



Actes de la conférence internationale

*ENJEUX et PERSPECTIVES ÉCONOMIQUES en AFRIQUE
FRANCOPHONE*

Dakar, 4-5-6 février 2019

Modèle à base d'agents de la dynamique du prix des moutons au Sénégal

Marie Ndeye Gnilane DIOUF

Docteur en Sciences économiques de l'université Cheikh Anta Diop de
Dakar (Sénégal)

mariendeyegnilane.diouf@ucad.edu.sn

Pierre MENDY

Professeur à la faculté des Sciences économiques de l'université Cheikh
Anta Diop de Dakar (Sénégal)

pierre.mendy@ucad.edu.sn

Alassane BAH

Professeur à l'École Supérieure Polytechnique de Dakar (Sénégal)

alassane.bah@gmail.com

RÉSUMÉ *La filière ovine occupe une place importante au Sénégal. Tout au long de l'année, le sous-secteur ovin doit satisfaire une demande croissante particulièrement durant la période de la fête d'Eid El Kébir. Ce qui est à l'origine des spéculations des prix sur le marché des moutons au Sénégal. Pour permettre à la population d'avoir accès aux moutons, le Sénégal mise sur les importations à travers le Mali et la Mauritanie. De ce fait, nous nous sommes intéressés à la dynamique des prix sur ce marché pour analyser les facteurs qui déterminent les fluctuations des prix. Nous utilisons deux approches : le protocole Overview, Design concepts, Details pour décrire le fonctionnement du marché et comprendre les interactions entre les différents acteurs du marché ; et le modèle Autoregressive Distributive Lags qui permet d'analyser la relation entre l'offre et les prix de moutons au Sénégal. Les principaux résultats montrent qu'à long terme comme à court terme les prix des moutons n'ont pas d'impact significatif sur l'offre. Ce résultat peut s'expliquer par la méthode de fixation des prix du mouton qui se fait par une négociation directe entre l'offreur et le demandeur et aussi par la taille de notre échantillon qui est relativement limitée.*

MOTS CLÉS *Moutons, dynamique, prix, offre*

Les idées et opinions exprimées dans les textes sont celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement celles de l'OFE ou celles de ses partenaires. Aussi, les erreurs et lacunes subsistantes de même que les omissions relèvent de la seule responsabilité des auteurs.

Pour citer ce document :

Diouf, M. N. G. ; Mendy, P. ; Bah, A. 2019. « Modèle à base d'agents de la dynamique du prix des moutons au Sénégal », dans *Enjeux et perspectives économiques en Afrique francophone* (Dakar, 4 – 6 février 2019). Montréal : Observatoire de la Francophonie économique de l'Université de Montréal, 858-884 pages.

1- Introduction

L'élevage est un secteur qui occupe près de 60% des ménages agricoles et contribue à la richesse du pays à hauteur de 4,6% du produit intérieur brut (Agence nationale de la statistique et de la démographie (ANSD), 2018). Ce secteur touche la majorité des familles rurales. Il est réparti aujourd'hui sur l'ensemble du territoire y compris dans la capitale Dakar et sa région qui concentre près du cinquième de la population totale. Cette forte densité s'explique par les effets combinés de l'accroissement naturel de la population et de la migration.

La filière ovine occupe une place importante et joue un rôle socio-économique très important. En 2014, l'effectif des ovins est estimé à 6 294 000 soit 38% du cheptel sénégalais (ANSD, 2018). La capitale Dakar représente le principal pôle de consommation et sa demande globale tire et oