villages et marchés.....	p.23
II.E Traitement des données.....	p.24
II.F Construction et analyse des réseaux.....	p.24
<b>III. Résultats.....</b>	<b>p.26</b>
III.A Les marchés visités.....	p.26
III.B Pratiques d’achat des éleveurs.....	p.26
III.B.1 Lieu d’achat des éleveurs.....	p.26
III.B.2 Répartition des achats sur l’année.....	p.26
III.B.3 Distance du marché d’achat.....	p.27
III.C Pratiques de vente des éleveurs.....	p.27
III.C.1 Lieux de vente des fermiers.....	p.27
III.C.2 Maximum de ventes.....	p.27
III.C.3 Distance du marché de vente.....	p.28
III.D Biosécurité.....	p.28
III.D.1 A l’introduction de nouveaux animaux.....	p.28
III.D.2 Au retour du marché.....	p.28
III.E Connaissance des maladies.....	p.29
III.E.1 Distinction des maladies.....	p.29
III.E.2 Nom des maladies.....	p.29

III.E.3 Saison d'occurrence des maladies.....	p.29
III.F Pratiques commerciales des marchands.....	p.30
III.F.1 Utilisation des marchés.....	p.30
III.F.2 Marchés les plus utilisés pour la vente.....	p.30
III.G Transport.....	p.31
III.G.1Transport entre les villages et les marchés.....	p.31
III.G.2 Transport entre les marchés par les marchands.....	p.31
III.H Le réseau des flux d'animaux entre marchés.....	p.32
III.H.1 Description des réseaux des marchés seuls.....	p.32
III.H.2 Représentations graphiques et spatiales des réseaux des marchés seuls.....	p.33
III.H.3 Paramètres calculés et comparaison.....	p.35
III.I Le réseau des flux d'animaux entre les marchés et les villages.....	p.37
III.I.1 Description des réseaux des villages et marchés.....	p.37
III.I.2 Représentations graphiques et spatiales.....	p.38
III.J Typologie des marchés.....	p.40
<b>IV Discussion .....</b>	<b>p.43</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>p.47</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>p.48</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>p.51</b>

# Liste des figures et tableaux

---

## Liste des figures

Figure 1 : Carte de la situation géographique et relief de l’Ethiopie.....	p. 9
Figure 2 : Carte des régions administratives et zones de l’Ethiopie.....	p. 10
Figure 3 : Carte de la région des lacs de la vallée du Rift, zone d’étude.....	p. 10
Figure 4 : Description des acteurs de la filière avicole en Ethiopie.....	p. 11
Figure 5 : Carte de la répartition de la maladie de Newcastle entre juillet et décembre 2008 (source : WAHIS, OIE).....	p. 14
Figure 6 : Lieux d’origine des achats des éleveurs.....	p. 24
Figure 7 : Répartition du dernier achat selon la date.....	p. 25
Figure 8 : Lieux de vente des éleveurs.....	p. 25
Figure 9 : Répartition du maximum de ventes des fermiers dans l’année.....	p. 26
Figure 10 : Nombre de maladies connues par les éleveurs.....	p. 27
Figure 11 : Désignations locales des maladies des poulets par les éleveurs.....	p. 27
Figure 12 : Période d’occurrence des maladies des volailles selon les éleveurs.....	p. 28
Figure 13 : Type de marchés utilisés par les marchands.....	p. 28
Figure 14 : Principaux marchés de vente des marchands.....	p. 29
Figure 15 : Moyens de transport entre les villages et les marchés.....	p. 29
Figure 16 : Moyens de transport par les marchands entre marchés.....	p. 30
Figure 17 : Distribution du degré total pour le réseau HD (A) et le réseau NoHD (B).....	p. 30
Figure 18 : Représentations graphiques des réseaux HD (A) et NoHD (B).....	p. 31
Figure 19 : Représentation cartographique des réseaux HD (A) et NoHD (B).....	p. 32
Figure 20 : Distribution du degré total pour les réseaux des villages et marchés pour le réseau HD (A) et NoHD (B).....	p. 36
Figure 21 : Représentation graphique des réseaux des villages et marchés pour les périodes HD (A) et NoHD (B).....	p. 37
Figure 22 : Typologie des marchés selon des critères descriptifs mesurés sur le terrain...	p. 38
Figure 23 : Typologies des marchés selon des critères décrivant la position centrale des marchés dans le réseau, en période de fêtes (A) et hors période de fêtes (B)..	p. 39

## Liste des tableaux

Tableau I : Calendrier de l’étude.....	p. 21
Tableau II : Marchés de l’étude et marchés des woredas.....	p. 24
Tableau III : Paramètres de description des réseaux .....	p. 30
Tableau IV : Classement des marchés selon leur total degree (A), out degree (B) et in degree (C).....	p. 33
Tableau V : Classement des marchés selon la betweenness pour les deux periods.....	p. 34
Tableau VI : Variations notables dans les flux entre les périodes HD et NoHD.....	p. 35
Tableau VII : Paramètres de description des réseaux des marchés et villages.....	p. 36
Tableau VIII : Description des classes des typologies des marchés en période de fêtes et hors des périodes de fêtes.....	p. 39

# Liste des abréviations

---

ACP : Analyse en Composantes Principales

APMV-1 : Avian Paramyxovirus type 1

CAH : Classification Ascendante Hiérarchique

CIRAD : Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

CSA : Central Statistical Agency

FAO : Food and Alimentation Organization (Nations Unies)

FSP : Fonds de solidarité prioritaires

HD / NoHD : HoliDays, No HoliDays

IA : Influenza aviaire

ILRI : International Livestock Research Institute

IPIC : Indice de Pathogénicité Intra Cérébrale

IPIV : Indice de Pathogénicité Intra Veineux

MoARD : Ministry of Agriculture and Rural Development

NAHDIC : National Animal Health, Diseases and Investigation Center

OIE : Organisation mondiale de la santé animale

RT-PCR : Real Time Polymerase Chain Reaction

SIDA : Syndrome d'Immuno Déficience Acquise

SIR / SEIR : Susceptible Infected Recovered / Susceptible Exposed Infected Recovered

SNA : Social Network Analysis

SNNP : Peoples, Nations et Nationalités du Sud (région administrative)

# Remerciements

---

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, au bon déroulement de cette étude et de mon séjour en Ethiopie.

Tout d'abord, le **Dr Flavie GOUTARD** pour m'avoir fait confiance dès le début et m'avoir encadrée et soutenue tout au long du projet. J'espère avoir été à la hauteur.

Le **Dr Mesfin SAHLE**, directeur du NAHDIC, Sebata, Ethiopie, pour m'avoir accueillie dans sa structure et avoir participé au bon déroulement de l'étude ; le **Dr Melesse BALCHA**, mon superviseur sur place, pour son accueil et son soutien ; le **Dr Hassen CHAKA**, étudiant en thèse pour sa collaboration et son soutien.

Le **Dr Martha YAMI** du NVI, pour son accueil et son appui logistique, qui a tout mis en œuvre pour que mon séjour à Debre Zeit se passe bien.

Les équipes de techniciens et chauffeurs avec qui j'ai travaillé :

- **Demeke et Mulugeta**
- **Asmamaw et Herpa**
- **Genet et Nadew**

sans qui cette étude n'aurait pas eu lieu, et qui ont eu le courage de m'accompagner dans des conditions parfois difficiles.

Les **agents de développement** et les **agents des bureaux de l'agriculture** des woredas pour leur intérêt et leur soutien.

**Getaneh** et sa famille, grand ami du CIRAD sur qui j'ai toujours pu compter.

Le **Dr Laike Mariam** et sa famille pour m'avoir accueillie aussi chaleureusement et m'avoir fait découvrir Pâques à l'éthiopienne.

**Mengesha, Aberrash et Meron** pour m'avoir accueillie et considérée comme une fille et une sœur, qui m'ont permis de me sentir chez moi tout au long du séjour

Les agents du CIRAD qui m'ont aidée tout au long de l'étude, en particulier **Raphael Duboz** pour son appui technique pour le SNA, et **Philippe Caufour** pour son soutien sur le terrain.

Enfin je me devais de remercier **mes parents** qui m'ont toujours encouragée dès le début, malgré leurs craintes, à me lancer dans cette aventure ; et **Hamza**, pour son aide avec Access et la théorie des graphes, mais surtout pour son soutien moral, le plus précieux tout au long de ces 5 mois.

# Introduction

---

Dans les pays en voie de développement, l'élevage de volaille a un rôle très important. Espèce à cycle court, nécessitant peu ou pas d'intrant, les poulets sont accessibles même aux familles les plus pauvres. L'Éthiopie ne fait pas exception à la règle puisque 99% de son élevage avicole est de type villageois.

C'est pourquoi de nombreux projets de développement aident activement l'élevage villageois de volaille. Mais on comprend aisément que des maladies contagieuses hautement pathogènes auront des conséquences désastreuses pour ces petits éleveurs, d'autant plus que le niveau de biosécurité est souvent très faible.

La maladie de Newcastle fait partie de ces maladies dévastatrices. En Afrique et particulièrement en Éthiopie elle circule de façon endémique avec des périodes épizootiques saisonnières. Elle fait partie des préoccupations principales des éleveurs, au même titre que l'influenza aviaire dans les pays où elle est présente, l'Éthiopie étant officiellement indemne.

De nombreuses méthodes ont été mises au point pour décrire la circulation de ces maladies et les modéliser. L'analyse des réseaux sociaux, ou Social Network Analysis (SNA), fait partie des méthodes récentes en épidémiologie. Elle permet, par exemple, en modélisant les flux de volailles entre des lieux précis, de déterminer quels lieux jouent un rôle de plaque tournante, et ainsi de cibler la surveillance de manière efficace et justifiée.

C'est cette méthode qui a été utilisée dans cette étude, dans le cadre du projet GRIPAVI en Éthiopie. Elle sera présentée de manière plus détaillée, ainsi que le contexte de ce projet, dans la première partie de ce document.

L'objectif de cette étude était donc d'utiliser cette méthode SNA pour identifier les marchés à risque de la zone d'étude.

Le plan de ce rapport suit le plan classique d'un rapport scientifique : après une première partie descriptive et bibliographique, les matériels et méthodes seront présentés, suivi des résultats obtenus. Enfin une discussion permet de considérer la validité de ces résultats et d'ouvrir à d'autres perspectives.

## I. Contexte et étude bibliographique

### I.A. Le projet GRIPAVI

#### I.A.1. Présentation du projet

Le projet GRIPAVI (**Ecologie et épidémiologie de la grippe aviaire dans les pays du sud**) a commencé en 2006 suite au besoin d'approfondir les connaissances sur la grippe aviaire. Il est financé par des Fonds de Solidarité Prioritaires (FSP) du Ministère des Affaires Etrangères et sa mise en œuvre a été confiée au CIRAD, pour une durée de 3 ans. Les pays partenaires sont l'Afrique du Sud, l'Ethiopie, Madagascar, le Mali, la Mauritanie, le Vietnam et le Zimbabwe.

Le projet comporte quatre composantes :

- **Ecologie et épidémiologie.** Elle vise à comprendre comment les virus de l'Influenza Aviaire et de la Maladie de Newcastle sont introduits et se maintiennent chez les oiseaux sauvages et domestiques, et passent des uns aux autres. La compréhension de ce phénomène a des conséquences directes sur la conception et l'organisation de la surveillance et du contrôle de ces maladies : existence ou non d'un cycle sauvage H5N1, risque de dissémination de l'Afrique vers l'Europe, etc.
- **Analyse du risque d'occurrence et de dissémination.** Elle s'appuie sur la description des filières avicoles et des mouvements commerciaux, et l'analyse des éventuelles méthodes de contrôle. Sur ces bases, des modèles d'analyse du risque d'occurrence et de dissémination de l'IA seront développés. Ils seront ensuite utilisés pour évaluer les méthodes de surveillance et de contrôle existantes et proposer des stratégies alternatives.
- **Systèmes d'information et communication.** Elle doit permettre d'élaborer un système d'information intégré, de mettre en place une stratégie de communication, d'organiser un cycle de colloques.
- **Management et formation.** Elle axée sur la construction de compétences au Sud et de la mise en place d'une dynamique de mutualisation de ces compétences.

#### I.A.2. Le projet en Ethiopie

L'Ethiopie a été choisie pour son mélange d'élevages traditionnels et modernes, dans une zone où beaucoup d'oiseaux migrateurs circulent. Les partenaires en Ethiopie sont le NAHDIC, l'ILRI et le Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (MoARD).

Les activités réalisées en Ethiopie sont :

- **Ecologie et épidémiologie de l'influenza aviaire et de la maladie de Newcastle :** détermination de prévalences et de facteurs de risques au niveau des marchés et des villages de la zone d'étude. Cette partie correspondra au travail du Dr Hassen Chaka, épidémiologiste et étudiant en thèse.
- **Appréciation des risques :** pour l'introduction de l'influenza aviaire à partir des oiseaux sauvages, pour la dissémination par la distribution de volailles exotiques ou par les échanges commerciaux. En 2006, Goutard et Soares ont déterminé les risques liés aux importations et aux animaux sauvages. En 2007 Olive a déterminé le risque de diffusion des maladies hautement pathogènes par les circuits commerciaux. En 2008 Claret a évalué le risque de diffusion des virus par le biais des programmes de distribution de volailles exotiques.
- **Modélisation de la circulation virale et optimisation de la surveillance :** modélisations et évaluation du système de surveillance éthiopien.

## I.B. Présentation de l’Ethiopie et de la région Oromia

### I.B.1. l’Ethiopie

Situé dans la corne de l’Afrique, ce pays est entouré du Soudan à l’ouest, du Kenya au sud, de Djibouti et la Somalie à l’est et de l’Erythrée au nord.

La géographie du pays est très variée, depuis les hauts plateaux jusqu’à la dépression du Danakil, en passant par la vallée du Rift, ce qui procure au pays une **diversité** immense concernant les climats et les types de sol, d’où une agriculture très variable suivant les régions.



Figure 1 : Carte de la situation géographique et relief de l’Ethiopie

La population s’élève à 77,9 millions d’habitants pour une superficie de 1,1 millions de km<sup>2</sup>. Le niveau de vie est très bas, le pays se classe 170<sup>ème</sup> sur 177 en ce qui concerne l’Indice de Développement Humain. Cet indice associe des données de longévité, de niveau de vie et d’éducation de la population.

L’**agriculture** est le premier secteur économique. Elle concerne 60% des exportations et 80% des emplois. Cependant cette agriculture reste fragile et très dépendante des conditions climatiques, et subit les conséquences de l’érosion ainsi que de la fragmentation des parcelles (FAO 2009). Le café reste la principale ressource et place le pays en 5<sup>ème</sup> position dans le classement des producteurs mondiaux.

De plus l’Ethiopie possède le plus grand cheptel de l’Afrique avec 43 millions de bovins et 42 millions de petits ruminants. **34,2 millions de volailles** ont également été recensées, dont la très grande majorité (**98 à 99%**) en **élevage traditionnel**. Pour 95 % ce sont des races indigènes, pour 4% des métis et pour 1% des races exotiques (CSA, 2006). On comprend alors aisément le rôle important des volailles dans le quotidien des villageois et les conséquences que peuvent avoir les maladies hautement pathogènes comme la maladie de Newcastle ou l’Influenza Aviaire Hautement Pathogène.

L’Ethiopie est une république fédérale. Elle est constituée de neuf **régions** créées en 2005 sur la base de critères ethno-linguistiques. Ces régions possèdent une autonomie importante vis-à-vis de l’Etat fédéral. Elles sont divisées en **zones**, qui sont elles-mêmes divisées en **woredas**. Les woredas sont enfin divisées en **kebeles**, l’équivalent des cantons.



Figure 2 : Carte des régions administratives et zones d’Ethiopie

La zone d’étude est située dans la région Oromia, zone East Shewa.

### *1.B.2. La zone d’étude*

La région d’étude choisie pour le projet GRIPAVI est située dans les régions **Oromia et SNNP**. Cette région correspond à la région des **lacs de la vallée du Rift**.

Mon étude s’est plus particulièrement déroulée dans la **région Oromia, zone East Shewa**. Cette zone a été choisie à la fois pour la présence de sites de reproduction d’oiseaux migrateurs, la présence des trois fermes commerciales à grande échelle à Debre Zeit, des fermes gouvernementales et de nombreux élevages villageois. Elle présente donc un intérêt épidémiologique.

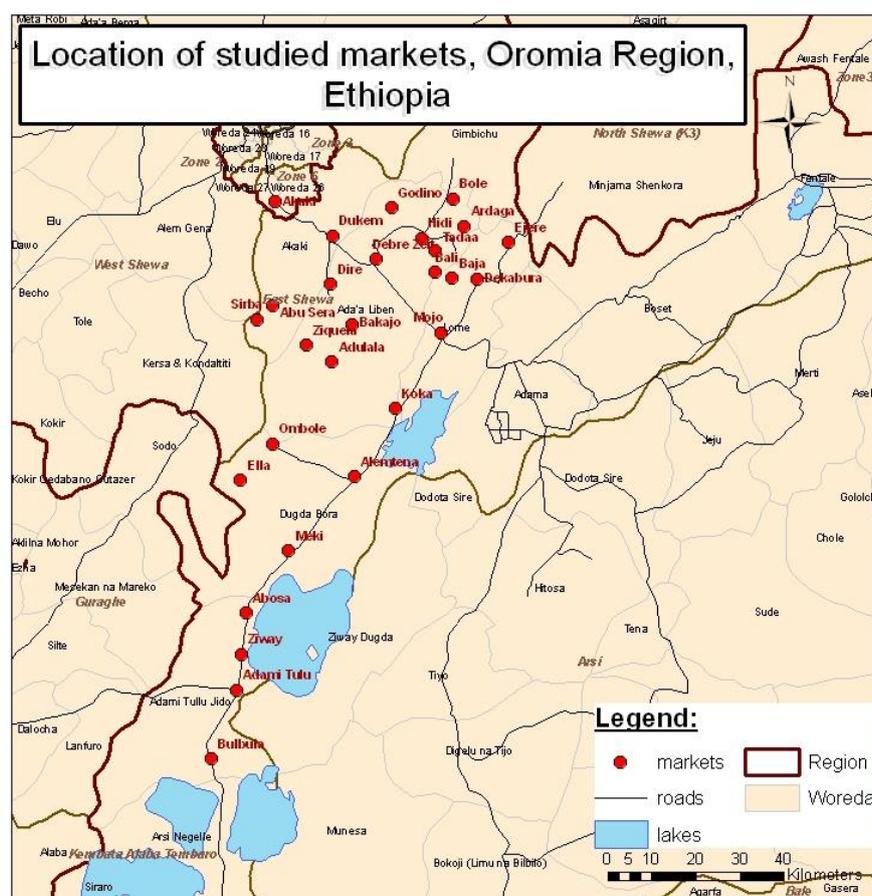


Figure 3 : Carte de la région des lacs de la Vallée du Rift, zone d'étude

Ma zone d'étude se situe le long de la route menant à Addis Abeba, et comprenait 29 marchés entre Akaki au nord et Bulbula au sud.

### *I.B.3. Description de la filière avicole éthiopienne*

Une description de la filière a été réalisée par Abebe (2006) ainsi que Tadelle (2003).

On peut ainsi distinguer :

- Des **élevages de type intensif**, à grande échelle. On distingue d'une part les **fermes commerciales**, au nombre de 3 et toutes situées dans la ville de Debre Zeit : ELFORA, ALEMA et GENESIS. Elles produisent des volailles de race exotique et des œufs. Le niveau de biosécurité est bon même si insuffisant. D'autre part il existe les **centres de production et de multiplication gouvernementaux**, produisant des volailles exotiques pour les distribuer aux villageois à un prix inférieur à ceux des fermes commerciales.
- Des **élevages à petite échelle**, dont le nombre est difficile à estimer. Ils élèvent des volailles de race exotique, avec un niveau de biosécurité faible.
- De nombreux **élevages villageois**, utilisant principalement des volailles indigènes mais aussi quelques métis et quelques races exotiques, élevées en basse-cour, avec pas ou peu d'intrants et un niveau de biosécurité pratiquement nul. Il faut noter que le poulet *Gallus gallus* est la seule espèce de volaille élevée en\* Ethiopie. En effet, près de la moitié des habitants et les ethnies au pouvoir sont de religion orthodoxe, qui interdit notamment la consommation de canard.

La filière est résumée sur la figure 4.



Figure 4 : Description des acteurs de la filière avicole en Ethiopie

## I.C. La maladie de Newcastle

### I.C.1. Présentation de la maladie de Newcastle

Bien que faisant partie du projet GRIPAVI, c'est la maladie de Newcastle qui est étudiée ici. Elle sert de modèle à l'influenza aviaire.

#### a. Etiologie

La maladie de Newcastle est due à un **paramyxovirus** (genre *avulavirus*) aviaire de sérotype 1 (APMV-1). C'est un virus enveloppé à ARN simple brin. Le génome sous forme d'ARN permet une production plus fréquente de variants ce qui peut expliquer le grand nombre de souches existantes, avec notamment des caractéristiques différentes en termes de pathogénicité ou de thermostabilité (Spradbrow, 1999).

Ses glycoprotéines de membrane lui confèrent une activité hémagglutinante utilisée pour le diagnostic notamment (cf. ci-dessous). (OIE, 2005).

#### b. Caractéristiques épidémiologiques

Le virus peut potentiellement toucher la plupart des espèces aviaires (qui sont réceptives) mais ce sont principalement les **gallinacés** qui sont sensibles et expriment cliniquement la maladie (Ganière J.-P. *et al.*, 2008).

De nombreux oiseaux peuvent constituer des **sources** de la maladie, en étant malades, en incubation ou convalescent, porteurs sain ou bien vacciné avec un vaccin vivant. Certaines espèces peuvent constituer de bons **réservoirs**, comme les psittacidés qui hébergent le virus plusieurs mois. En Indonésie il a été rapporté une persistance du virus pendant un an dans un troupeau de 300 canards (Kingston and Dharsana, 1979, cité par Spradbrow, 1999).

Spradbrow (1999) rapporte que des **épizooties saisonnières** de Newcastle ont lieu régulièrement dans plusieurs pays. Mais il suggère que plutôt que les conditions climatiques il faudrait essayer de les lier à des **mouvements saisonniers** des poulets ou un changement dans le volume d'animaux dans les marchés. Il cite en exemple la période de Pâques en Ethiopie. Il propose d'étudier la corrélation entre la maladie et la saison de culture, durant laquelle les paysans peuvent avoir besoin de vendre des volailles pour acheter des semences.

Dans les villages avec des élevages de basse-cour, la maladie est le plus souvent **enzootique**, liée à des souches vélogènes, avec des épizooties régulières accompagnées d'épisodes cliniques. Les périodes d'épizooties surviennent le plus fréquemment lors d'un stress climatique, ce qui entraîne la saisonnalité de la maladie clinique (Awan et al, 1994).

L'**excrétion** virale se fait par toutes les excréments, matières fécales comme sécrétions oculonasaales, mais on trouve également du virus dans tous les organes des animaux infectés y compris le sang et les œufs.

La transmission d'un animal à un autre peut se faire **directement** par contact ou **indirectement** par l'intermédiaire de matériel, de nourriture, d'eau ou de personnel souillé. En effet la résistance du virus, bien qu'il soit enveloppé, est grande : 7 à 8 mois sur les coquilles d'œufs, 3 mois dans le sol du poulailler, plusieurs mois dans les matières fécales, ainsi que 11 à 19 jours dans l'eau d'un lac infecté expérimentalement (Center for Food Security and Public Health, 2008).

### c. Symptômes

Les symptômes sont très divers et dépendent de plusieurs facteurs : souche virale, espèce affectée, âge, co infection, stress environnemental ou statut immunitaire.

Les souches sont classées selon les signes cliniques chez les poulets infectés, en 5 pathotypes :

- Des souches **viscérotropes** ou **neurotropes vélogènes**, très pathogènes et qui provoquent une forte mortalité, et des signes intestinaux ou neurologiques et respiratoires,
- Des souches **mésogènes**, avec des signes respiratoires et neurologiques mais une faible mortalité,
- Des souches **lentogènes**, avec des signes respiratoires mineurs voire une forme subclinique,
- Des souches **asymptomatiques**, avec le plus souvent des signes digestifs infracliniques.

Il faut noter que les symptômes peuvent être extrêmement variés (digestifs, neurologiques, respiratoires...) et de sévérité variable, pouvant aller d'une forte mortalité soudaine à une infection cliniquement invisible. La virulence de la maladie est liée à la présence d'acides aminés basiques sur les résidus 116 et 115, une phénylalanine en 117 et un acide aminé basique en 113 sur la protéine F2, au site de clivage qui permet à la particule virale de devenir infectieuse (OIE, 2005). Le virus peut passer d'une faible virulence à une forte virulence (Westbury, 2001).

Ainsi le diagnostic de laboratoire est indispensable pour confirmer la maladie.

### d. Diagnostic

Le **diagnostic différentiel** est assez compliqué vu la diversité des symptômes. Il faut différencier la maladie de Newcastle notamment de la maladie de Gumboro, la maladie de Marek, le choléra aviaire, la variole aviaire, la laryngo trachéite infectieuse etc. Mais il faut surtout penser à l'influenza aviaire, de qui elle est indiscernable cliniquement et épidémiologiquement.

Le **diagnostique de laboratoire** est indispensable à la fois pour confirmer la présence d'un APMV-1 et pour caractériser la virulence de la souche.

L'identification d'un APMV-1 peut se faire par virologie par inoculation à des œufs de poule embryonnés de 9 à 11 jours et recherche de l'activité hémagglutinante ou inhibition de l'hémagglutination. Elle peut également se faire par sérologie (inhibition de l'hémagglutination, ELISA). Les échantillons peuvent être des écouvillons trachéaux et cloacaux (voire matières fécales fraîches pour les petits oiseaux) pour la virologie.

La RT-PCR peut également être utilisée quand elle est disponible.

La détermination de la virulence se fait principalement par détermination de l'IPIV (Indice de Pathogénicité Intra Veineux) ou surtout IPIC (Indice de Pathogénicité Intra Cérébrale). L'IPIC varie de 2,0 (souches hypervirulentes) à 0,0 (souches lentogènes) (OIE, 2005).

### e. Prophylaxie

Comme pour toute maladie contagieuse, la prophylaxie sanitaire est très importante. Elle est malheureusement souvent difficile à mettre en place dans les pays en développement. Par exemple en cas de foyers il faudrait détruire tous les animaux infectés ou possiblement contaminés, ainsi que les œufs. Le coût de ce genre de mesures n'est pas supportable pour beaucoup de pays, car si l'indemnisation n'est pas suffisante les éleveurs auront tendance à cacher les foyers.

Les mesures de **prophylaxie défensive** peuvent parfois être simples à prendre, comme la quarantaine, la destruction correcte des carcasses d'animaux morts ou la séparation de l'avifaune sauvage. La période d'incubation maximale rencontrée à ce jour est de 25 jours, c'est pourquoi il est conseillé de respecter une quarantaine de 30 jours (Center for Food Security and Public Health, 2008).

L'OIE recommande un vide sanitaire de 21 jours après la survenue de la maladie dans un élevage.

La **vaccination** reste donc indispensable au contrôle de la maladie. Il existe plusieurs types de vaccins. Il s'agit de vaccins à virus inactivés (moins pathogènes mais moins immunogènes et plus chers, ils demandent également une manipulation individuelle de chaque animal) ou de vaccins vivants atténués (lentogènes comme Hitchner B1, LaSota... mais aussi parfois mésogènes dans les pays enzootiques). Les vaccins vivants peuvent être utilisés en aérosol ou dans l'eau de boisson. Des vaccins issus de techniques de biologie moléculaire (vaccins recombinants...) sont également à l'étude.

La vaccination s'adresse aux jeunes animaux de moins de 3 semaines ainsi qu'aux poules pondeuses. Le protocole est à adapter en fonction de l'âge des volailles, de l'espèce, du statut épidémiologique de la zone (enzootie, indemne...), du niveau d'immunité maternelle... (OIE, 2005)

Il existe également des **vaccins thermostables vivants** qui peuvent être utilisés dans l'alimentation ou en collyre, utile pour vacciner les poulets des élevages villageois. (OIE, 2005). Au Cameroun, un vaccin thermostable produit localement à partir d'une souche LaSota, thermostable (stockage 10 jours après la première utilisation à température ambiante soit en moyenne 34°C) s'est révélé efficace dans la réduction de la mortalité des volailles villageoises (Awa D.N. *et al*, 2009). De même, une souche I2 apte à la vaccination, thermostable, immunogène et avirulente a été développée (Tu, 1998). Ces vaccins ont de plus l'avantage de se transmettre d'un animal à l'autre.

#### f. Importance de la maladie

On retrouve la maladie sous une forme **enzootique** en Asie, en Afrique et en Amérique du Sud (figure 5).

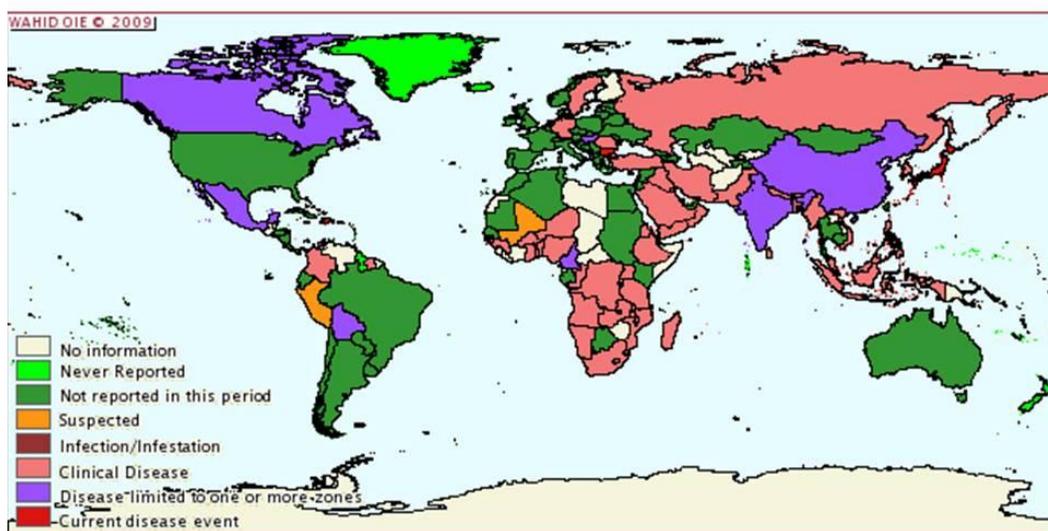


Figure 5 : Carte de la répartition de la maladie de Newcastle entre juillet et décembre 2008 (source : WAHIS, OIE)

L'importance de cette maladie est due aux conséquences **médicales** des formes virulentes (forte mortalité, chute de production) et à sa forte contagiosité. Elle figure sur la liste des maladies notifiables de l'OIE. Pour les pays développés on peut donc rajouter l'impact économique du à l'arrêt des exports en cas d'apparition de la maladie dans le pays.

Dans beaucoup de pays en développement elle est considérée comme la plus importante des maladies animales touchant les poulets villageois (Spradbrow, 2000), surtout sous sa forme épizootique dans les petits villages dont les poulets n'ont jamais rencontré la maladie.

Dans ces pays, les conséquences sont souvent très importantes, puisqu'en plus du rôle de nourriture ou de « réserve d'argent » joué par les volailles, celles-ci ont souvent un rôle culturel très important. Les conséquences de la maladie sont donc également très importantes sur les plans **économique et social**.

#### g. Un modèle de la grippe aviaire ?

La maladie de Newcastle est utilisée dans ce projet comme modèle de la grippe aviaire puisqu'elle est enzootique en Ethiopie et que la grippe aviaire y est officiellement absente.

Les caractéristiques de la grippe aviaire sont très proches de celles de la maladie de Newcastle. On distingue une forme faiblement pathogène et une forme hautement pathogène, les symptômes et les lésions sont les mêmes ce qui rend les deux maladies indiscernables pour les éleveurs, et l'épidémiologie des maladies est également la même.

C'est pourquoi, dans le cadre de notre étude, la maladie de Newcastle paraît être un modèle adapté, et également plus proche des préoccupations des éleveurs locaux.

### *I.C.2. La maladie de Newcastle en Ethiopie*

Il existe très peu de données sur la maladie de Newcastle en Ethiopie, particulièrement des données de prévalence. Les données disponibles concernent surtout les élevages industriels à grande échelle, bien que l'élevage villageois représente 99% des animaux (Tadesse et al., 2005).

Les données de terrain la rapportent comme **la maladie la plus importante** qui causerait beaucoup de mortalité chaque année (Zelege et al., 2005).

#### a. Données de prévalence

La maladie de Newcastle semble être en situation **endémique** en Ethiopie. Des cas sont reportés à l'OIE chaque année : 70 notifications de nouveaux foyers en 2005, 84 en 2006, 28 en 2007, 29 en 2008 (WAHIS, OIE).

Ashenafi (2000) rapporte une prévalence de 44% en zone rurale en moyenne dans le pays.

Tadesse et al (2005) rapportent une prévalence de 32% dans tout le pays, et plus particulièrement 38% dans les zones de basse altitude (vallée du Rift).

Nasser (1998) a montré que la plupart des souches qui circulaient étaient **vélogènes**, mais seule une petite partie de son échantillon provient d'élevages villageois, et les échantillons n'ont été prélevés que lors d'épisodes cliniques.

Pour Zelege et al (2005), la prévalence globale dans le pays est de 20%. Ils ont également trouvé une séroprévalence de 23 % dans les zones sèches (vallée du Rift). Ils ont également répertorié les **symptômes** cités par les éleveurs lors d'occurrences de la maladie : mortalité soudaine et en grand nombre, troubles respiratoires, digestifs, neurologiques, mais aussi dermatologiques et circulatoires.

Ces auteurs ont ainsi montré la **persistance de la maladie à l'état enzootique**, une infection continue où le mode d'élevage entretient la circulation des virus, et cette circulation est renforcée par les contacts avec les oiseaux sauvages ainsi qu'avec les autres volailles dans les marchés.

Les auteurs ne sont pas d'accord sur la présence ou non de zone avec une séronégativité.

Il y a une vingtaine d'années, avant la redistribution de l'habitat et le regroupement en villages

(1984-1985), la maladie survenait très préférentiellement au début de la saison des pluies, soit fin mai à début juin, mais depuis la maladie est devenu un problème **tout au long de l'année**, avec un pic au début de la saison des pluies (Tadelle et Ogle, 2001).

b. Connaissance de la maladie par les éleveurs

Les éleveurs éthiopiens connaissent, à 81%, la maladie de Newcastle qu'ils nomment « **fengel** » (Tadesse et al 2005, Olive 2007). Ce nom désignerait plutôt l'ensemble des maladies animales, mais des études spécifiques seraient nécessaires pour le confirmer (Services Vétérinaires, Woreda Lome, communication personnelle). Les principaux symptômes qu'ils rapportent sont la mortalité soudaine et les diarrhées (Olive, 2007).

Si pour la plupart ils connaissent le rôle des animaux malades ainsi que des sécrétions comme source de la maladie, il n'en est pas de même pour le rôle de l'homme comme transporteur passif ou les oiseaux sauvages (Olive, 2007).

Les mesures sanitaires ne sont pas forcément appliquées. En cas de foyer, ils sont très peu à déclarer la maladie aux services vétérinaires (4%), et certains vendent ou échangent les animaux malades (4%) (Olive, 2007).

c. Vaccination en Ethiopie

Les volailles des élevages commerciaux sont régulièrement vaccinés avec les souches Hitchner B1 et La Sota. En revanche la vaccination pose problème dans les élevages villageois, car la vaccination demanderait une manipulation individuelle des animaux, ainsi qu'une chaîne du froid pour conserver le vaccin. Des études ont été menées pour l'utilisation d'un **vaccin thermostable** à partir de la souche I<sub>2</sub>, en utilisant du sorgho ou de l'orge comme vecteur. Ce vaccin protégerait aussi bien que La Sota ou HB1. La protection semble être maximale 3 semaines après la vaccination (Nasser et al, 2000).

Les vaccins sont **produits localement** au National Veterinary Institute, ce qui permet de réduire les coûts de production. Reste à connaître la perception et l'acceptabilité de la vaccination par les éleveurs villageois.

Le prix de 100 doses de vaccins B1 ou La Sota produits localement a été estimé à 0,44% du prix d'un poulet adulte, ce qui fait que la vaccination reviendrait à 1,28% du revenu mensuel (FAO, 1998). Le coût ne semble donc pas être un frein à la vaccination. La thermostabilité d'un vaccin comme I<sub>2</sub> pourrait le rendre accessible à tous.

### *I.D. Rôle des marchés dans la transmission des maladies aviaires*

Plusieurs études ont démontré que les **oiseaux vivants** étaient la principale source de la maladie et le moyen d'introduction dans les villages. Les marchés d'oiseaux vivants représentent donc une source importante d'oiseaux infectés (Otim et al, 2007 ; Nguyen 1992 cité par Awan et al, 1994). La circulation de virus d'influenza aviaire a également été mise en évidence dans les marchés au Vietnam. Différents sous-types circulaient chez des canards et des oies sains. En 1997 à Hong Kong on retrouvait ensemble plusieurs espèces d'oiseaux aquatiques et terrestres dans les marchés, ce qui crée un environnement idéal pour un réassortiment de virus d'espèces différentes, voire la formation de souches capables d'infecter les humains (Nguyen et al, 2005).

Or les éleveurs éthiopiens achètent à 71 % leurs volailles pour constituer le stock de départ ou le remplacer. En revanche ils choisissent le lieu soit en fonction de leurs connaissances soit en allant dans un marché sans épisode récent de maladie dans les lieux d'où proviennent les animaux (Tadelle et al., 2003).

La majorité des ventes de poulets et d'œufs en Ethiopie se fait au moment des **fêtes traditionnelles et religieuses**, ainsi qu'au début de la période des foyers de maladie pour anticiper les pertes économiques. Enfin, ponctuellement, les éleveurs vendent en cas de besoin d'argent pour des petites dépenses quotidiennes (Tadelle et Ogle, 2003). Ces périodes constitueraient donc des périodes à risque pour la transmission des maladies aviaires.

Les marchés joueraient donc un rôle important dans la transmission de la maladie de Newcastle, ce qui justifie cette étude.

## *I.E. Présentation de la méthode d'analyse des réseaux sociaux*

### *I.E.1. Principes généraux*

Beaucoup d'études ont permis de mettre en évidence le rôle des **mouvements d'animaux** ou le comportement à risque de certains individus comme facteur de risque de la transmission de maladies, par des calculs statistiques classiques. Ils étaient considérés comme des facteurs de risque individuels ; liés au comportement individuel. Les techniques épidémiologiques classiques s'intéressaient au risque individuel d'être infecté par une maladie, mais pas à l'influence des contacts ou des liens d'un individu avec d'autres sur la diffusion de la maladie.

La méthode des **réseaux sociaux** a été empruntée à la sociologie. Elle est basée sur la **théorie des graphes** en mathématiques, ce qui lui donne des bases théoriques utilisables pour l'interprétation. Historiquement, la méthode a été utilisée pour l'étude des maladies sexuellement transmissibles pour la première fois en épidémiologie. Elle se base sur le fait que le réseau de contact a une influence plus grande que le comportement personnel sur la diffusion de la maladie (Perisse et Nery, 2007).

Un réseau social consiste en un ensemble d'individus ou de groupes qui forment des **nœuds**, connectés par des **liens** qui représentent un certain type de relation (amitié par exemple) ou d'interaction (sexuelle par exemple). L'analyse de ce réseau permet ensuite de dégager certaines caractéristiques de propagation par exemple d'une rumeur, d'une information, ou dans notre cas d'une maladie donnée (Perisse et Nery, 2007). Ces réseaux peuvent ensuite servir pour déterminer des individus à risque, des acteurs clés, ainsi que pour de la modélisation de type « SIR » (Susceptible – Infectious – Recovered) (Chrisley et al., 2005).

Il est possible de donner un sens au lien : on a alors un graphe **dirigé** (par exemple mouvement d'animaux de A vers B). On peut également leur attribuer une **valeur**, un poids (par exemple flux d'animaux).

### *I.E.2. Utilisation en épidémiologie*

Le premier exemple historiquement d'utilisation du SNA (Social Network Analysis) a été avec les **maladies sexuellement transmissibles**. En 1985, Klov Dahl a utilisé cette méthode pour décrire un foyer, et a ainsi apporté des arguments en faveur de la théorie d'un agent infectieux à l'origine du SIDA. La méthode a notamment montré l'importance dans l'épidémiologie de ces maladies des individus qui font le lien entre les individus du cœur (qui maintiennent la maladie) et les individus de la périphérie (avec une prévalence plus faible) (Perisse et Nery, 2007).

La méthode est aussi depuis quelques années utilisée en épidémiologie animale.

En 2005, Webb l'a utilisée afin de déterminer le rôle des concours agricoles dans la transmission des maladies ovines. Il a ainsi pu montrer qu'une maladie qui arriverait tôt dans la saison aurait de grandes chances d'atteindre tous les participants. Il a ainsi **justifié les mesures sévères de biosécurité** mises en œuvre au Royaume-Uni.

Kao et al (2006) ont étudié les mouvements de bétail pour estimer le risque d'une grande épidémie de fièvre aphteuse, et ont pu donner des conseils pour la **surveillance ciblée et le contrôle**, qui seraient efficaces pour la diminution de ce risque.

Ortiz Pelaez et al (2006) ont eux aussi travaillé sur la fièvre aphteuse en Grande Bretagne. Ils

ont utilisé les données des mouvements de 2001 au début de l'épidémie de fièvre aphteuse. Ils ont pu classer les acteurs de la filière en 3 groupes différents qui auraient conduit à trois **tailles d'épidémies** différentes. Ils ont ainsi pu justifier l'intérêt du bannissement total des mouvements en cas de foyer de fièvre aphteuse. Ils ont également pu identifier des **fermes « pivots »** sur lesquelles la surveillance devrait être ciblée en cas de foyer. Si la méthode qu'ils ont utilisée pouvait être actualisée en temps réelle, elle permettrait une optimisation de la surveillance.

Bigras-Poulin et al(2006) ont eux aussi utilisé les mouvements du bétail au Danemark, afin de récupérer des données sur la transmission du pathogène et la diffusion de la maladie. Ils font une étude du réseau à quatre niveaux : animal individuel, mouvement des animaux entre 2 lieux, réseau spécifique de lieu et réseau de la filière entière. Ils ont pu mettre en évidence le **rôle important des marchés** d'animaux vivants avec une grande rotation des animaux, ainsi que quelques fermes avec un transit important. Le réseau ainsi fabriqué est très complexe et rend compte de l'**hétérogénéité** dont il est nécessaire de tenir compte lors de simulations et de modélisations.

Il est également possible d'associer la méthode SNA avec d'autres.

Par exemple Wylie a ajouté une **composante géographique**, pour situer les individus du réseau les uns par rapport aux autres, et voir si les individus les plus connectés étaient également les plus proches (Perisse et Nery, 2007).

Dans une autre étude il a associé les données SNA avec des données de **biologie moléculaire**, encore une fois pour comparer les clusters moléculaires avec les clusters géographiques et ceux du réseau (Perisse et Nery, 2007).

Christley et al (2005) ont montré l'importance des individus à forte centralité en couplant les réseaux avec une **modélisation de type SIR**, pour modéliser la diffusion des maladies (vitesse, étendue) dans le réseau.

### ***1.E.3. Quelques indicateurs***

La théorie des graphes sur laquelle est basée la méthode SNA permet de calculer une grande quantité d'indices et de paramètres, qui vont nous permettre de qualifier le réseau et de classer les nœuds selon leur importance.

Il existe différents types de paramètres que l'on peut calculer à partir du réseau.

#### a. Paramètres à l'échelle du réseau

La première catégorie rassemble les paramètres à l'échelle du **réseau**. Ils s'appliquent à l'ensemble des nœuds et liens, et permettent par exemple d'avoir une idée sur la manière dont la **structure** du réseau influence la propagation de la maladie, des informations... (Izquierdo 2006).  
Exemples de paramètres : taille, densité...

#### b. Paramètres de distance sociale

Ces paramètres permettent de s'intéresser aux voisins, mais aussi aux connexions des voisins, donc les **connexions indirectes** du nœud auquel on s'intéresse. On cherche à savoir à quel point un individu est éloigné de tous les individus du réseau. Pour cela on va calculer le nombre de liens qui le sépare de tous les autres acteurs (c'est la distance en termes de distance sociale). Suivant les manières de calculer cette distance on obtient différents paramètres.  
Exemples de paramètres : walk, cycle, path...

#### c. Paramètres de connexion et connectivité

Ce sont des paramètres qui reflètent **la capacité d'un nœud à atteindre les autres en suivant les**

**liens du réseau.** Elle nous renseigne sur le fait que les nœuds sont connectés ou non, peu importe la longueur du chemin à emprunter.

Un réseau est dit connecté si à partir de chaque nœud on peut atteindre tous les autres. Un « component » est le plus grand ensemble de nœuds connectés.

Exemple de paramètres : reachability...

d. Paramètres de centralité

Ces paramètres indiquent si un nœud occupe une place importante, centrale dans le réseau. Elle mesure son **importance structurelle**. Ce sont des paramètres très utilisés en épidémiologie pour détecter les **individus / nœuds pivots**, ou acteurs clés.

Exemple de paramètres : degré, « betweenness », « closeness » ou proximité...

Il existe encore beaucoup de types de paramètres, mais ceux-là sont les plus fréquemment rencontrés.

## II. Matériel et méthodes

### II.A. Les questionnaires utilisés

Pour cette étude, **trois questionnaires** ont été utilisés : un questionnaire pour les marchands sur les marchés, un pour les éleveurs sur les marchés, et un pour les éleveurs dans les villages. Un de ces questionnaires est présenté en annexe 1.

Ces trois questionnaires comportent des questions sur les lieux et dates d'achat et de vente de volaille et d'œufs. Les données portent sur le jour de l'interview mais aussi sur leurs pratiques habituelles au cours de l'année. Ils contiennent également des questions sur la biosécurité. Sur le conseil d'un technicien éthiopien, nous avons rajouté une question sur les maladies rencontrées pour le questionnaire des villages. Il était en effet difficile de faire comprendre aux éleveurs que l'on travaillait sur les maladies des poules sans parler de maladies mais uniquement de leurs achats et ventes sans éveiller leur méfiance.

Les questionnaires ont été **testés** sur le terrain la première semaine, au marché de Debre Zeit et dans un village proche, deux fois pour chaque questionnaire.

Lors de l'étude, le questionnaire, en anglais, était **traduit** en amharique par un premier traducteur, et parfois en oromifa par un deuxième traducteur lorsque l'interrogé ne parlait pas amharique.

### II. B. Zone d'étude

La zone d'étude choisie initialement pour la construction du réseau était la zone comprise entre Debre Zeit et Ziway. Cette zone a été choisie en accord avec les études réalisées précédemment, qui se déroulaient dans la zone **East Shewa**. En effet, cette zone comprend un grand nombre de volailles, y compris les 3 fermes commerciales du pays, des fermes gouvernementales et beaucoup d'élevages villageois ainsi que de marchés. Elle est située sur la route de la vallée du Rift, qui est un grand axe de circulation, ainsi qu'une des routes d'approvisionnement des marchés de la capitale.

La zone d'étude ainsi définie devait comporter **5 woredas** : Adaa, Lome, Bora, Dugda et Adami Tulu Jido Kombolcha (dans sa partie nord jusqu'à Ziway). Nous avons décidé d'y ajouter la partie sud d'Adami Tulu, la woreda Liben (qui était auparavant fusionnée avec Adaa et qui était donc dans l'étude de 2007 (MM Olive), et la woreda Akaki, qui est sur la route d'Addis Abeba, et dont les marchands s'approvisionnent dans la zone d'étude. Ces deux woredas ont été rajoutées en se basant sur leur intérêt épidémiologique, et sur de nombreuses citations lors des interviews. Elle est présentée sur la figure 3 ainsi qu'en annexe 3.

### II.C. Calendrier

Le calendrier de l'étude est présenté dans le tableau I. Le travail de terrain a duré en tout 14 semaines.

Tableau I : Calendrier de l'étude

Dates	Etape de l'étude	Lieu
Décembre 2008 – mars 2009	Etude bibliographique et préparation du travail de terrain	Montpellier, France
15-30 mars	Rencontre des différents partenaires, test des questionnaires	Addis Abeba puis Debre Zeit, Ethiopie
30 mars – 5 juin	Première partie de l'étude de terrain	Région Oromia, zone East Shewa, Ethiopie
5 – 22 juin	Etude bibliographique, rédaction du rapport	Addis Abeba, Ethiopie
22 juin – 20 juillet	Deuxième partie de l'étude de terrain	Régions Oromia et SNNP, Ethiopie
20 – 31 juillet	Etude bibliographique, rédaction du rapport, comptes-rendus aux partenaires éthiopiens	Addis Abeba, Ethiopie
1-31 août	Traitement et analyse des données, rédaction du rapport	Montpellier, France

## II.D. Echantillonnage

### II.D.1. Echantillonnage boule de neige ou « Snowball »

Les marchés et les villages de cette étude ont été sélectionnés par la méthode « **snowball** ». Poupard et al. (1997), la définissent comme ceci : « grâce à un premier informateur ou à une personne-ressource, le chercheur trouve l'accès au prochain, procédant ainsi par contacts successifs ». Comme son nom l'indique, un premier marché est sélectionné, et les interviews réalisées nous mènent vers d'autres marchés et villages qui sont inclus dans l'étude. Ces villages et marchés nous mènent ensuite vers d'autres villages et marchés.

Les premiers acteurs sélectionnés répondent aux questions et identifient d'autres acteurs avec qui ils ont un lien de nature spécifique. Ils constituent la zone de « premier ordre » du réseau. On sélectionne ensuite si possible les acteurs de cette zone pour les interroger à leur tour. On obtient ainsi la constitution de la zone de « deuxième ordre ». On continue ensuite à échantillonner zone par zone (Wasserman et Faust, 1994).

On ne sélectionne les lieux que s'ils se trouvent à l'intérieur de la zone d'étude définie auparavant.

Pour assurer une bonne représentativité, il faudrait tirer au sort le premier marché. En effet, le réseau peut varier en fonction du temps. Cependant, pour des raisons pratiques et à cause du fait que nous ne possédions pas la liste exhaustive des marchés de la zone d'étude, nous avons choisi de commencer par le marché de Debre Zeit.

Cette méthode d'échantillonnage est classiquement utilisée dans la construction des réseaux.

Elle est très utile si l'accès aux données est difficile ou si l'on a affaire à des données « cachées ». Elle demande cependant de revenir a posteriori sur la portée et les limites de l'échantillon, et son adéquation avec les objectifs de l'étude (Poupard et al., 1997).

### II.D.2. Echantillonnage dans les villages et marchés

Une fois les lieux sélectionnés par la méthode « snowball », les personnes interrogées étaient choisies de manière **aléatoire**.

Dans les marchés, nous avons essayé d'être **exhaustif** et d'interroger tous les vendeurs présents. Cela a été possible pour les petits marchés, mais pas pour les plus gros. En effet, les heures d'activité des marchés (10h – 13h le plus souvent) ne nous ont pas toujours permis d'interroger tout le monde.

Dans les villages, le nombre de **2 élevages** a été choisi, pour nous permettre d'étudier un plus grand nombre de villages dans le temps limité de l'étude. Nous avons donc fait l'hypothèse d'une variabilité inter villages supérieure à la variabilité intra village. Nous avons privilégié une étude en profondeur du réseau.

### *II.E. Traitement des données*

Les données des questionnaires ont été organisées et enregistrées dans une base de données relationnelle Microsoft Access.

L'analyse des données spatiales a été réalisée avec le logiciel Arc GIS.

Les études statistiques ont été réalisées avec le logiciel Microsoft Excel.

Les Analyse en Composantes Principales (ACP) et Classifications Ascendantes Hiérarchiques ont été réalisées avec le logiciel R 2.7.2, 2008, The R Foundation for Statistical Computing.

Le réseau et ses indicateurs ont été générés avec le logiciel UCINET version 6 pour Windows (Analytic technologies, Inc., Harvard, Massachusetts), ainsi que Netdraw version 2 pour Windows (Analytic technologies, Inc., Harvard, Massachusetts) pour la visualisation.

### *II.F. Construction et analyse des réseaux*

Les données ont été récupérées à partir de la base de données pour former des **matrices d'adjacences**. Ces matrices sont le support des données des graphes, elles répertorient les mouvements avec en lignes les origines et en colonnes les destinations. Les logiciels spécialisés peuvent alors faire la représentation graphique ainsi que le calcul des indices à partir de cette matrice. Les matrices utilisées pour les deux réseaux étudiés sont présentées en annexe 2.

Au vu de ce que nous savions sur la dynamique des marchés en Ethiopie, il a été décidé de comparer le réseau de mouvements durant les **périodes de fêtes** (qui seront nommées HD pour holidays dans certaines figures, et qui correspondent aux principales fêtes religieuses du pays : Nouvel An / Meskel, Noël / Epiphanie et Pâques) avec les mouvements **en dehors de ces périodes**. Deux types de personnes ayant été interrogées, correspondant aux deux types d'acteurs principaux des marchés, il a été décidé de faire deux types de réseaux. Il a été décidé de n'utiliser que les données sur les poulets et pas sur les œufs, car dans quelques marchés les animaux vivants et les œufs sont séparés, et il a donc fallu faire un choix pour cibler les interviews.

Dans le premier réseau, les **nœuds seront les marchés** et les **liens les mouvements de volailles liés à l'activité des marchands**. Le lien représentera le **flux d'animaux par mois** entre deux marchés, soit en période de fête soit en dehors. Ces flux sont calculés en utilisant les données des questionnaires posés aux marchands, et uniquement ceux-ci car les liens directs de marché à marché sont formés par les marchands uniquement. De plus les marchands interrogés n'achètent jamais directement dans les villages. C'est ce réseau qui sera étudié dans ce rapport.

Dans un deuxième temps, les données sur les villageois seront rajoutées. Les **nœuds seront à la fois les marchés et les villages** interrogés. Les liens correspondront au **flux d'animaux entre les marchés et les villages ou d'autres marchés**, sur une période de un an, pendant les fêtes ou en dehors. La période de fêtes correspond donc à 3 mois de l'année : septembre avec le Nouvel An éthiopien, Meskel qui correspond à la découverte de la vraie croix et cette année l'Aïd AlFitir, Janvier avec Noël et l'Epiphanie, et enfin avril avec Pâques. La période hors fêtes correspond aux autres mois soit neuf mois. Le réseau ainsi généré étant beaucoup plus complexe, il fera l'objet d'une étude ultérieure et dans ce rapport nous ne ferons que la description.

Nous nous intéressons à la construction et aux méthodes d'études du réseau des marchés.

Le réseau a été visualisé avec Netdraw. Les nœuds ont été placés sous une configuration optimale pour la visualisation du réseau, ainsi que selon leurs coordonnées géographiques. Le réseau selon les coordonnées géographiques a été projeté sur une carte avec le réseau routier et le relief, pour voir si ces paramètres influençaient les pratiques commerciales.

Différents indices ont été calculés avec UCINet.

- ❖ **La densité** : c'est un paramètre de tout le réseau. Elle représente la proportion de liens effectivement présents parmi tous les liens possibles (de 0 à 1). Dans un réseau avec des valeurs liées aux liens, on additionne toutes ces valeurs qu'on divise par le nombre de liens. Elle mesure la connexion du réseau, et donne une indication sur la vitesse à laquelle se diffuserait une épidémie.
- ❖ **Le degré** : On parle du degré d'un nœud. Il s'agit du nombre de liens qui sont connectés à ce nœud (Wasserman et Faust, 1994). Il est facile à obtenir et donne rapidement des informations utiles. Il permet de savoir si un nœud est beaucoup connecté ou au contraire isolé. Dans un graphe dirigé on fait la distinction entre « in-degree » (nombre d'arcs avec le nœud considéré comme destination) et « out-degree » (nombre d'arcs avec le nœud considéré comme origine). Le in-degree mesure la réceptivité ou popularité d'un acteur. Le out-degree mesure l'« expansivité » d'un acteur. La distribution du degré peut aussi donner des informations sur la structure globale d'un réseau, et le rapprocher d'un réseau théorique dont les propriétés sont connues.
- ❖ **La betweenness** : Ce terme désigne pour un nœud le fait d'être « entre » les autres nœuds, de se situer sur le chemin entre deux nœuds en suivant les liens du réseau. Si un nœud N1 se trouve sur le chemin le plus court entre N2 et N3, on peut dire que N1 possède un certain contrôle sur la relation entre N2 et N3. Un nœud a donc une grande betweenness s'il se trouve de nombreuses fois sur le plus court chemin entre deux nœuds.

Christley et al. (2005) ont montré que le degré et la betweenness étaient **liés à la probabilité d'infection d'un nœud** en utilisant des simulations utilisant les modèles SIR, particulièrement pour les réseaux libres d'échelle (scale-free).

Les différents indices peuvent être **standardisés** en les divisant par la valeur maximum qu'il prend. En effet tous ces indices dépendent du nombre de nœuds et du nombre de liens. La standardisation permet donc d'avoir une valeur comprise entre 0 et 1 qui permet la comparaison d'un réseau à l'autre.

UCINet calcule des indices normalisés, en les exprimant sous la forme d'un pourcentage de la valeur maximale qu'ils peuvent prendre. Cette normalisation dépend donc toujours du nombre de nœuds, mais on pourra l'utiliser dans notre cas car nous comparons deux réseaux avec le même nombre de nœuds.

Les indices sont également calculés à partir des flux normalisés (divisés par la valeur maximum qu'ils prennent), afin de s'affranchir de la différence liée aux variations saisonnières brutes. On cherche uniquement à savoir s'il y a une variation dans l'importance de ces flux (ainsi que des paramètres qui en dépendent) relativement les uns aux autres

Les flux normalisés ont été comparés 2 à 2, ainsi que leur part relative dans le total des flux.

Enfin des typologies ont été réalisées par analyse factorielle (Analyse en Composantes Principales ACP) puis Classification Ascendante Hiérarchique (CAH). Une typologie à partir de paramètres relevés sur le terrain a été réalisée, et a été comparée avec des typologies pour les deux périodes étudiées réalisées à partir des paramètres estimant la place des marchés dans le réseau.

### III. Résultats

#### III.A. Les marchés visités

Au total, **27 marchés** ont été visités, et 29 ont été identifiés par l'échantillonnage. Les marchés sont présentés dans le tableau II. Ils sont situés sur la carte en annexe 3.

Tableau II : Marchés de l'étude et marchés des woredas

Woreda	Marchés du réseau	Marchés manqués	Marchés non dans le réseau
Akaki	Akaki, Dukem, Abu Sera, Abu Sirba		Kality
Adaa	Debre Zeit, Dire, Bakajo, Godino, Hidi, Bali, Friday Market (Bole), Sunday Market (Ardaga)	Thursday Market (Tadaa)	Denkaka, Yato
Liben	Adulala, Womber, Ziquela	Rogicha	Liben Gadula, Ilmo, Wara Jarsa
Lome	Mojo, Koka, Dekabura, Kiltobaja, Ejere		
Bora	Alemtena, Ombole		
Dugda	Meki, Ella		Argo gadilala, Biliti balwolde
Adami Tulu	Ziway, Abosa, Adami Tulu, Bulbula		Jido

Deux marchés, Rogicha et Tadaa auraient dû être visités puisque inclus dans l'échantillonnage par la méthode « snowball », mais faute de temps et à cause de la pluie, cela n'a pas été possible. Il a quand même été décidé de les inclure dans les résultats. En effet, nous possédons quelques données sur les mouvements qui leur sont liés.

#### III.B. Pratiques d'achat des éleveurs

##### III.B.1. Lieux d'achat des fermiers

Pour les fermiers les achats se font à **73% au marché**, et à 16% à des voisins (voir figure 6).

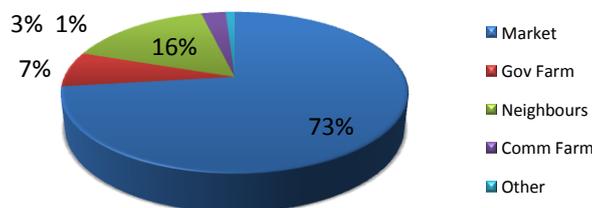


Figure 6 : Lieux d'origine des achats des éleveurs

##### III.B.2. Répartition des achats sur l'année

La figure 7 montre la répartition de la date du dernier achat. Il n'y a pas de distinction faite entre les achats pour l'élevage et les achats pour la consommation. On observe des **pics** d'achat soit au moment des **jours de fête** (septembre, janvier, avril) soit **juste après**, quand le prix des animaux diminuent.

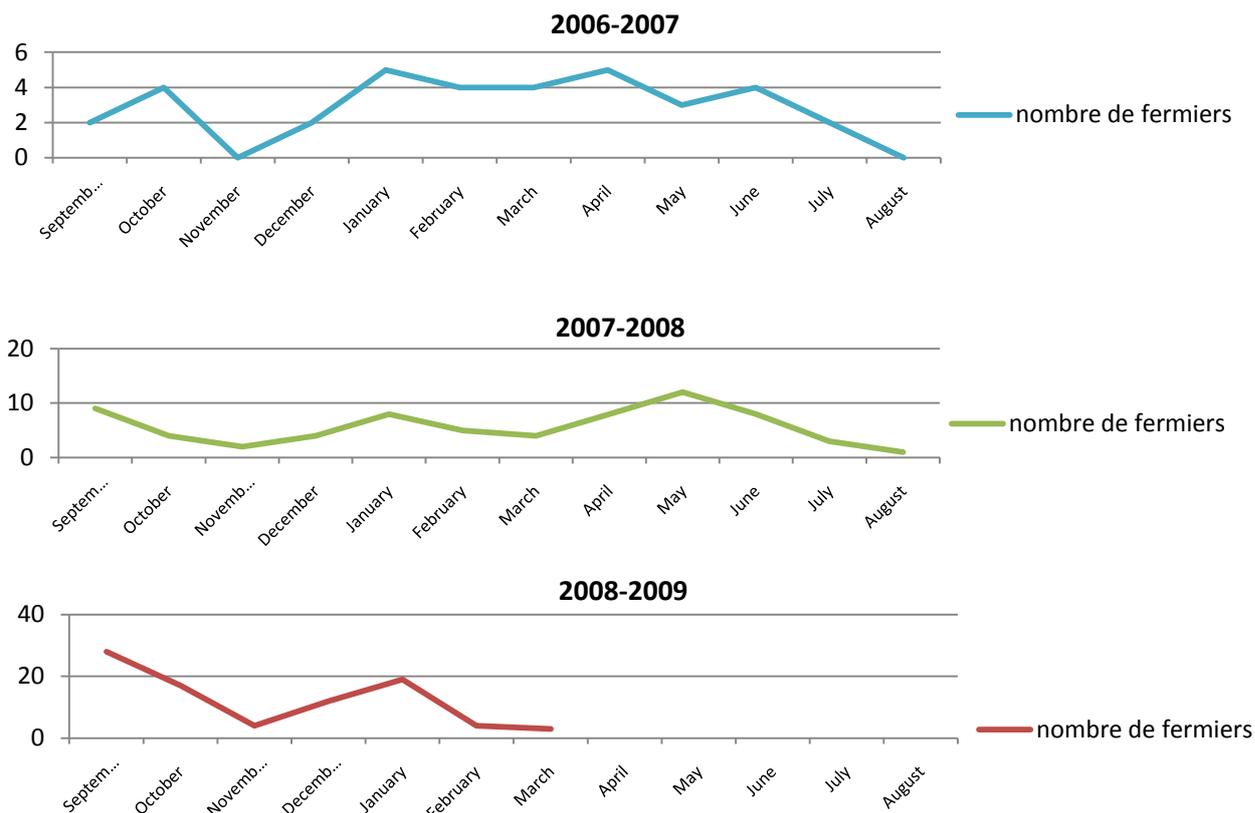


Figure 7 : Répartition du dernier achat selon la date

Nous avons également 24% des fermiers interrogés qui n'ont pas acheté de poulets depuis fin 2006 (même si la plupart d'entre eux ont signalé acheter des poulets tous les ans).

### III.B.3. Distance du marché d'achat

Le marché d'achat est situé en moyenne à 7km du village (de 0 à 25km) par la route. Dans 75% des cas il s'agit du **marché le plus proche** du village.

## III.C. Pratiques de vente des éleveurs

### III.C.1. Lieux de vente des fermiers

Dans **78%** des cas les éleveurs vendent au **marché**, et dans 10% des cas à des voisins, comme montré sur la figure 8.

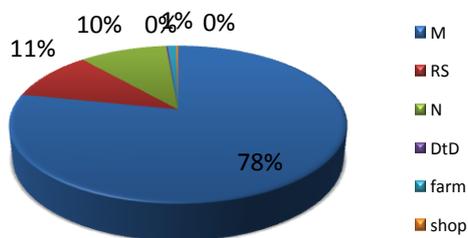


Figure 8 : Lieux de vente des éleveurs

### III.C.2. Maximum de ventes

La répartition du maximum des ventes des fermiers est représentée sur la figure 9. On peut

distinguer trois groupes selon les raisons données par les fermiers : la principale (en rouge) correspond aux ventes durant les **périodes de fêtes**. D'ailleurs 91 % des éleveurs interrogés vendent plus de poulets en avril pendant la période de **Pâques**. La deuxième raison correspond aux périodes de **maladies** (en bleu) supposées par les fermiers. Ils cherchent alors à récupérer l'argent des animaux en anticipant sur la survenue d'un foyer. On peut s'attendre à une sous-estimation, les éleveurs n'étant pas forcément enclins à révéler qu'ils vendent des poulets lors de la survenue de maladies. La troisième raison correspond aux périodes de **jeune**, les éleveurs vendent ce qu'ils ne consomment pas (principalement des œufs). C'est le seul résultat de ce rapport qui prend en compte les œufs, le reste concerne exclusivement les poulets.

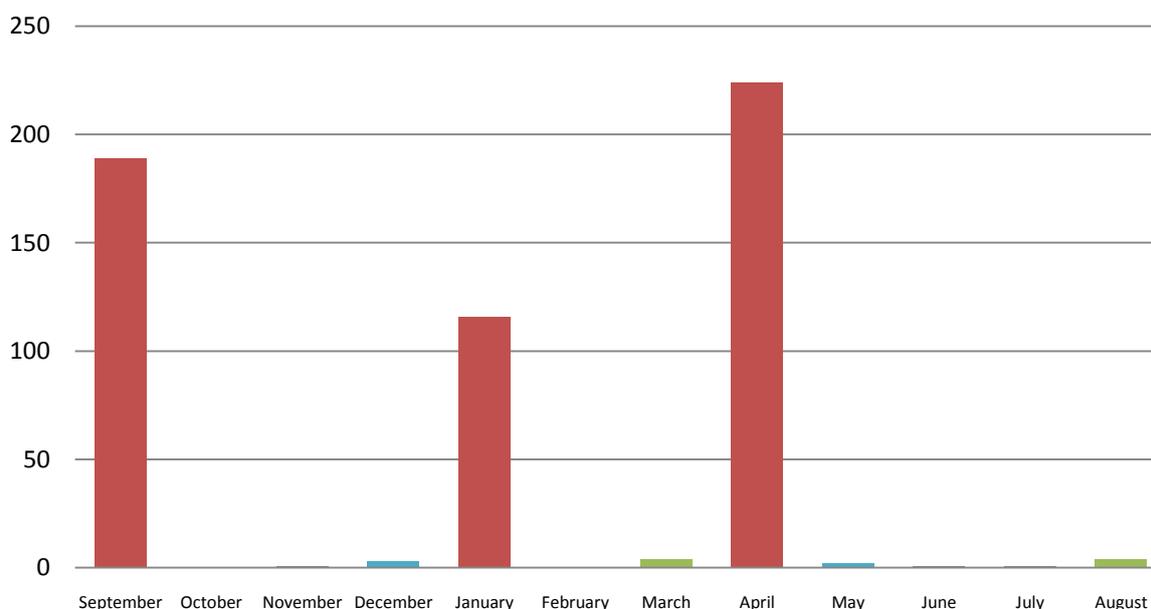


Figure 9 : Répartition du maximum de ventes des fermiers dans l'année

### **III.C.3. Distance du marché de vente**

Le marché de vente est situé en moyenne à 8,1 km du village, soit plus ( $p < 0.01$ , test Z) que pour les achats. On peut donc penser que les marchés de vente sont différents de ceux fréquentés pour les achats. De plus 58% des ventes se font dans le marché le plus proche. Les fermiers ont donc tendance à **s'éloigner plus du village pour vendre que pour acheter** ( $p < 0,01$ , test  $\chi^2$  d'homogénéité) et à **diversifier les lieux de vente**. De plus, parmi ceux qui ne vont pas au marché le plus proche, 64% vont dans un marché « plus gros » (selon la typologie du tableau III).

### **III.D. Biosécurité**

#### **III.D.1. A l'introduction de nouveaux animaux**

Lors de l'achat de nouveaux animaux les fermiers déclarent à **84%** ne pas respecter de quarantaine. Parmi ceux qui respectent une quarantaine, 81% laissent les animaux isolés une semaine ou moins, ce qui est insuffisant. De plus, les conditions de quarantaine ne sont souvent pas efficaces, par exemple les nouveaux poulets sont juste mis sur un arbre, et les autres poulets passent en-dessous. Cette question n'a pas été approfondie et demanderait une étude ultérieure.

#### **III.D.2. Au retour du marché**

Lorsqu'ils vont vendre des poulets au marché, 12% des éleveurs vendent tous les animaux soit sur place soit sur la route en rentrant, et 88% ramènent des poulets invendus.

Comme pour les achats, seuls **16%** des éleveurs respectent une quarantaine pour les poulets invendus. Parmi ceux-ci, 95% la font durer une semaine ou moins, soit une durée insuffisante.

### III.E. connaissance des maladies

#### III.E.1. Distinction des maladies

La très grande majorité (98%) des éleveurs interrogés ne font pas de différences entre les maladies des volailles ou n'en connaissent qu'une seule (voir figure 10).

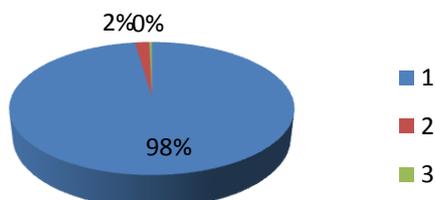


Figure 10 : Nombre de maladies connues par les éleveurs

#### III.E.2. Nom des maladies

Comme montré sur la figure 11 près de la moitié des éleveurs désignent les maladies des poulets sous le nom de **Fengel** (ou un dérivé suivant la langue du fermier). Quelques-uns les appellent *Enkuref*, et le reste n'a pas de nom spécifique, ils les désignent sous le nom de « maladie des poulets » dans la langue locale (*yedora beshita* en amharique, *dhibe andaku* en oromifa).

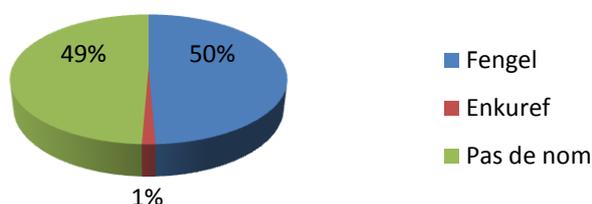


Figure 11 : Désignations locales des maladies des poulets par les éleveurs

Il faut noter que lors de l'entretien, les symptômes associés sont demandés. Il semblerait que **Fengel** ne désigne pas uniquement la maladie de Newcastle mais les maladies du poulet en général (cela reste à démontrer). Il y a une vingtaine d'années, ce mot désignait plutôt la coccidiose, mais aujourd'hui les agents de développement enseignent sous ce nom la maladie de Newcastle dans les Farmer Training Centers (Asmamaw, NAHDIC, communication personnelle).

#### III.E.3. Saison d'occurrence des maladies

Selon les éleveurs, les maladies des poulets se produisent le plus souvent lors de **la saison des pluies** ou en tout début (vers mai), ce qui est en accord avec la bibliographie (voir figure 12).

Cette période donne lieu à diverses croyances. Certains fermiers constatant que les poules mangent les premières herbes qui poussent lors des premières pluies, ils attribuent les maladies à cette herbe. D'autres pensent que la maladie est liée aux limaces qui sortent avec les premières pluies et que les poules consomment.

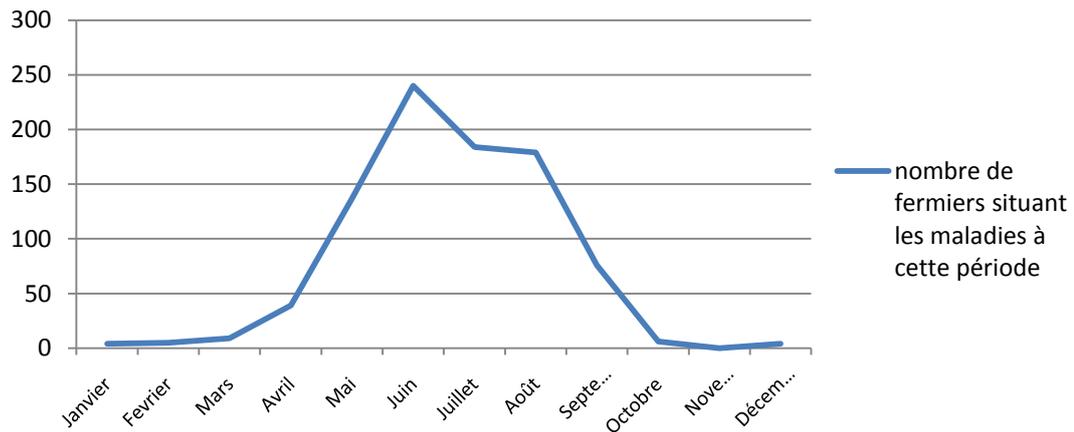


Figure 12 : Période d'occurrence des maladies des volailles selon les éleveurs

Remarque : une question sur les symptômes était dans le questionnaire, mais les réponses ne sont pas utilisables, à cause d'une trop grande variabilité liée aux changements de traducteurs.

### III.F. Pratiques commerciales des marchands

#### III.F.1. Utilisation des marchés

Les marchands ont tendance à acheter les poulets dans des « **petits** » marchés et à les vendre dans des « **gros** » comme présenté sur la figure 13 (selon la typologie de Olive 2008, annexe 7).

De plus, ils utilisent **moins de marchés pour la vente que pour l'achat**. En effet, 89% des marchands utilisent de 1 à 2 marchés pour la vente, et seulement 66% utilisent de 1 à 2 marchés pour l'achat.

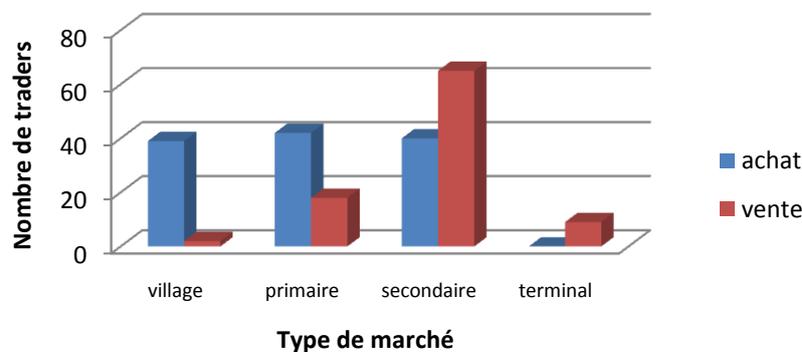


Figure 13 : Type de marchés utilisés par les marchands

#### III.F.2. Marchés les plus utilisés pour la vente

Les marchands ayant tendance à utiliser les « gros » marchés pour la vente, leur identification (figure 14) nous donnera une première idée des marchés importants, vers lesquels de nombreux poulets circulent.

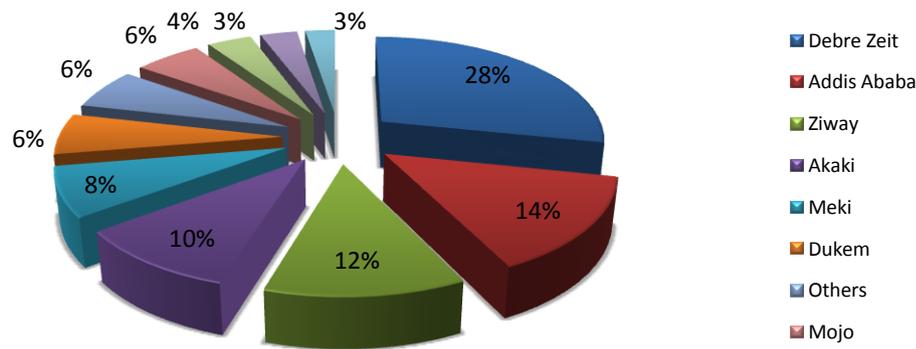


Figure 14 : Principaux marchés de vente des marchands

On voit donc que, en plus d'Addis Abeba qui ne fait pas partie de notre zone d'étude, **Debre Zeit, Ziway, Akaki et Meki** sont les principaux marchés fréquentés par les marchands pour la vente. A eux seuls, ils représentent 72% des lieux de vente des marchands. Parmi ceux-ci, seul Akaki est un **marché terminal** où les consommateurs sont les principaux acheteurs et où très peu de fermiers viennent vendre. Les autres marchés semblent donc avoir un rôle épidémiologique central.

### III.G. Transport

Le transport est important à considérer puisqu'il peut être à l'origine de la contamination des animaux.

#### III.G.1. Transport entre les villages et les marchés

Les principaux moyens de transport utilisés (voir figure 15) sont des **moyens de transport individuels pour les trois quart des cas**. De plus, la charrette est souvent partagée entre personnes du même village, donc avec des poulets qui ont une forte chance d'avoir le même statut vis-à-vis de la maladie de Newcastle. Ainsi, dans la grande majorité des cas, le transport entre villages et marchés ne contribue pas à la dissémination de la maladie de Newcastle.

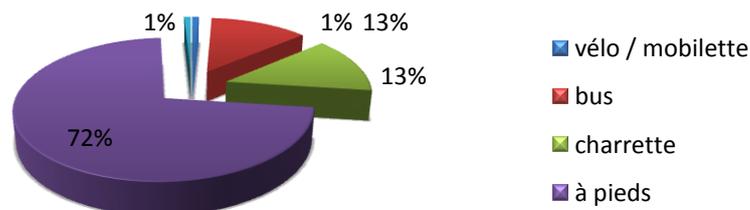


Figure 15 : Moyens de transport entre les villages et les marchés

#### III.G.2. Transport entre les marchés par les marchands

Ici les marchands utilisent un peu plus souvent les moyens de transport collectifs (bus). De plus, lorsqu'ils partagent une charrette, les poulets n'ont pas la même origine et donc pas le même statut vis-à-vis de la maladie de Newcastle. Le transport pourrait donc constituer un lieu de contamination pour les poulets des marchands si des mesures d'isolement pendant le transport ne sont pas prises. Ce risque est cependant à pondérer par le fait que les durées de transport sont souvent courtes (3h au maximum le plus souvent).

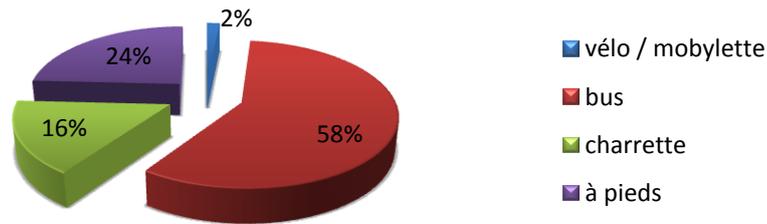


Figure 16 : Moyens de transport par les marchands entre marchés

III.H. Le réseau des flux d’animaux entre marchés

III.H.1. Description des réseaux des marchés seuls

Les deux réseaux pour les périodes de fêtes (HD) et en dehors (NoHD) possèdent 25 et 24 nœuds. Le réseau HD possède 57 liens et le réseau NoHD 52 liens. La densité est de 0,0702 pour le réseau HD et de 0,0640 pour le réseau NoHD. Les réseaux sont donc **peu connectés**. Les deux réseaux ont donc une **structure similaire** : pratiquement même nombre de nœuds et de liens, mêmes flux étudiés dus aux mêmes personnes mais à deux moments différents.

Les paramètres de description sont présentés dans le tableau III.

Tableau III : Paramètres de description des réseaux

Paramètre	HD	NoHD
Taille	25	24
Nombre de liens	57	52
Densité	0,0702	0,0640
Valeur maximum de flux	2660 poulets / mois	2490 poulets / mois
Type de réseau théorique approché	Scale free	Scale free

Le type de réseau peut être estimé en regardant la distribution du degré. Une distribution qui montre beaucoup de lieux peu connectés et peu de lieux très connectés et qui semble suivre une loi de distribution exponentielle indique un graphe qui se rapproche d’un graphe libre d’échelle ou *scale free*. La distribution totale du degré est présentée sur la figure 17. Les distributions détaillées de inegree et out degree sont présentées en annexe 4.

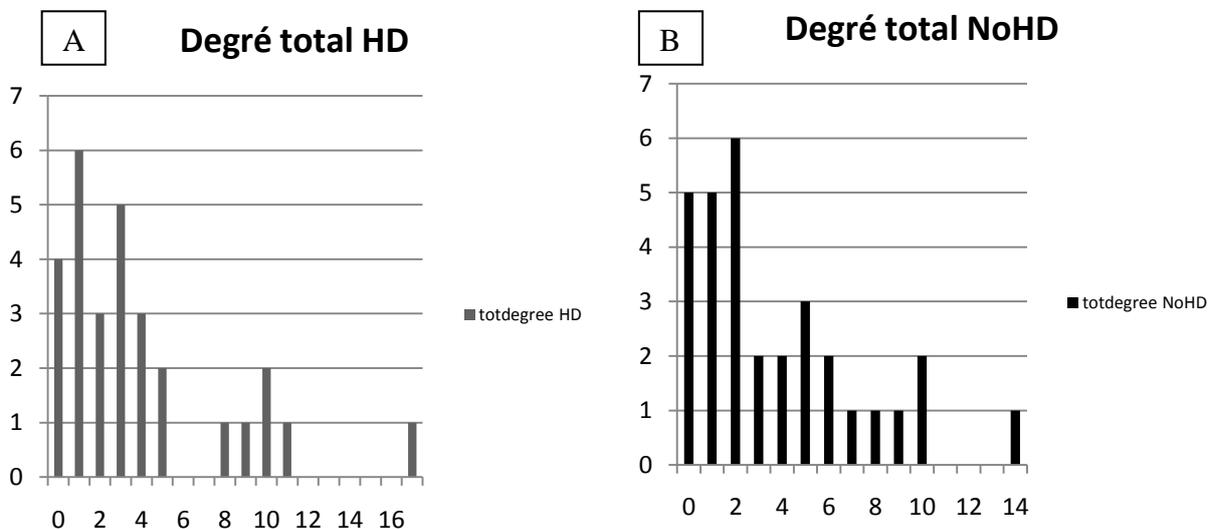


Figure 17 : Distribution du degré total pour le réseau HD (A) et le réseau NoHD (B)



Dukem et Akaki dans le réseau. On va chercher à confirmer cette hypothèse avec le calcul des paramètres dans la partie III.G.3.

La représentation du réseau selon les coordonnées géographiques peut également nous apporter certaines informations. En effet, le réseau peut ensuite être projeté sur une carte de densité de population ou de relief. C'est ce qui a été fait sur la figure 19. On peut alors émettre des hypothèses sur les raisons de l'importance d'un marché, ou sur les raisons de sa fréquentation par un village donné.

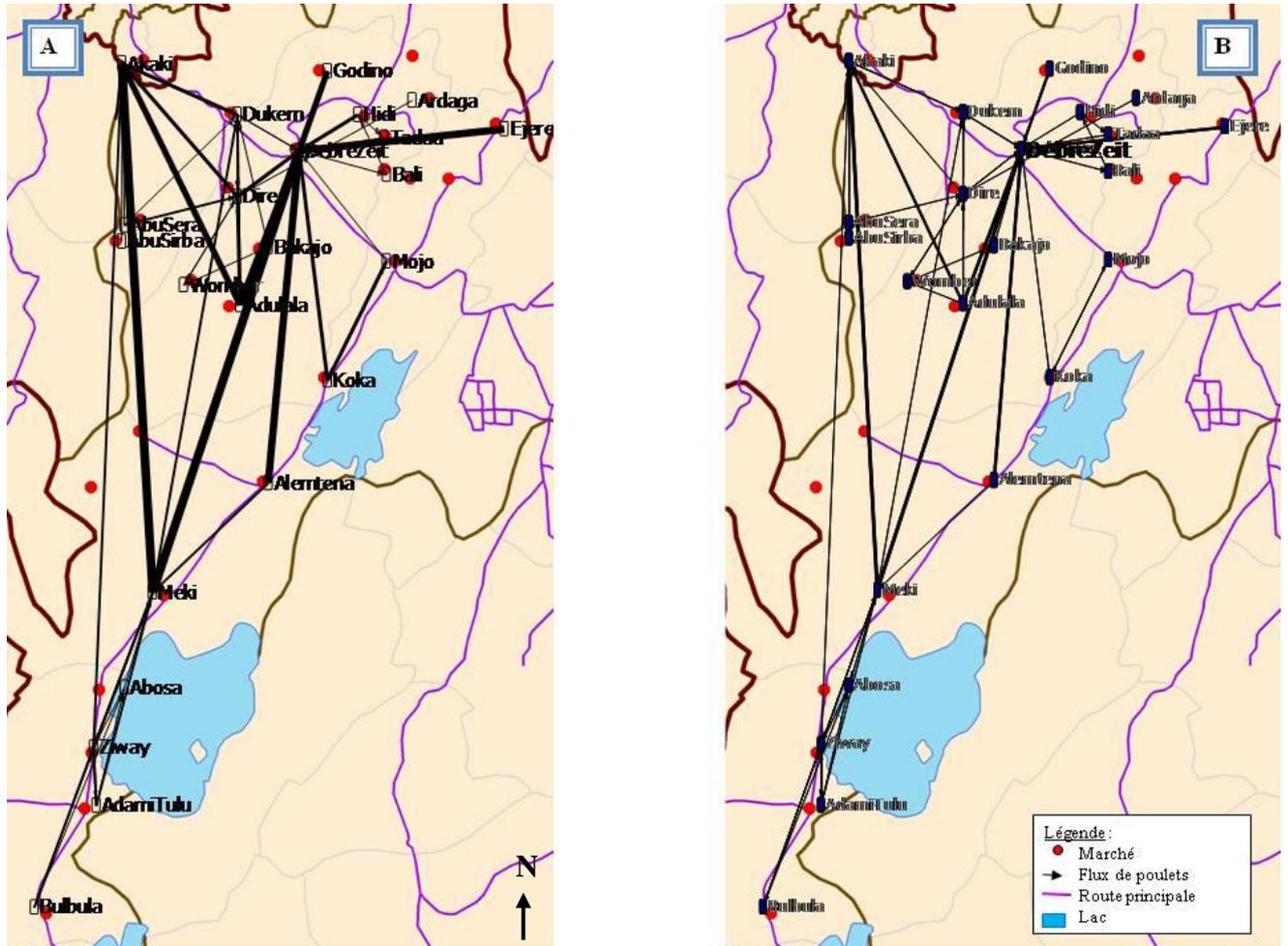


Figure 19 : Représentation cartographique des réseaux HD (A) et NoHD (B)

Cette représentation nous apprend plusieurs choses. Tout d'abord, les flux les plus importants ne sont pas faits sur des courtes distances, les marchés concernés semblent éloignés, comme Meki et Akaki ou Meki et Debre Zeit. De plus, on remarque que la plupart des marchés sont situés sur une route principale (en violet). Debre Zeit semble avoir une position centrale dans le réseau, mais il a également une position centrale du point de vue géographique.

### III.H.3. Paramètres calculés et comparaison

#### a. Le degré

Le classement des marchés selon leur degré a été calculé. Les classements ont été comparés entre les périodes de fêtes et les périodes en dehors. Le résultat est présenté dans le tableau VI.

Tableau IV : Classement des marchés selon leur total degree (A), out degree (B) et in degree (C)

<b>A</b>				<b>B</b>				<b>C</b>			
HD		NoHD		HD		NoHD		HD		NoHD	
Marché (valeur)		Marché (valeur)		Marché (valeur)		Marché (valeur)		Marché (valeur)		Marché (valeur)	
Debre (2,303)	Zeit (2,261)	Meki (1,615)	Meki (1,501)	Debre (2,259)	Zeit (2,253)	Meki (1,885)	Meki (1,501)	Debre (2,259)	Zeit (2,253)	Debre (2,259)	Zeit (2,253)
Meki (2,15)	Meki (1,615)	Adulala (1,008)	Adulala (0,675)	Akaki (1,971)	Akaki (0,887)	Dire (0,468)	Alemtena (0,281)	Dukem (0,378)	Dire (0,131)	Akaki (1,971)	Akaki (0,887)
Akaki (1,984)	Akaki (0,893)	Alemtena (0,286)	Ejere (0,209)	Meki (0,265)	Ziway (0,122)	Adulala (1,008)	Adulala (0,675)	Ziway (0,211)	Meki (0,114)	Dire (0,631)	Dire (0,313)
Dire (0,631)	Dire (0,313)	Ziway (0,253)	Dire (0,182)	Ziway (0,211)	Meki (0,114)	Dire (0,631)	Dire (0,313)	Dire (0,163)	Dukem (0,092)	Dukem (0,58)	Alemtena (0,281)
Dukem (0,58)	Alemtena (0,281)	Bakajo (0,227)	Koka (0,141)	Dire (0,163)	Dukem (0,092)	Dukem (0,58)	Alemtena (0,281)	Womber (0,124)	Mojo (0,077)	Ziway (0,464)	Ziway (0,254)
Ziway (0,464)	Ziway (0,254)	Dukem (0,202)	Godino (0,137)	Womber (0,124)	Mojo (0,077)	Alemtena (0,286)	Ejere (0,209)	Mojo (0,098)	Womber (0,051)	Alemtena (0,286)	Ejere (0,209)
Alemtena (0,286)	Ejere (0,209)	Bulbula (0,192)	Ziway (0,132)	Mojo (0,098)	Womber (0,051)	Bakajo (0,227)	Dukem (0,175)	Adami Tulu (0,027)	Adami Tulu (0,037)	Bakajo (0,227)	Dukem (0,175)
Bakajo (0,227)	Dukem (0,175)	Ejere (0,18)	Adami Tulu (0,086)	Adami Tulu (0,027)	Adami Tulu (0,037)	Bulbula (0,193)	Koka (0,141)	Abosa (0,026)	Abosa (0,008)	Bulbula (0,193)	Koka (0,141)
Bulbula (0,193)	Koka (0,141)	Koka (0,143)	Dukem (0,083)	Abosa (0,026)	Abosa (0,008)	Ejere (0,18)	Godino (0,137)	Bole (0,012)	Bulbula (0,007)	Ejere (0,18)	Godino (0,137)
Ejere (0,18)	Godino (0,137)	Godino (0,132)	Hidi (0,081)	Bole (0,012)	Bulbula (0,007)	Koka (0,145)	Adami Tulu (0,123)	Koka (0,002)	Adulala (0)	Koka (0,145)	Adami Tulu (0,123)
Koka (0,145)	Adami Tulu (0,123)	Adami Tulu (0,114)	Bulbula (0,078)	Koka (0,002)	Adulala (0)	Adami Tulu (0,141)	Bulbula (0,085)	Bulbula (0,001)	Alemtena (0)	Adami Tulu (0,141)	Bulbula (0,085)
Adami Tulu (0,141)	Bulbula (0,085)	Abu Sera (0,105)	Bakajo (0,056)	Bulbula (0,001)	Alemtena (0)	Godino (0,132)	Hidi (0,081)	Bali (0,001)	Ejere (0)	Godino (0,132)	Hidi (0,081)
Godino (0,132)	Hidi (0,081)	Hidi (0,087)	Abu Sera (0,05)	Bali (0,001)	Ejere (0)	Womber (0,13)	Mojo (0,077)	Adulala (0)	Koka (0)	Womber (0,13)	Mojo (0,077)
Womber (0,13)	Mojo (0,077)	Rogicha (0,075)	Rogicha (0,032)	Adulala (0)	Koka (0)	Mojo (0,13)	Bakajo (0,056)	Alemtena (0)	Godino (0)	Mojo (0,13)	Bakajo (0,056)
Mojo (0,13)	Bakajo (0,056)	Abosa (0,043)	Abu Sirba (0,012)	Alemtena (0)	Godino (0)	Abu Sera (0,105)	Womber (0,054)	Bakajo (0)	Hidi (0)	Abu Sera (0,105)	Womber (0,054)
Abu Sera (0,105)	Womber (0,054)	Mojo (0,032)	Debre Zeit (0,008)	Bakajo (0)	Hidi (0)	Hidi (0,087)	Abu Sera (0,05)	Ejere (0)	Bakajo (0)	Hidi (0,087)	Abu Sera (0,05)
Hidi (0,087)	Abu Sera (0,05)	Abu Sirba (0,03)	Ardaga (0,008)	Ejere (0)	Bakajo (0)	Rogicha (0,075)	Rogicha (0,032)	Godino (0)	Abu Sera (0)	Rogicha (0,075)	Rogicha (0,032)
Rogicha (0,075)	Rogicha (0,032)	Akaki (0,013)	Akaki (0,006)	Godino (0)	Abu Sera (0)	Abosa (0,069)	Abosa (0,025)	Abu Sera (0)	Rogicha (0)	Abosa (0,069)	Abosa (0,025)
Abosa (0,069)	Abosa (0,025)	Ardaga (0,011)	Womber (0,003)	Abu Sera (0)	Rogicha (0)	Abu Sirba (0,03)	Abu Sirba (0,012)	Hidi (0)	Abu Sirba (0)	Abu Sirba (0,03)	Abu Sirba (0,012)
Abu Sirba (0,03)	Abu Sirba (0,012)	Womber (0,006)	Mojo (0)	Hidi (0)	Abu Sirba (0)	Bole (0,012)	Ardaga (0,08)	Rogicha (0)	Ardaga (0)	Bole (0,012)	Ardaga (0,08)
Bole (0,012)	Ardaga (0,08)	Tadaa (0,001)	Bali (0)	Rogicha (0)	Ardaga (0)	Ardaga (0,011)	Bali (0)	Abu Sirba (0)	Bali (0)	Ardaga (0,011)	Bali (0)
Ardaga (0,011)	Bali (0)	Bali (0)	Tadaa (0)	Abu Sirba (0)	Bali (0)	Bali (0,001)	Tadaa (0)	Ardaga (0)	Tadaa (0)	Bali (0,001)	Tadaa (0)
Bali (0,001)	Tadaa (0)	Dekabura (0)	Dekabura (0)	Ardaga (0)	Tadaa (0)	Tadaa (0,001)	Dekabura (0)	Tadaa (0)	Dekabura (0)	Tadaa (0,001)	Dekabura (0)
Tadaa (0,001)	Dekabura (0)	Ombole (0)	Ombole (0)	Tadaa (0)	Dekabura (0)	Dekabura (0)	Ombole (0)	Dekabura (0)	Ombole (0)	Dekabura (0)	Ombole (0)
Dekabura (0)	Ombole (0)	Ella (0)	Ella (0)	Dekabura (0)	Ombole (0)	Dekabura (0)	Ella (0)	Dekabura (0)	Ombole (0)	Dekabura (0)	Ombole (0)
Ombole (0)	Ella (0)	Kiltobaja (0)	Kiltobaja (0)	Dekabura (0)	Ombole (0)	Ombole (0)	Kiltobaja (0)	Ombole (0)	Ella (0)	Ombole (0)	Ella (0)
Ella (0)	Kiltobaja (0)	Bole (0)	Bole (0)	Ombole (0)	Ella (0)	Ella (0)	Kiltobaja (0)	Ella (0)	Kiltobaja (0)	Ella (0)	Kiltobaja (0)
Kiltobaja (0)	Bole (0)	Bole (0)	Bole (0)	Ella (0)	Kiltobaja (0)	Kiltobaja (0)	Bole (0)	Ella (0)	Kiltobaja (0)	Kiltobaja (0)	Bole (0)

Le **total degree** d'un nœud nous indique si ce nœud est très connecté ou non. Dans les deux périodes considérées, les 5 marchés avec le plus grand degré total sont les mêmes. Il s'agit de **Debre Zeit, Meki, Akaki, Adulala, Dire**. Ils ont donc les plus grands nombres de connexions.

Le **out degree** nous renseigne sur les marchés qui « envoient » beaucoup de poulets vers d'autres marchés, sur leur rôle comme **source**. Les classements sont plus hétérogènes, mais on retrouve Meki, Adulala, Alemtena et Dire dans les 5 premiers pour les deux périodes. Ces marchés ont donc un rôle important dans les achats de volailles par les marchands.

Le **in degree** nous renseigne sur les marchés qui « reçoivent » beaucoup de poulets depuis d'autres marchés, sur leur rôle comme **destination**. Les classements entre les deux périodes sont proches, et on retrouve dans les 6 premiers Debre Zeit, Akaki, Dukem, Dire, Ziway et Meki. On remarque que Meki et Dire sont les seuls marchés à avoir à la fois un haut out degree et un haut in degree, ils ont un rôle à la fois d'émetteur et de récepteur de la volaille. Pour les autres, on a souvent un haut in degree et un faible out degree ( par exemple Debre Zeit), on a alors affaire à des marchés qui jouent un rôle de réception des volailles, ou bien l'inverse comme pour Adulala, on a alors un rôle d'émission des volailles. On peut penser que ces trois types de marchés auront un rôle différent dans la propagation de maladies comme la maladie de Newcastle.

#### b. La Betweenness

Le classement des marchés selon leur betweenness pour les deux périodes a été calculé. Les résultats sont présentés dans le tableau VII.

Tableau V : classement des marchés selon la betweenness pour les deux périodes

HD Marché (valeur normalisée)	NoHD Marché (valeur normalisée)
Debre Zeit (21,847)	Debre Zeit (19,841)
Meki (15,013)	Meki (14,66)
Akaki (12,61)	Akaki (12,434)
Dire (9,722)	Dire (11,177)
<b>Dukem (6,68)</b>	<b>Ziway (7,077)</b>
<b>Ziway (5,952)</b>	Bali (5,688)
Bali (5,688)	<b>Dukem (4,233)</b>
Hidi (4,365)	Hidi (4,233)
Womber (1,764)	Womber (1,918)
Adami Tulu (0,044)	<b>Koka (1,72)</b>
Bulbula (0,044)	Adami Tulu (0,044)
Bole (0)	Bulbula (0,044)
Bakajo (0)	Bakajo (0)
<b>Koka (0)</b>	Bole (0)
Alemtena (0)	Alemtena (0)
Ejere (0)	Ejere (0)
Dekabura (0)	Dekabura (0)
Godino (0)	Godino (0)
Mojo (0)	Mojo (0)
Ardaga (0)	Ardaga (0)
Abosa (0)	Abosa (0)
Abu Sera (0)	Abu Sera (0)
Adulala (0)	Adulala (0)
Ella (0)	Ella (0)
KiltoBaja (0)	KiltoBaja (0)
Ombole (0)	Ombole (0)
Abu Sirba (0)	Abu Sirba (0)
Tadaa (0)	Tadaa (0)
Rogicha (0)	Rogicha (0)

On remarque que dans l'ensemble la betweenness des marchés ne change pas. Les quatre marchés avec la plus grande betweenness sont les mêmes entre les deux périodes : **Debre Zeit, Meki,**

**Akaki et Dire**, même si la valeur peut changer un peu d'une période à l'autre. Ce sont les marchés les plus centraux si on en considère que la betweenness.

On remarque également que la betweenness varie pour 3 marchés, ainsi que leur place dans le classement : Dukem, Ziway et Koka. On peut penser que ces marchés vont avoir une place et un rôle différent dans le réseau suivant la période. Ziway et surtout Koka ont une place plus centrale en dehors des périodes de fête, Dukem a une place plus centrale pendant les périodes de fêtes.

Si on prend en compte les deux indices utilisés, quatre marchés ont une place plus centrale dans le réseau. Ce sont, dans l'ordre, **Debre Zeit, Meki, Akaki et Dire**. Ces marchés semblent donc les plus à risque pour la diffusion de maladies.

### c. Les flux

On cherche à savoir si un lien (un flux) a une variation inhabituelle, différente des autres, entre les deux périodes. Pour cela on compare chaque flux entre chaque paire de nœuds 2 à 2. Les détails sont présentés en annexe 5. Seules les variations importantes sont présentées dans le tableau VIII. On a comparé les flux normalisés pour s'affranchir des changements liés uniquement au changement de période.

Tableau VI : variations notables dans les flux entre les périodes HD et NoHD

Mouvement	Valeur normalisée HD	Valeur normalisée NoHD	Variation HD -> NoHD
Ejere DebreZeit	0.179699248	0.208835341	Augmente
Koka DebreZeit	0.045112782	0.064257028	Augmente
Mojo DebreZeit	0.030075188	0	Disparait
Ardaga DebreZeit	0.011278195	0	Disparait
Meki DebreZeit	0.812030075	1	Augmente
Dukem Dire	0.00112782	0	Disparait
Adulala Dire	0.067669173	0.076305221	Augmente
Bakajo Dukem	0.088721805	0	Disparait
AbuSera Dukem	0.014661654	0	Disparait
DebreZeit Bole	0.012030075	0	Disparait
Abosa Meki	0.010150376	0	Disparait
AdamiTulu Ziway	0.048496241	0.051004016	Augmente
Ziway AdamiTulu	0.026691729	0.036947791	Augmente
Adulala Womber	0	0.008032129	Apparait

On s'attend à ce que la valeur du flux diminue ou reste stable entre les deux périodes. Ce n'est pas le cas pour toutes les liaisons : certaines disparaissent totalement ou apparaissent, elles changent donc la **structure** du réseau. D'autres augmentent, elles peuvent changer l'importance, la **position centrale** d'un marché.

### *III.1 Le réseau des flux d'animaux entre les marchés et les villages*

#### *III.1.1. Description des réseaux des villages et marchés*

##### a. Description générale des réseaux

Les deux réseaux pour les périodes de fêtes (HD) et en dehors (NoHD) possèdent 170 et 155 nœuds. Le réseau HD possède 440 liens, le réseau NoHD 321 liens. La densité est de 0,0150 pour le réseau HD et de 0,0109 pour le réseau NoHD. Les réseaux sont donc **très peu connectés**. La **structure** est différente entre les deux périodes.

Les paramètres de description sont présentés dans le tableau IX.

Tableau VII : Paramètres de description des réseaux des marchés et villages

Paramètre	HD	NoHD
Taille	170	155
Nombre de liens	440	321
Densité	0,0150	0,0109
Valeur maximum de flux	8667 poulets / an	22410 poulets / an
Type de réseau théorique approché	Scale free	Scale free

La distribution du degré total est présentée sur la figure 20. Le réseau semble se rapprocher d'un **réseau libre d'échelle**. Les précisions sur les distributions du indegree et du outdegree sont présentées en annexe 6.

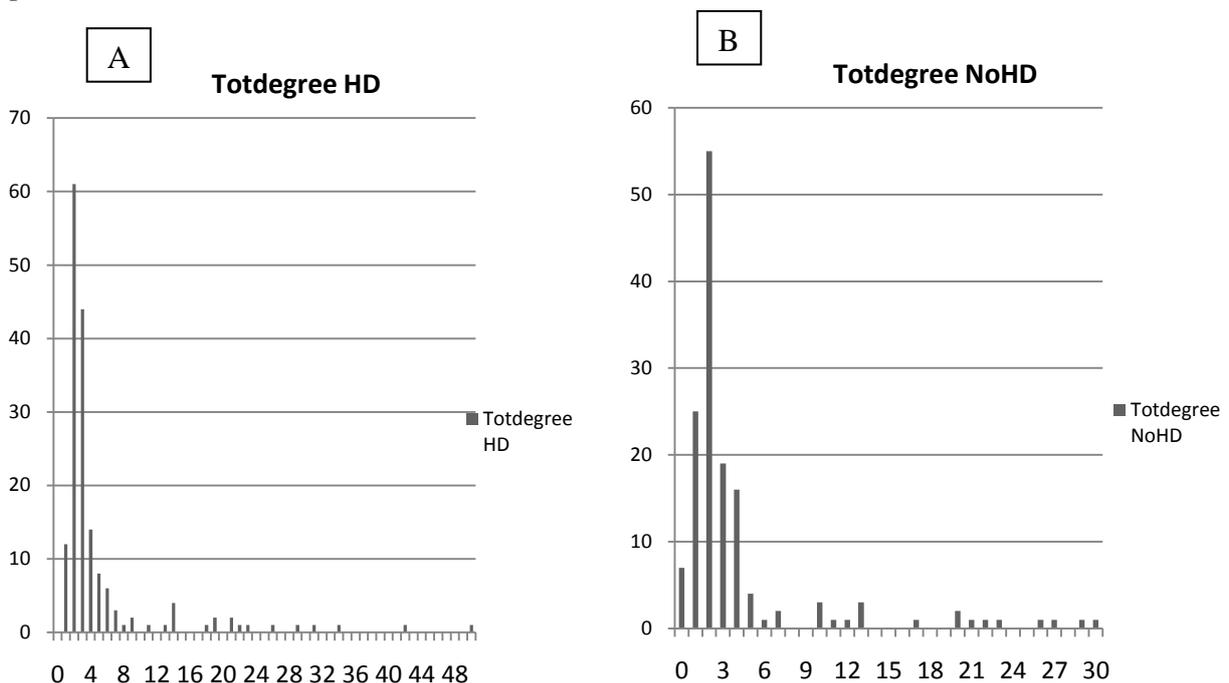


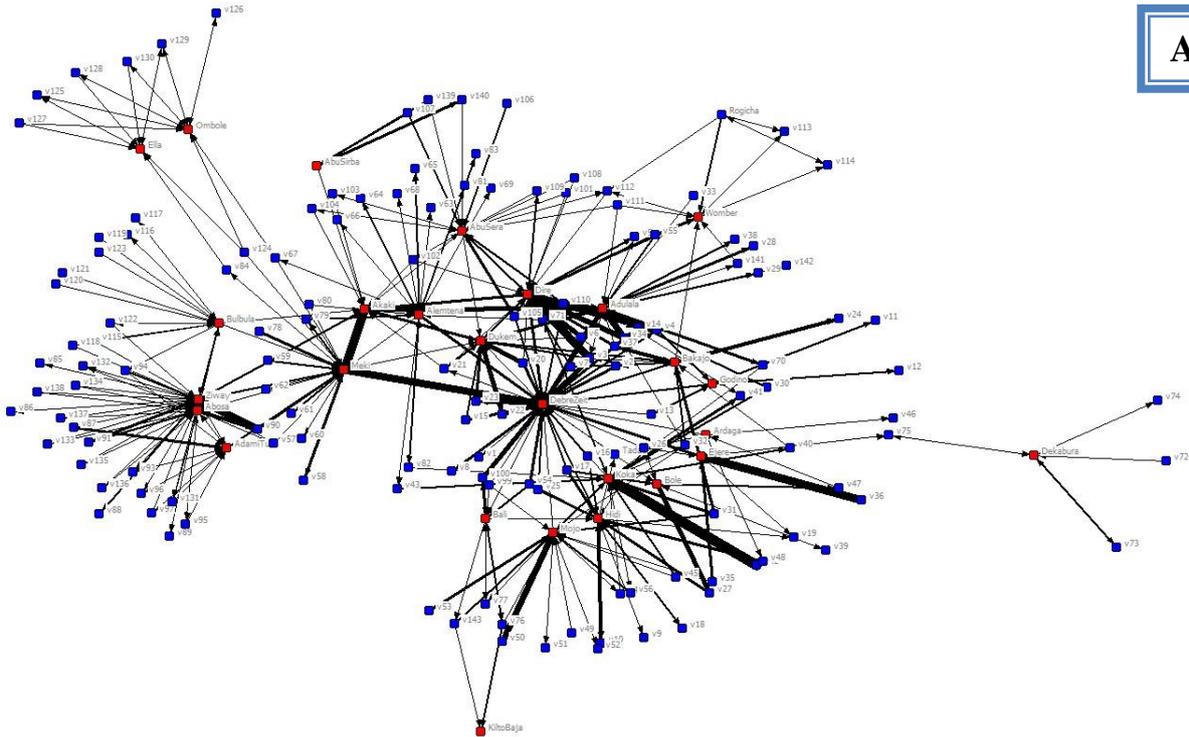
Figure 20 : Distribution du degré total pour les réseaux des villages et marchés pour le réseau HD (A) et NoHD (B)

### III.1.2. Représentations graphiques et spatiales

Les représentations graphiques sont situées sur la figure 21. Les marchés sont représentés en rouge et les villages en bleu.

Ces représentations permettent de voir plusieurs choses. Tout d'abord, la plupart des flux importants se font de marché à marché. Le rajout des villages permet de connecter des marchés qui étaient isolés au réseau principal. Il semble également que en dehors des périodes de fêtes, les villages utilisent un seul marché pour la plupart, mais plusieurs pendant les périodes de fête.

A



B

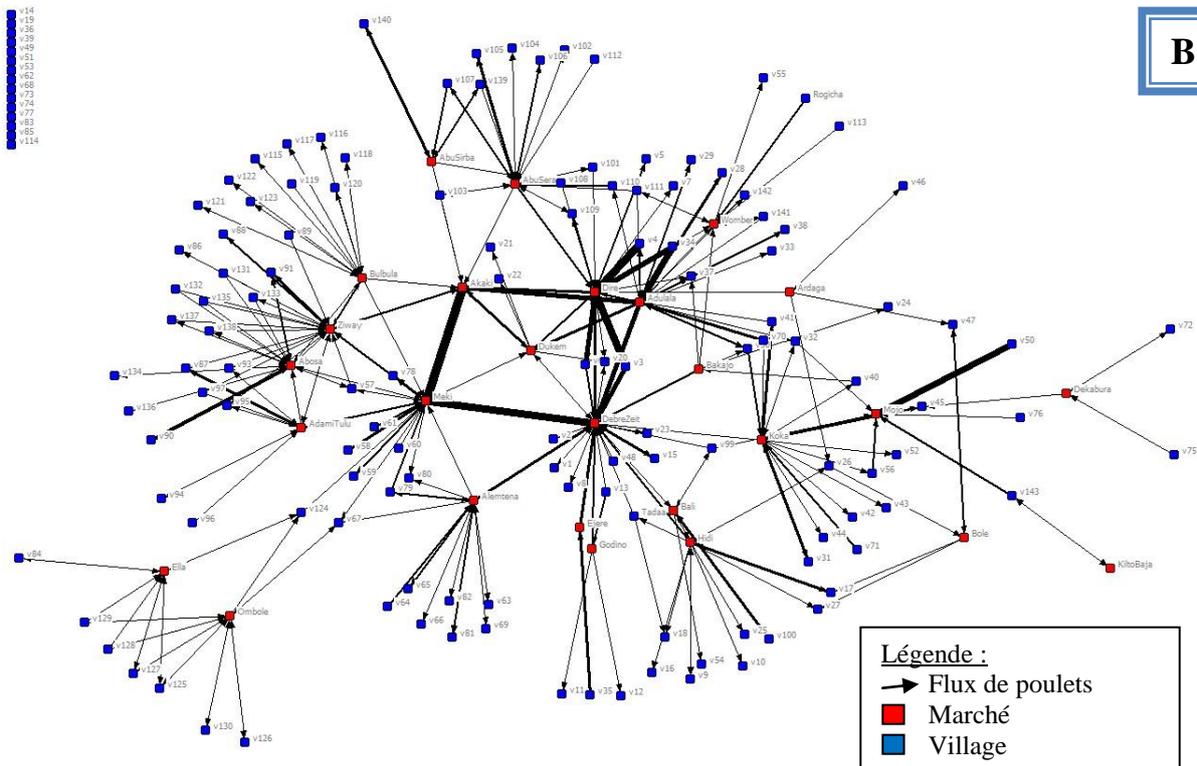


Figure 21 : Représentation graphique des réseaux des villages et marchés pour les périodes HD (A) et NoHD (B)

Les paramètres n'ont pas encore été calculés pour ces réseaux. Cette étape sera faite ultérieurement. On cherchera à répondre à plusieurs questions. Les marchés les plus centraux sont-ils toujours les mêmes ? Y a-t-il des villages avec une position centrale dont le rôle pourrait être déterminant ? Existe-il des clusters, des sous-groupes plus connectés, où la maladie se diffuserait plus vite ?

Ces questions feront l'objet d'un travail ultérieur.

### III.J. Typologie des marchés

#### a. Typologie à partir des critères descriptifs

Une typologie des marchés de la zone avait été commencée en 2007 (Olive, 2007). Elle avait été réalisée de manière qualitative. Elle est présentée en annexe 7. Certains des critères utilisés ont été repris pour réaliser une typologie par analyse factorielle (ACP) et CAH. Les critères utilisés sont : le nombre moyen de poulets sur le marché (nbchicken), le nombre total de vendeurs de tous types (nbsellers), le rapport nombre de marchands sur nombre de fermiers (T/F) et le nombre de jours de marché (nbdays).

Nous avons gardé 4 classes. Le résultat est présenté sur la figure 22.

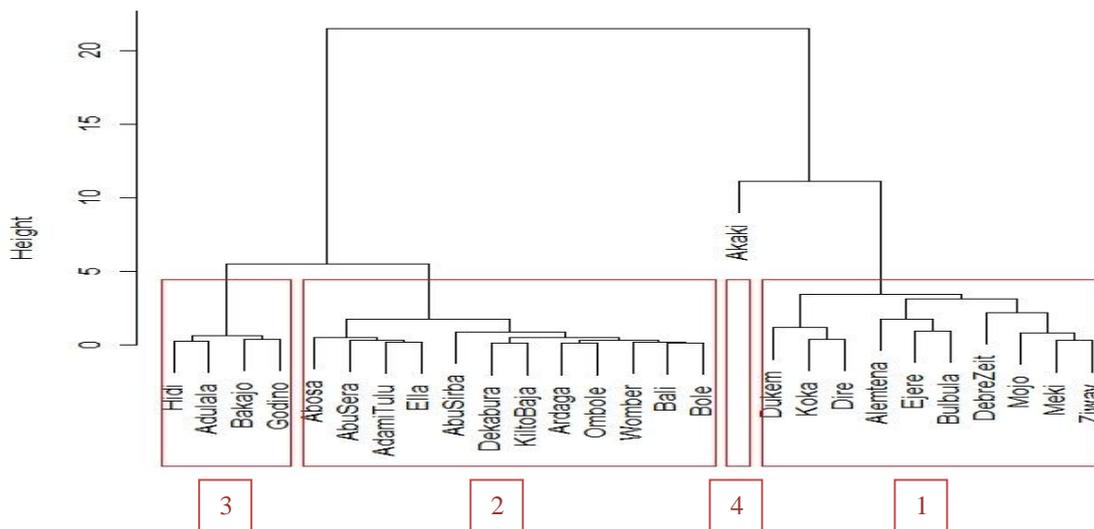


Figure 22 : Typologie des marchés selon des critères descriptifs mesurés sur le terrain

Nous avons donc la classe 4 qui correspond à ce que nous avons appelé **marché terminal**, avec un seul marché, Akaki. La classe 2 correspond aux **marchés de village**, la classe 3 aux **marchés primaires** et la classe 1 aux **marchés secondaires**.

La description des classes est présentée en annexe 8.

#### b. Typologie à partir des paramètres décrivant la place du marché dans le réseau

La typologie a été refaite à partir des paramètres calculés sur le réseau : betweenness, indegree et outdegree. Nous cherchons à voir si la typologie reste stable, et si le classement des marchés reste le même.

Nous avons encore une fois distingué les périodes de fêtes et les périodes en dehors. Les résultats sont présentés sur la figure 23.

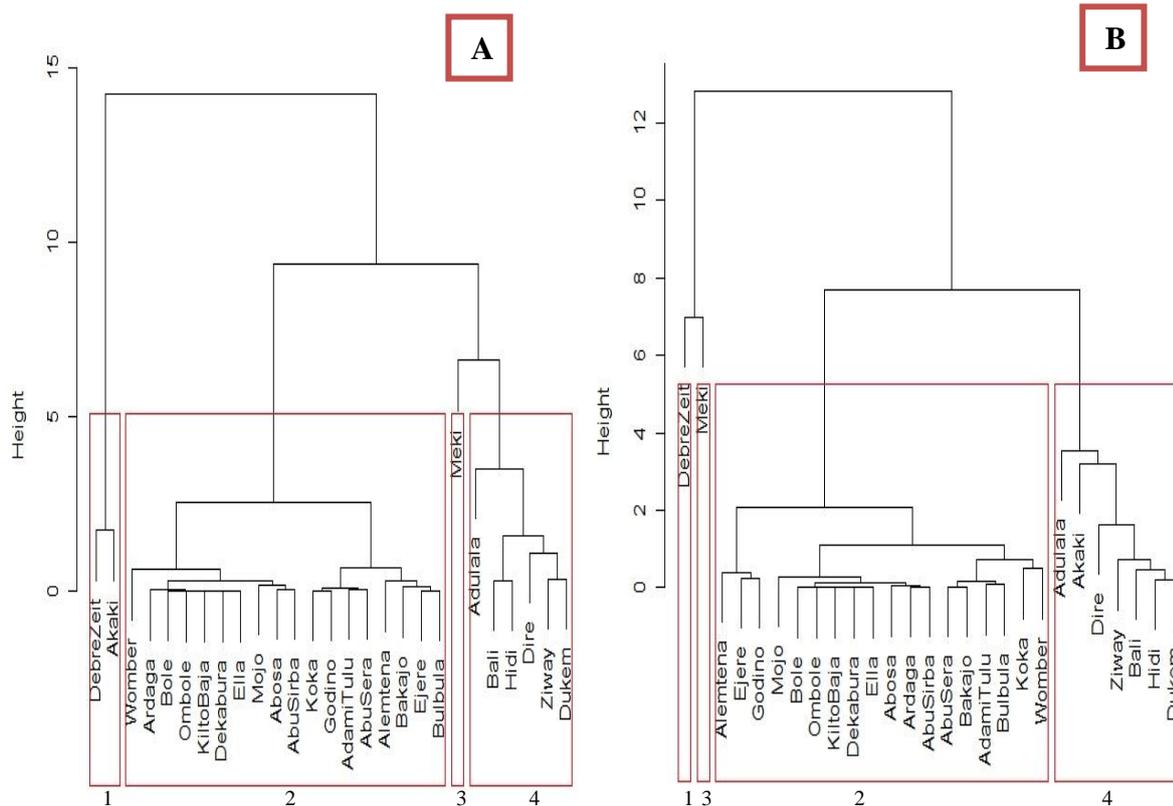


Figure 23 : Typologies des marchés selon des critères décrivant la position centrale des marchés dans le réseau, en période de fêtes (A) et hors période de fêtes (B)

On peut déjà remarquer que la composition des classes diffère beaucoup selon les critères utilisés. Le classement d’un marché dans la typologie en fonction des critères descriptifs ne permet pas d’estimer sa position dans la typologie selon les paramètres du réseau, et donc d’avoir une idée de la position centrale ou non de ce marché. On voit donc que les marchés les plus centraux ne sont pas forcément ceux où se trouvent le plus grand nombre de poulets ou le plus grands nombre de marchands (c’est également le cas pour la relation inverse, ce n’est pas parce qu’un marché a une position plus « centrale » qu’il sera plus fréquenté).

Les différents paramètres des classes sont présentés dans le tableau VIII.

Tableau VIII : Description des classes des typologies des marchés en période de fêtes et hors des périodes de fêtes

	HD				NoHD			
	1	2	3	4	1	2	3	4
<b>Betweenness</b>	17.23	0.10	15.01	5.40	19.84	0.21	14.66	6.41
<b>Indegree</b>	2.11	0.02	0.27	0.13	2.25	0.01	0.11	0.18
<b>Outdegree</b>	0.03	0.08	1.89	0.34	0.01	0.06	1.50	0.17
<b>nbchicken</b>	700	275.83	800	595	500	275.83	800	638.57
<b>nbsellers</b>	57.5	53.89	120	65.33	80	53.89	120	61
<b>T/F</b>	1.55	0.05	0.2	0.13	0.6	0.05	0.2	0.47
<b>nbdays</b>	5	1.17	2	1.17	3	1.17	2	2

On remarque également que la composition des classes diffère aussi selon la période de l'année. On met donc une nouvelle fois en évidence les changements dans la position centrale de certains marchés entre les deux périodes. Par ailleurs, cette classification a été réalisée par analyse factorielle, donc en prenant en compte tous les paramètres de centralité calculés. On retrouve les marchés qui avaient déjà été identifiés lors de l'analyse individuelle de ces paramètres : **Debre Zeit, Meki, Akaki et Dire**. **Meki** semble ressortir de ce groupe, il a à la fois une forte betweenness, un fort indegree et un fort out degree, contrairement à des marchés comme Debre Zeit qui a un très fort indegree mais un faible outdegree. Meki est donc un marché de transit important, où beaucoup de poulets transitent. Si on devait cibler la surveillance sur un marché, ce serait sur celui-là. On voit qu'on peut leur ajouter également **Ziway, Dukem, Hidi et Adulala**, dont la position centrale semble proche.

On a vu que la position centrale d'un marché ne peut pas être estimée par les seuls paramètres descriptifs, sans passer par le réseau. La typologie nous permet en plus d'identifier des marchés dont la centralité est mise en évidence par le classement dans une même catégorie que des marchés déjà identifiés précédemment. C'est le cas de Bali. Son cas sera développé dans la partie discussion.

## IV Discussion

Comme pour tous les travaux basés sur des enquêtes de terrain, cette méthode de récolte des données est à l'origine de nombreux biais qu'il est important de préciser.

Tout d'abord le questionnaire n'était pas forcément adapté. La séparation entre les deux périodes comparées dans l'étude n'était pas prévue a priori, elle s'est dégagée des réponses reçues, mais on peut imaginer qu'en orientant les questions on aurait des réponses différentes.

Les interviews en elles-mêmes, avec le problème de traduction voire double traduction, sont également à l'origine de biais et d'imprécisions. Les traducteurs avaient parfois tendance à répondre à la place des éleveurs, lorsque la réponse leur paraissait évidente ou pour gagner du temps. Ils avaient également tendance à modifier un peu les réponses pour qu'elles correspondent à ce qu'ils pensaient être les attentes de l'étude. De plus, le changement de traducteurs chaque mois a entraîné un biais dans certaines réponses et une différence trop grande de traducteur à traducteur, rendant certaines réponses impossibles à interpréter. C'est le cas de la question sur les symptômes des maladies rencontrés, qui dépendaient plus du niveau d'anglais du traducteur et de ce qu'il connaissait de la maladie de Newcastle que des signes effectivement rencontrés.

L'accès aux éleveurs a pu être modifié par des problèmes de traduction. Par exemple, sur certains marchés à l'ouest de la zone d'étude, à la frontière avec la zone Gurage, nous rencontrions des fermiers qui ne parlaient ni oromifa ni amharique, et dont l'interview était impossible. De plus, suivant la manière que le traducteur avait d'aborder les gens, il arrivait que certaines personnes refusent de répondre, ou cachent leurs animaux.

Ainsi l'idéal pour refaire une étude de ce genre serait de la faire faire par quelqu'un de la région, qui parle les langues des éleveurs et peut plus facilement convaincre les gens de l'intérêt de l'étude.

La zone d'étude a été agrandie par rapport à l'objectif initial, et le marché d'Akaki notamment a été inclus. La pertinence de la présence de ce marché a été discutée, de par son statut de marché urbain dont les principaux acheteurs sont les consommateurs, et qui se rapproche par là des grands marchés d'Addis. Il a cependant été décidé de le conserver car il est très lié aux autres marchés de la zone dans lesquels les marchands fixes d'Akaki se fournissent, et les éleveurs de la woreda viennent également vendre des animaux.

L'échantillonnage a également été parfois limité par l'accessibilité des villages, surtout en saison des pluies. Il a pu en être de même pour les marchés, dont l'accès a parfois été compliqué, jusqu'à un des marchés de village dont l'accession s'est faite en bateau. De ce fait, et à cause des deux semaines de retard prises sur le programme, deux marchés n'ont pas pu être visités. Sans cela, nous aurions eu tous les marchés du réseau. Cependant, selon les données officielles (bureaux de l'agriculture des woredas, communication personnelle, il se trouverait d'autres marchés dans la zone d'étude qui ne seraient pas connectés au réseau. Il aurait été intéressant de pouvoir avoir les coordonnées GPS de ces marchés pour les situer géographiquement par rapport au réseau, afin de voir si ils sont situés en périphérie et feraient donc partie d'un autre réseau, ou bien à l'intérieur et dans ce cas leur non inclusion dans le réseau serait liée à un problème d'échantillonnage. Ceci a été rendu impossible par des démarches administratives trop compliquées.

Ainsi les conditions de terrain ont pu entraîner des biais important et des problèmes de

données non fiables ou incomplètes, et il est important d'en avoir conscience.

Le plan d'échantillonnage dans cette étude peut également être discuté. La sélection des marchés et villages a été réalisée par un échantillonnage snowball, qui est l'échantillonnage reconnu comme optimum pour la construction des réseaux. Dans les marchés, nous avons essayé de travailler à partir de la population totale des vendeurs et non pas à partir d'un échantillon. Mais dans les villages, il était impossible d'interroger tous les ménages. Il a donc été décidé de n'interroger que deux élevages au hasard dans le village. Ce nombre a été décidé en partant de l'hypothèse selon laquelle la variabilité intra villages est beaucoup plus faible que la variabilité inter villages, et qu'il est donc plus intéressant de faire beaucoup de villages que beaucoup d'élevages dans peu de villages. Cependant on peut se demander si le niveau de précision obtenu lorsque l'on rapporte les valeurs obtenues dans l'échantillon à la population totale est suffisant. Si on met en commun les interviews d'éleveurs sur les marchés et dans les villages, on obtient une moyenne de 4 interviews par village. Ce nombre peut être suffisant pour les petits villages, mais pas pour les plus larges.

De plus, l'échelle « village » n'existe pas officiellement en Ethiopie. Il a donc parfois été difficile d'identifier et de définir un village, notamment autour de Ziway. Le schéma de distribution des habitations est assez dispersé. La définition retenue pour les villages était la définition des fermiers eux-mêmes, en excluant les maisons qui semblaient avoir un statut différent du point de vue épidémiologique, dont les poulets ne pouvaient pas se mêler aux autres poulets du village car trop loin par exemple. Pour ces mêmes raisons il a pu être parfois difficile d'identifier les limites du village et donc difficile de prendre une maison au hasard, d'autant plus que d'autres contraintes comme la possession de volailles ou la présence de la personne en charge des poulets s'ajoutaient. Nous avons donc pu perdre un peu de représentativité dans l'échantillonnage à cause de ces problèmes.

Les mouvements de village à village qui correspondent soit à du commerce entre voisins soit à des dons le plus souvent dans une famille, n'ont pas pu être décrits en détails car non prévus au départ dans le questionnaire. Nous avons vu que les achats et ventes aux voisins représentaient 16 % des achats et 10% des ventes respectivement (en nombre de transaction), ce qui n'est pas négligeable. Cependant il semblerait que ce commerce entre voisins concerne principalement des fermiers du même village (non estimé). Les dons peuvent concerner des villages plus éloignés mais ils sont ponctuels et n'ont pas lieu tous les ans. On peut donc penser que leur quantité par an peut être négligée. Tout ceci reste cependant à confirmer avec un questionnaire adapté.

Certaines des réponses pourraient être complétées par des méthodes participatives. C'est le cas des questions sur la quarantaine par exemple, pour laquelle la proportion de fermiers respectant une quarantaine est probablement surestimée, car ils ont tendance à vouloir « bien répondre ». C'est également le cas pour la raison des ventes. Sans une approche spécifique, peu de fermiers vont avouer vendre plus d'animaux en période de maladie.

Pour le réseau des marchés seuls, une hypothèse de travail importante a été faite : nous travaillons sur une population totale. Nous estimons avoir interrogé tous les marchands travaillant dans la zone d'étude. La méthode employée sur le terrain d'interview systématique dans les marchés, puis recherche active des marchands en fin de marché nous permet de l'affirmer. Ce ne sera pas le cas pour l'analyse du réseau des marchés et villages qui sera réalisée dans un deuxième temps. C'est cette hypothèse qui nous a permis de tirer des

conclusions directement des résultats obtenus, par simple comparaison entre les deux périodes. Cette comparaison a également été permise par le fait que les données des deux périodes ont été obtenues à partir des mêmes personnes, et que donc les erreurs d'estimation faites lors de la récupération des données sont les mêmes entre les deux périodes.

On peut également se poser la question de la pertinence des paramètres retenus pour l'analyse du réseau. La centralité semble être le paramètre le plus important lorsqu'on s'intéresse aux mouvements d'animaux, elle permet de repérer des « plaques tournantes » de commerce, des passages quasi-obligatoires pour les animaux. Ce sont d'ailleurs les paramètres les plus utilisés dans les études d'épidémiologie vétérinaire, et Christley et al. (2005) ont montré leur intérêt pour déterminer le risque de contamination des lieux lors de foyers.

Les résultats obtenus avec ces paramètres concordent avec ce qui a été observé sur le terrain, les marchés les plus centraux sont souvent les plus grands, avec une activité des marchands importante, pour l'achat comme pour la vente. Mais ce n'est pas toujours le cas, comme le montre l'exemple de Bali. Ce marché est très petit, une vingtaine de volailles en moyenne par semaine y sont amenées. Mais un marchand y travaille régulièrement. Ce marchand achète les poulets et essaie de les revendre sur place le jour même. Ensuite, il va emmener les invendus le lendemain dans un autre marché. Il travaille de cette manière dans plusieurs marchés, et vient donc régulièrement à Bali avec des invendus d'un autre marché. En faisant ceci, il « crée » des liens dans le réseau, depuis et vers Bali. Même si ces liens sont attribués d'une faible valeur due à un faible flux d'animaux, ils peuvent créer des « court-circuit » dans le réseau et ainsi se trouver sur le chemin entre de nombreux autres marchés. Il serait donc intéressant de reconstruire un réseau en simulant ce qui se passerait si on supprimait les mouvements du à ce marchand.

La saison d'étude comprenait une période de fête (Pâques) et une période hors fêtes. La saison d'étude peut influencer l'échantillonnage, suivant la fréquentation des marchés par les villageois. En revanche comme nous avons utilisé les données moyennes sur l'année, cela n'a pas d'importance sur les données. Il pourrait être intéressant de refaire la même étude à une autre période, pour voir les changements dans le réseau et donc l'influence de la saison.

Il pourrait également être intéressant de refaire la même étude sur une autre zone qui chevaucherait en partie celle-ci, afin d'agrandir notre réseau d'étude. En effet, si on connaît les caractéristiques d'une région et le type de réseau étudié (scale free dans le cas de notre étude), il est éventuellement possible de modéliser le reste du réseau sur une zone géographique beaucoup plus large. Cela pourrait être un outil intéressant pour les stratégies de surveillance à l'échelle du pays. Si on parvient à étendre le type de réseau déterminé on pourra alors classer les marchés et identifier les marchés à risque sans avoir besoin de refaire une étude.

Cette technique est donc très intéressante, mais son application a des limites surtout dans les pays en développement. En effet, dans ce cas la construction du réseau demande toujours des enquêtes préalables, ce qui représente un travail très lourd et une imprécision des données récoltées. Le plus souvent les pays développés n'ont pas ce problème (par exemple Ortiz Pelaez, 2006) grâce à l'enregistrement des mouvements d'animaux. Le SNA devient alors un très bon outil.

La maladie prise en exemple ici est la maladie de Newcastle, mais les résultats sont utilisables pour beaucoup d'autres maladies aviaires très contagieuses qui se transmettent par contact direct et indirect. Nous pouvons donc notamment appliquer ces résultats à la simulation d'une épidémie potentielle d'influenza aviaire, ainsi qu'à la surveillance de l'arrivée de la maladie dans le pays, notamment par les oiseaux migrateurs qui sont nombreux dans la zone d'étude. Mais le résultat est également applicable pour la maladie de Gumboro, actuellement très présente en Ethiopie qui comptait au moment de l'étude de nombreux foyers.

L'un des intérêts du SNA est de s'en servir comme outil afin de cibler plus précisément la surveillance sur des lieux à risque. Ici nous avons identifié 4 marchés, dont 3 sont géographiquement proches : Akaki, Dire et Debre Zeit. De plus, si on excepte Dire, ils sont tous situés sur la route principale qui relie le sud du pays à la capitale. Les 4 marchés sont très faciles d'accès même en saison des pluies. Il serait donc possible techniquement de réaliser la surveillance dans ces marchés, en adaptant la fréquence et la période : il peut être plus intéressant d'augmenter la fréquence de surveillance autour des fêtes et particulièrement Pâques et le Nouvel An qui se situent autour de la période décrite comme à risque par les éleveurs. Meki est le marché qui ressort le plus de nos analyses. Si on ne devait choisir qu'un marché pour cibler la surveillance (pour manque de moyens par exemple) ce serait Meki.

Nos résultats nous conduisent à l'identification de marchés centraux, sur lesquels la surveillance pourrait être ciblée, plutôt que sur toute la zone d'étude. Mais comment la mettre en œuvre concrètement ? En effet, dans des zones rurales de pays en voie de développement il est souvent difficile de réaliser des prélèvements, et surtout des prélèvements de sang. Il est même parfois nécessaire d'acheter l'animal. Des approches sociologiques seront alors nécessaires pour nous aider, ou bien l'emploi de personnes connues des éleveurs.

En plus de la surveillance, nous pouvons estimer l'efficacité des mesures de contrôle des épidémies grâce au réseau. En effet il est possible de simuler l'effet sur la diffusion de la maladie de la fermeture d'un marché suite à la découverte d'un foyer dans un village par exemple. On cherche à vérifier si la taille et la vitesse de l'épidémie seront réduites, en couplant le SNA avec d'autres types de modélisation comme les modèles de type SEIR (Susceptible Exposed Infected Recovered) (Christley, 2005), si la fermeture d'un seul marché est suffisante ou s'il est nécessaire d'en fermer un deuxième. Cependant ce n'est qu'un modèle, et on ne peut pas prévoir exactement à partir du comportement « normal » des éleveurs ce qui se passerait en cas d'épidémie, et face aux mesures de contrôles. Les éleveurs pourraient alors décider d'utiliser un autre marché, qu'ils ne fréquentaient pas jusqu'alors, surtout en période de fêtes quand le besoin d'argent est plus grand. Il y aurait alors une réelle modification du réseau, qui est très difficile à prévoir. D'autres approches comme la sociologie permettraient d'avoir une idée de l'acceptabilité des mesures de contrôle. Il est donc important de se souvenir que le SNA n'est qu'un outil pour cibler la surveillance et les mesures de contrôle, mais n'est pas suffisant en lui-même dans la pratique.

Enfin le couplage à d'autres techniques comme les modèles SEIR ou la biologie moléculaire, ou bien en utilisant des mesures de prévalence et la date des foyers au niveau des nœuds du réseau peuvent être utiles en recherche pour en savoir plus sur l'épidémiologie de la maladie étudiée, ses caractéristiques, sa vitesse de diffusion dans un milieu donné... et permettrait d'anticiper encore plus les épidémies à venir.

# Conclusion

---

Grâce à cette étude, les pratiques commerciales des éleveurs et des fermiers ont pu être décrites, en termes de pratiques d'achat, pratiques de vente, utilisation des marchés, quarantaine ou transport des animaux.

Le réseau des flux de volailles entre marchés, dus à l'activité des marchands a été construit et analysé grâce à des paramètres de centralité. La comparaison a pu être établie entre les périodes de fête et les périodes hors fêtes. Les périodes de fêtes semblent être des périodes à risque car les flux de volailles dans tout le réseau augmentent considérablement. On observe peu de changements dans la structure du réseau, mais quelques marchés voient leur place dans le réseau changer : c'est le cas de Dukem dont la centralité augmente pendant les fêtes et Koka dont la centralité diminue. Une typologie des marchés a été créée à partir des paramètres calculés. On a ainsi pu mettre en évidence le rôle central de Meki comme lieu de transit important de volailles. Si on utilise tous les résultats obtenus dans cette étude, il ressort que Debre Zeit, Akaki et Dire ressortent également comme plaques tournantes et lieux prioritaires dans le cadre d'un programme de surveillance des maladies contagieuses aviaires.

Le réseau des flux de volailles de marchés à marchés et de marchés à villages, dus à l'activité des marchands et des fermiers a également été construit et décrit succinctement, mais l'analyse sera réalisée ultérieurement.

Ainsi cette étape se place dans la continuité de ce qui a été réalisé depuis deux ans dans le cadre du projet GRIPAVI. Elle constitue un début de modélisation, qui sera complété. Il est déjà possible d'utiliser ces données dans le cadre de la création d'un plan de surveillance des maladies aviaires contagieuses. Les étapes ultérieures devraient pouvoir préciser la manière, en couplant les réseaux avec des modèles SEIR pour mieux comprendre la diffusion des maladies, en simulant la fermeture d'un marché par le retrait d'un nœud du réseau, ce qui permettra d'évaluer l'efficacité des mesures de contrôle, ou en extrapolant nos résultats à d'autres zones d'Ethiopie et à d'autres périodes de l'année.

# Bibliographie

---

ABEBE W. (2006) *Poultry Biosecurity Study in Ethiopia*, Consultancy Report FAO, Addis Ababa, 42p

ASHENAFI H., *Survey on Identification of Major Diseases of Local Chickens in Three Selected Agro-Climatic Zones in Central Ethiopia*, Thèse doct. Vét., Faculty of Veterinary Medicine, Addis Ababa University, Debre Zeit, Ethiopia, 2000

AWA D.DN., NGO TAMA A.C., NJOYA A., JUMBO S.D., MEFOMDJO P. (2009), The potential role of an inactivated thermostable vaccine in the control of Newcastle disease in traditionally free-roaming poultry in Central and West Africa, *Trop Anim Health Prod* (2009) **41**:285–290

AWAN M.A., OTTE M.J., JAMES A.D. (1994), The epidemiology of Newcastle Disease in rural poultry: A review, *Avian pathology*, **23**:3, 405-423

BIGRAS-POULIN M., THOMPSON R.A., CHRIEL M., MORTENSEN S., GREINER M. (2006), Network analysis of Danish cattle industry trade patterns as an evaluation of risk potential for disease spread, *Preventive Veterinary Medicine*, **76**, 11-39

Center for Food Security and Public Health, 2008, *Newcastle disease*, [en ligne], mise à jour le 14/07/2008, Iowa State University  
[[http://www.cfsph.iastate.edu/Factsheets/pdfs/newcastle\\_disease.pdf](http://www.cfsph.iastate.edu/Factsheets/pdfs/newcastle_disease.pdf) ]

CHRISTLEY R.M., PINCHBECK G.L., BOWERS R.G., CLANCY D., FRENCH N.P., BENNETT R., TURNER J. (2005), Infection in social network : using network analysis to identify high-risk individuals, *American Journal of Epidemiology*, 162(10), 1024-1031

CLARET VIROS E. (2008), *Modélisation du risque d'introduction des pestes aviaires (influenza aviaire hautement pathogène et maladie de Newcastle) par la distribution gouvernementale de volaille importée en Ethiopie*, rapport de stage, Certificat d'Etudes Approfondies Vétérinaires (CEAV) Pathologies Animales en Régions Chaudes, Cirad / ENVT, 77p

CSA (2006), Agricultural Sample Survey (2006-2007) Volume II, Report on Livestock and Livestock characteristics, Statistical Bulletin, 2

FAO, 1998, *Village chicken production systems in rural Africa ; Household food security and gender issues*. FAO Animal Production and Health Paper, No 142, Rome.

FAO (2009), *FAO in Ethiopia 2009*, brochure d'information, 8p, Addis Ababa

GANIERE J-P. et al. : *Maladies réputées contagieuses et maladies à déclaration obligatoire des oiseaux et des lagomorphes*, Polycopié des Unités de maladies contagieuses des Ecoles vétérinaires françaises, Merial (Lyon), 2008, 67 p.

GOUTARD F., SOARES MAGALHAES R., 2006. *Risk and consequence assessment of HPAI introduction in Ethiopia*. Rapport FAO, 72p

IZQUIERDO L.R., HANNEMAN R.A. (2006), *Introduction to the formal analysis to social networks using Mathematica*, [on line] University of California,  
[[http://faculty.ucr.edu/~hanneman/mathematica\\_networks.pdf](http://faculty.ucr.edu/~hanneman/mathematica_networks.pdf) ]

KAO R.R., DANON L., GREEN D.M., KISS I.ZI (2006), Demographic structure and pathogen dynamics on the network of livestock movements in Great Britain, *Proc. R. Soc. B*, **273**, 1999-2007

KINGSTON, D.J. and DHARSANA, R. (1979). Newcastle disease virus infection in Indonesian ducks, *Philippines J. Vet. Med.*, **18**, 125-130. cité par : SPRADBROW P.B. (2000). – Epidemiology of Newcastle disease and the economics of its control. In *Proc. Workshop on Poultry as a tool in poverty eradication and promotion of gender equality* (F. Dolberg & P.H. Petersen, édité.). Tune, Danemark, 165-173.

NASSER M., 1998, *Oral Newcastle Disease Vaccination Trial and Studies of NCD in Ethiopia*, Master of Science in Tropical Veterinary Epidemiology Thesis, Freie universitat Berlin, Allemagne / Addis Ababa University, Ethiopie

NASSER M., LOHR J.E., MEBRATU G. Y., ZESSIN K. H., BAUMANN P.O., ADEME Z., (2000) Oral Newcastle disease vaccination trials in Ethiopia, *Avian Pathology* **29**, 27– 34

NGUYEN T.D., 1992. Poultry production and Newcastle disease in Vietnam. In: P.B. Spradbrow (ed.), Newcastle Disease in Village Chickens, Control with Oral Thermostable Vaccines, (*Proceedings No. 39; Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR), Canberra*), 171–173, cité par AWAN M.A., OTTE M.J., JAMES A.D. (1994), The epidemiology of Newcastle Disease in rural poultry : A review, *Avian pathology*, **23:3**, 405-423

NGUYEN D.C., UYEKI T.M., JADHAO S., MAINES T., SHAW M., MATSUOKA Y., SMITH C. ROWE T., LU X., HALL H., XU X. BALISH A., KLIMOV A., TUMPEY T.M., SWAYNE D.E., HUYNH L.P.T., NGHIEM H. K., NGUYEN H.H.T., HOANG L.T., COX N.J., KATZ J.M.(2005), Isolation and characterization of avian influenza viruses, including highly pathogenic H5N1, from poultry in live bird markets in Hanoi, Vietnam, in 2001, *Journal of Virology* **79:7**, 4201-4212

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 2ème année, Biologie Geosciences Agrossources et Environnement (BGAE) Spécialité Productions Animales en Régions Chaudes, Montpellier, France, Cirad / Université Montpellier II 58p.

Organisation Mondiale de la Santé Animale OIE, Animal Diseases Data, Newcastle Disease [en ligne] mise à jour le 22/04/2002, [[http://www.oie.int/Eng/maladies/fiches/a\\_A160.htm](http://www.oie.int/Eng/maladies/fiches/a_A160.htm)]

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) ]

ORTIZ-PELAEZ A., PFEIFFER D.U., SOARES-MAGALHAES R.J., GUITIAN F.J. (2006), Use of social network analysis to characterize the pattern of animal movements in the initial phases of the 2001 foot and mouth disease (FMD) epidemic in UK, *Preventive Veterinary Medicine*, **76**, 40-55

OTIM M.O., KABAGAMBE E.K., MUKIIBI G.M., CHRISTENSEN H., BISGAARD M. (2007) A study of risk factors associated with Newcastle disease epidemics in village free-range chickens in Uganda, *Trop Anim Health Prod* **39:27–35**

PERISSE ARS, NERY J.A.C. (2007), The relevance of social network analysis on the epidemiology and prevention of sexually transmitted diseases, *Cad. Saude Publica* **23(Sup3)** S361-S369

POUPART, DESLAURIERS, GROULX, LAPERRIERE, MAYER, PIRES, 1997, *La recherche qualitative. Enjeux épistémologiques et méthodologiques*, pp. 113-169. Première partie : Épistémologie et théorie. Montréal : Gaëtan Morin, Éditeur, 405 pp.

SPRADBROW P.B. (2000). – *Epidemiology of Newcastle disease and the economics of its control*. In Proc. Workshop on Poultry as a tool in poverty eradication and promotion of gender equality (F. Dolberg & P.H. Petersen, édit.). Tune, Danemark, 165-173.

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

TADELLE D. et OGLE B. (2001), Village poultry production systems in the central highlands of Ethiopia, *Tropical Animal Health and Production*, **33(6)**, 521-537

TADESSE S., ASHENAFI H., ASCHALEW Z. (2005) Seroprevalence Study of Newcastle Disease in Local Chickens in Central Ethiopia, *Intern J Appl Res Vet Med*, (3), 1:25-29

TU T.D., PHUC K.V., DINH N.T.K., QUOC D.N., SPRADBROW P.B. (1998) Vietnamese trials with a thermostable Newcastle disease vaccine (strain I2) in experimental and village chickens, *Preventive Veterinary Medicine* **34** 205–214

WASSERMAN S., FAUST K. (1994), *Social Network Analysis: Methods and applications*, Cambridge University Press, Cambridge.

WEBB C.R. (2006), Investigating the potential spread of infectious diseases of sheep via agricultural shows in Great Britain, *Epidemiol. Infect.*, **134**, 31-40

WESTBURY H., (2001), Newcastle Disease Virus : An evolving pathogen ? , *Avian Pathology* (2001) **30**, 5–11

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)**: 507-510

# Annexes

---

Annexe 1 : Questionnaire marchands utilisé sur le terrain.....	p. 46
Annexe 2 : Matrices d'adjacence des réseaux des marchés.....	p. 49
Annexe 3 : Carte des marchés et des villages visités.....	p. 51
Annexe 4 : Distribution du degré pour les réseaux des marchés.....	p. 52
Annexe 5 : Valeurs des flux et variation entre les deux périodes pour les réseaux des marchés.....	p. 53
Annexe 6 : Distribution du degré pour les réseaux des marchés et des villages.....	p. 54
Annexe 7 : Typologie des marchés selon Olive, 2007.....	p. 58
Annexe 8 : Description des catégories de la typologie basée sur des caractères descriptifs..	p. 59

## Annexe 1 : Questionnaire marchands utilisé sur le terrain

Date		Woreda	
Kebelle / PA		Village / Garee	
<b>CODE</b>	Country N°Market N°Interview Lettercrossing : <b>ETH</b> _____		

A. Marchand

1. Interview n°: \_\_\_\_\_

If others interviews, when and where? \_\_\_\_\_

2. Poultry Eggs B. Product purchase

1. From where did you collect/buy the products you are selling today? (With order of crossing)

Origins*	Localisation (Village, kebele, wereda)	Sellers**	Date	Name of marchand	Total collected		Frqcy ***
					Eggs	Chick	

\*Precise premise: woreda, kebele, and for road side, which road and closest village  
\* Code for place: market (M), road side (RS), Village (V), other (precise)  
\*\* Code Sellers: T marchand; F farmer  
\*\*\* 1= every day; 2=every week; 3= one to several times per month; 4= regularly throughout the year; 5=throughout the year with peaks (precise peaks periods); 6=at some specific periods (specify periods)

2. Do you buy your products from other places than cited above?  Yes  No

If yes,

Place	Sellers **	Frequency ***	Total collected	
			Chickens	Eggs

C. Product selling

1. How often do you come to this market to sell? \_\_\_\_\_
2. Is there a period of the year when you come more frequently? \_\_\_\_\_
3. Is there a period of the year when you come less frequently? \_\_\_\_\_

4. Do you sell products in other places?  Yes  No

If yes, where do you sell products?

Place*	Location (village, woreda, kebele)	Period	Frequency**	Average number	
				Eggs	Chickens

6. How many eggs did you bring to be sold today? \_\_\_\_\_  
 In average how many eggs do you bring to be sold out of Hollydays? \_\_\_\_\_  
 In average how many eggs do you bring to be sold during Hollydays? \_\_\_\_\_

7. How many chickens did you bring to be sold today? \_\_\_\_\_  
 In average how many chickens do you bring to be sold out of Hollydays? \_\_\_\_\_  
 In average how many chickens do you bring to be sold during Hollydays? \_\_\_\_\_

8. Today who did you sell chicken/eggs to?

Type of people	# people	# chicken	# eggs	If marchand, market where they will sell it

9. Do you have regular customers?  Yes  No

If yes,

Name	Farmer or marchand?	Average number of chicken sold	Average number of eggs sold

11. Where will you go if you don't sell all your products today?

---



---

*D. transport*

1. How did you bring poultry to the market?

By foot  by car/truck  cart  moped  bicycle  common carriers  others

\_\_\_\_\_

Name of marchand: \_\_\_\_\_

Comments:

Annexe 2 : Matrices d'adjacence des réseaux des marchés

```

IMPORT DL TEXT FILE
-----
Input file:          C:\Users\Emilie\Desktop\biblio_ethiopia\results\network market\centrality market\HD\flow brut HD.txt
Output datatype:    Real
Output dataset:     flow brut HD (C:\Users\Emilie\Desktop\biblio_ethiopia\results\network market\centrality market\HD\flow brut HD)

```

	Debr	Dire	Baka	Godi	Hidi	Duke	Akak	Bole	Adul	Ejer	Koka	Mojo	Arda	Meki	Alem	Bali	Deka	Ziwa	Adam	Bulb	Abos	Abus	womb	Ella	Kilt	Ombo	Abus	Tada	Rogi
DebreZeit	0	75	0	0	0	9	0	32	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Dire	560	0	0	0	0	165	510	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	
Bakajo	0	0	0	0	0	236	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	120	0	0	0	0	0	
Godino	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Hidi	230	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
Dukem	31	3	0	0	0	0	504	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Akaki	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Bole	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Adulala	1020	180	0	0	0	462	1020	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ejere	478	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Koka	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	260	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Mojo	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ardaga	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Meki	2160	0	0	0	0	80	2660	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Alemtena	700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Bali	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Dekabura	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ziway	0	0	0	0	0	289	0	0	0	0	0	0	0	312	0	0	0	0	71	2	0	0	0	0	0	0	0	0	
AdamiTulu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	165	0	0	0	129	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	
Bulbula	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	120	0	0	0	232	0	60	0	0	0	0	0	0	0	0	
Abosa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27	0	0	0	88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
AbuSera	0	160	0	0	0	39	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Womber	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ella	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
KiltoBaja	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Omboie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
AbuSirba	0	0	0	0	0	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Tadaa	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Rogicha	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200	0	0	0	0	0	

NOTE: Missing values have been automatically recoded as zeros.  
If this is not what you wanted, add the line RECODENA=NO to the header portion of your DL file and import again.

```

-----
Running time: 00:00:01
Output generated: 02 sept. 09 18:25:25
Copyright (c) 1999-2008 Analytic Technologies

```

```

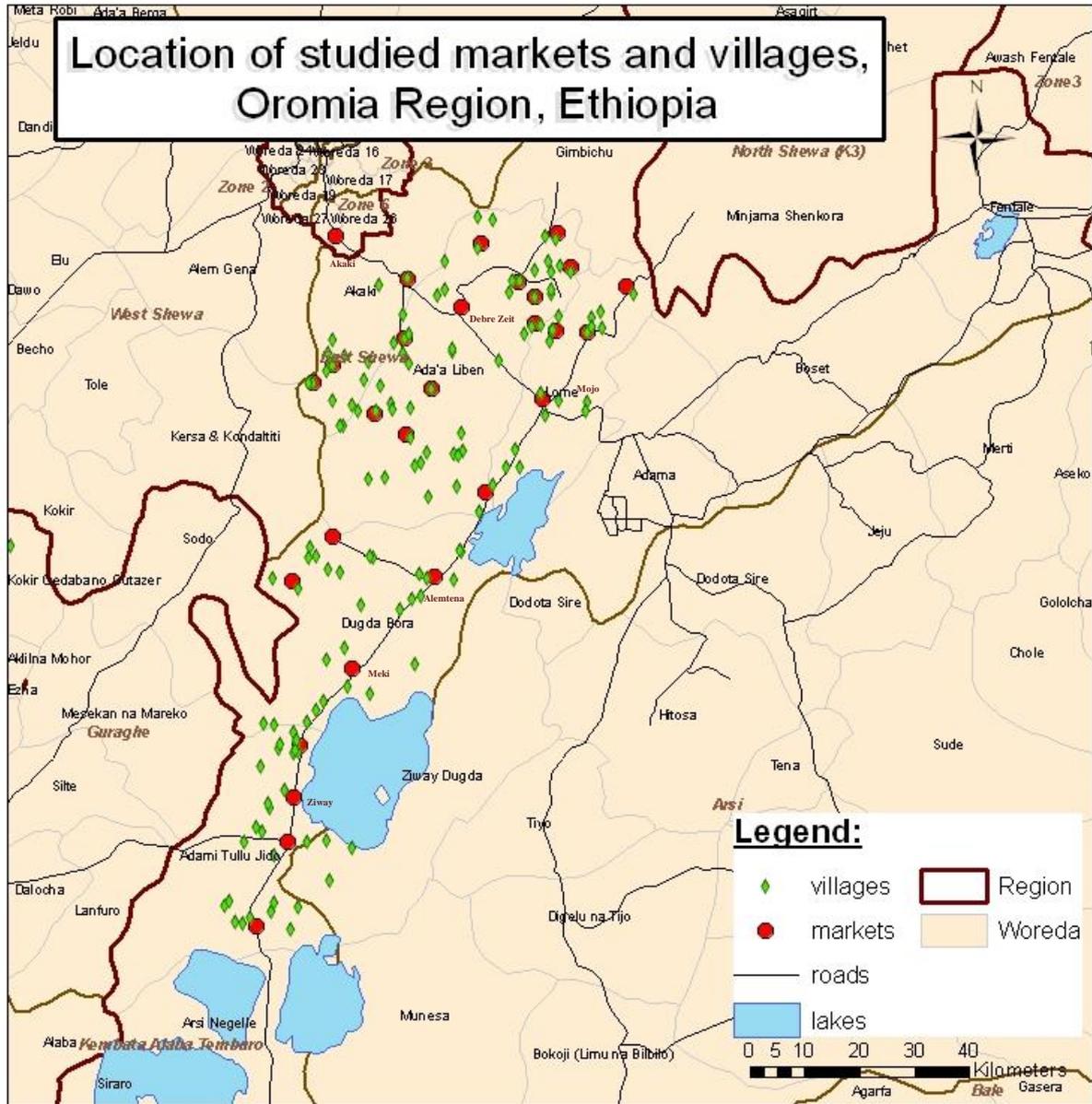
IMPORT DL TEXT FILE
-----
Input file:      C:\Users\Emilie\Desktop\biblio_ethiopia\results\network market\centrality market\NoHD\flow brut NoHD.txt
Output datatype: Real
Output dataset:  flow brut NoHD (C:\Users\Emilie\Desktop\biblio_ethiopia\results\network market\centrality market\NoHD\flow brut NoHD)
    
```

	Debr	Dire	Baka	Godi	Hidi	Duke	Akak	Bole	Adul	Ejer	Koka	Mojo	Arda	Meki	Alem	Bali	Deka	Ziwa	Adam	Bulb	Abos	AbuS	womb	Ella	Kilt	Ombo	AbuS	Tada	Rogi
DebreZeit	0	14	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dire	183	0	0	0	0	20	245	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0
Bakajo	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0
Godino	340	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hidi	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Dukem	5	0	0	0	0	0	202	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Akaki	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bole	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Adulala	940	190	0	0	0	110	420	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0
Ejere	520	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Koka	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	191	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mojo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ardaga	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meki	2490	0	0	0	0	90	1082	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Alemtena	650	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bali	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dekabura	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ziway	0	0	0	0	0	0	120	0	0	0	0	0	0	99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AdamTulu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	84	0	0	0	0	0	0	92	17	0	0	0	0	0	0	0
Bulbula	0	0	0	0	0	0	80	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	127	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0
Abosa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AbuSera	0	95	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
womber	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ella	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KiltoBaja	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ombole	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AbuSirba	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tadaa	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rogicha	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	0	0	0	0	0	0

NOTE: Missing values have been automatically recoded as zeros.  
If this is not what you wanted, add the line RECODENA=NO to the header portion of your DL file and import again.

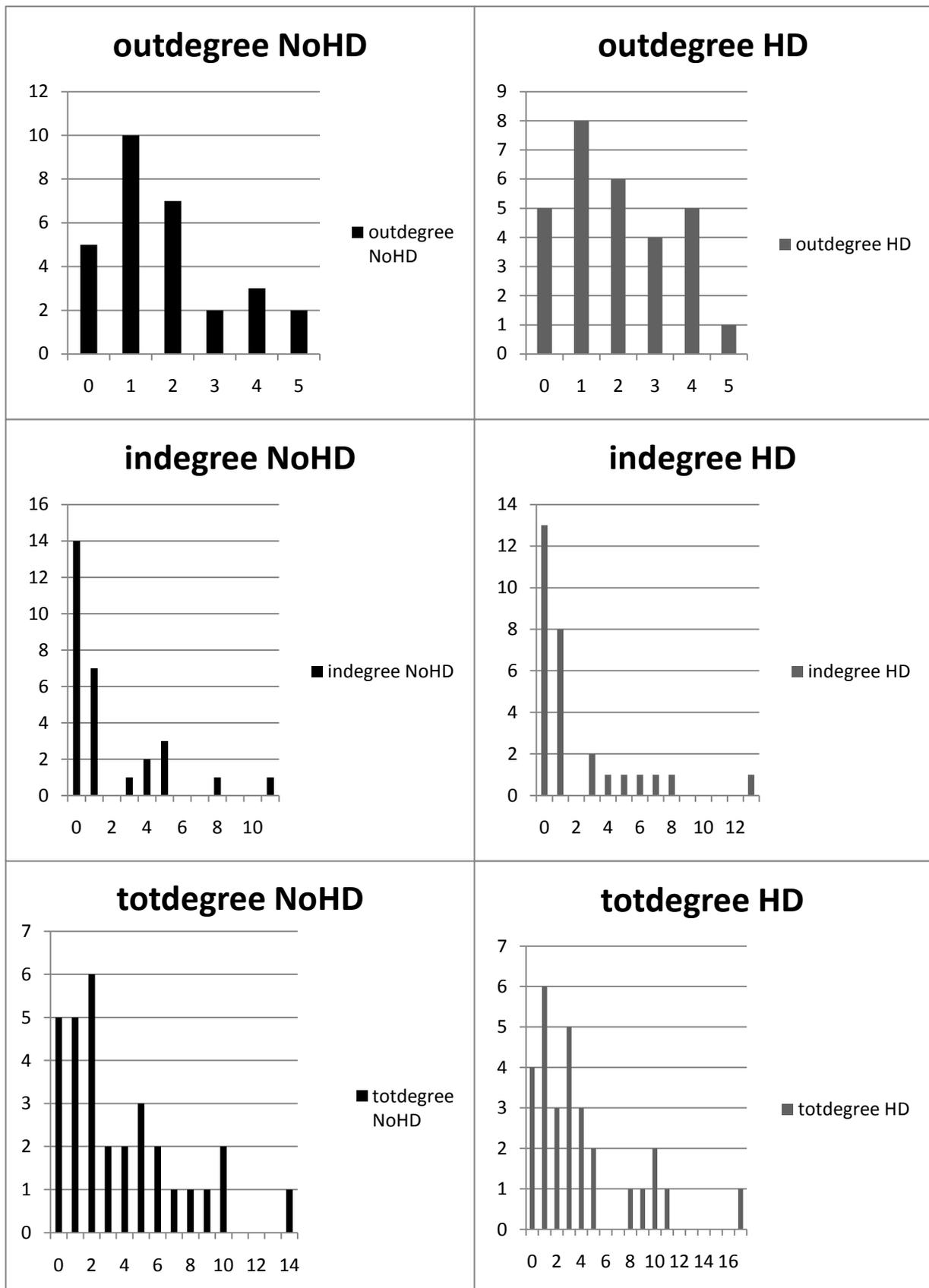
```

-----
Running time: 00:00:01
Output generated: 02 sept. 09 18:26:32
Copyright (c) 1999-2008 Analytic Technologies
    
```



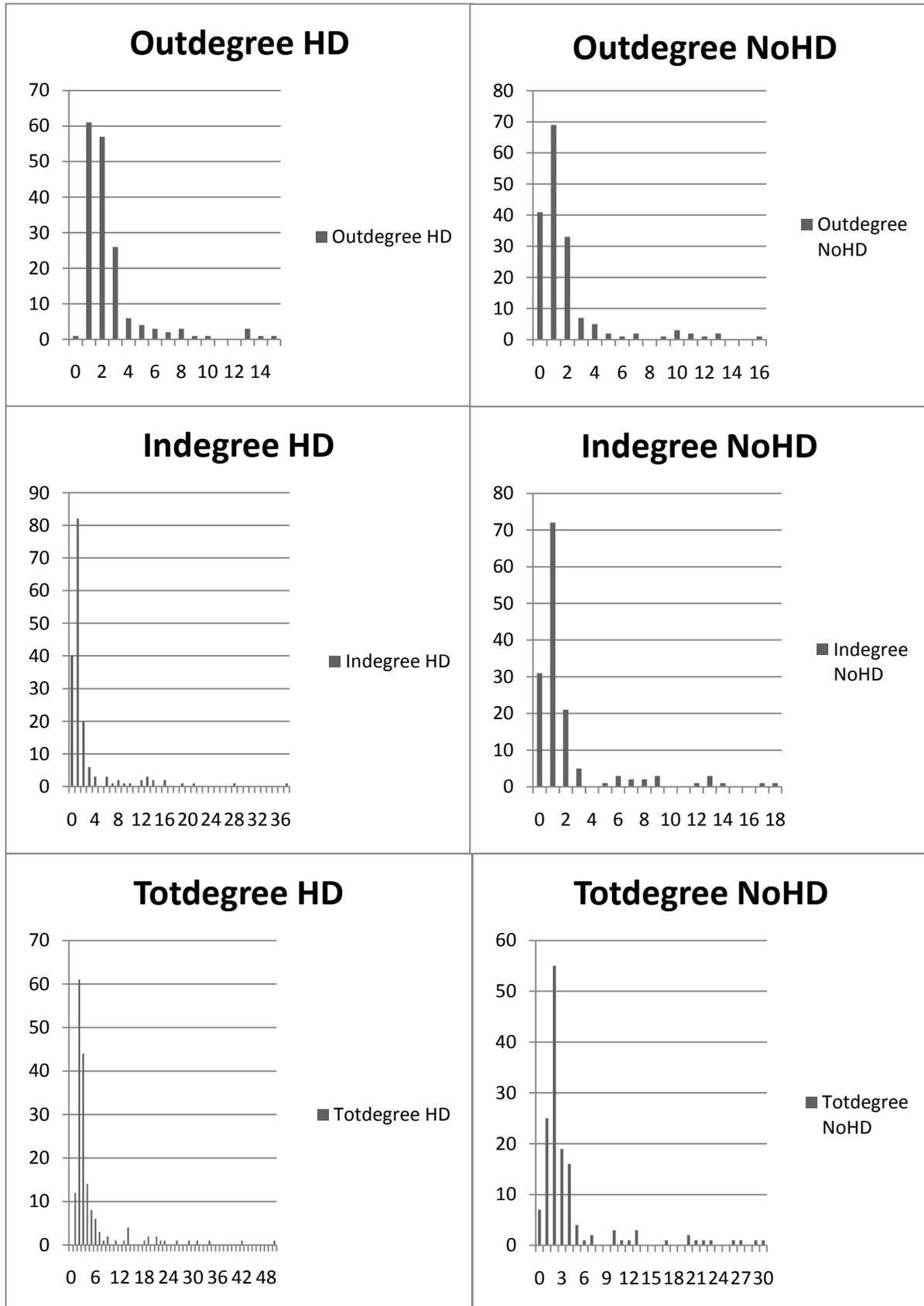
Annexe 3 : Carte des marchés et des villages visités

**Annexe 4 : Distribution du degré pour les réseaux des marchés**



Mouvement	Valeur normalisée HD	Valeur normalisée NoHD	Variation HD -> NoHD
Dire DebreZeit	0.210526316	0.073493976	Diminue
Bakajo Debrezeit	0.093233083	0.048192771	Diminue
Godino Debrezeit	0.131578947	0.136546185	Stable
Hidi DebreZeit	0.086466165	0.080321285	Stable
Dukem DebreZeit	0.011654135	0.002008032	Diminue
Adulala DebreZeit	0.383458647	0.37751004	Diminue
Ejere DebreZeit	0.179699248	0.208835341	Augmente
Koka DebreZeit	0.045112782	0.064257028	Augmente
Mojo DebreZeit	0.030075188	0	Disparait
Ardaga DebreZeit	0.011278195	0	Disparait
Meki DebreZeit	0.812030075	1	Augmente
Alemtena DebreZeit	0.263157895	0.261044177	Stable
Tadaa DebreZeit	0.00075188	0.000401606	Stable
DebreZeit Dire	0.028195489	0.00562249	Diminue
Dukem Dire	0.00112782	0	Disparait
Adulala Dire	0.067669173	0.076305221	Augmente
AbuSera Dire	0.060150376	0.03815261	Diminue
Womber Dire	0.006015038	0.003212851	Stable
Bali Hidi	0.00037594	0.000401606	Stable
DebreZeit Dukem	0.003383459	0.002409639	Stable
Dire Dukem	0.062030075	0.008032129	Diminue
Bakajo Dukem	0.088721805	0	Disparait
Akaki Dukem	0.005639098	0.001606426	Stable
Adulala Dukem	0.173684211	0.044176707	Diminue
Meki Dukem	0.030075188	0.036144578	Stable
AbuSera Dukem	0.014661654	0	Disparait
Dire Akaki	0.191729323	0.098393574	Diminue
Dukem Akaki	0.189473684	0.081124498	Diminue
Adulala Akaki	0.383458647	0.168674699	Diminue
Meki Akaki	1	0.434538153	Diminue
Ziway Akaki	0.108646617	0.048192771	Diminue
Bulbula Akaki	0.037593985	0.032128514	Stable
AbuSera Akaki	0.030075188	0.012048193	Diminue
AbuSirba Akaki	0.030075188	0.012048193	Diminue
DebreZeit Bole	0.012030075	0	Disparait
Mojo Koka	0.001503759	0.000401606	Stable
Koka Mojo	0.097744361	0.076706827	Diminue
Akaki Meki	0.007518797	0.004016064	Stable
Alemtena Meki	0.022556391	0.020080321	Stable
Ziway Meki	0.117293233	0.039759036	Diminue
AdamiTulu Meki	0.062030075	0.03373494	Diminue
Bulbula Meki	0.045112782	0.016064257	Diminue
Abosa Meki	0.010150376	0	Disparait
DebreZeit Bali	0.00075188	0.000401606	Stable
Meki Ziway	0.042481203	0.030120482	Diminue
AdamiTulu Ziway	0.048496241	0.051004016	Augmente
Bulbula Ziway	0.087218045	0.024096386	Diminue
Abosa Ziway	0.033082707	0.017269076	Diminue
Ziway AdamiTulu	0.026691729	0.036947791	Augmente
Ziway Bulbula	0.00075188	0.006827309	Stable
Meki Abosa	0.00037594	0.000401606	Stable
AdamiTulu Abosa	0.003007519	0.001606426	Stable
Bulbula Abosa	0.022556391	0.006024096	Diminue
Dire Womber	0.003759398	0.002409639	Stable
Bakajo Womber	0.045112782	0.008032129	Diminue
Rogicha Womber	0.07518797	0.032128514	Diminue
Hidi Tadaa	0.00037594	0.000401606	Stable
Adulala Womber	0	0.008032129	Apparait

### Annexe 5 : Valeurs des flux et variation entre les deux périodes pour les réseaux des marchés



**Annexe 6 : Distribution du degré pour les réseaux des marchés et des villages**

## Annexe 7 : Typologie des marchés selon Olive, 2007

**Tableau 7: Typologie des marchés**

Type	Localisation	Fréquence des marchés	Nombre de poulets approvisionnant le marché par semaine		Lien avec les acteurs	
			Min	Max	Vendeur	Acheteur
Village	Village	Une fois par semaine	30-150	Non estimé	Producteurs	Petits marchands, collecteurs et consommateurs
Primaire	Village ou chefs lieux de woreda	Une fois par semaine	30-150	Non estimé	Producteurs et petits marchands	Moyen marchand, collecteurs et consommateurs
Secondaire	Chefs lieux de woreda	Deux fois par semaine ou journaliers	50 - 400	500 - 2150	Producteurs, moyen marchands, marchands fixes	Marchands fixes, collecteurs, consommateurs
Tertiaire ou terminaux :	Chefs lieux de zone ou capitale	Journalier				
Consommation	Chefs lieux de zone ou capitale	Journalier	350 - 350	550 - 650	Moyen marchands, marchands fixes	Consommateurs
Grossiste	Capitale	Journalier	7600 - 9000	28 00 – 38 000	Grossistes (intermédiaires collecteurs)	Marchands fixes, consommateurs

## Annexe 8 : Description des catégories de la typologie basée sur les caractères descriptifs

	Betweenness		Indegree		Outdegree		Nbchicken	Nbsellers	T/F	Nbdays
	HD	NoHD	HD	NoHD	HD	NoHD				
1	5.93	5.88	0.34	0.28	0.37	0.26	720	114.70	0.18	1.6
2	0.62	0.64	0.02	0.01	0.03	0.01	65.42	22.83	0.05	1.08
3	1.09	1.06	0	0	0.36	0.24	462.50	35.25	0.02	1
4	12.61	12.43	1.37	0.89	0.01	0.01	900	35	2.5	7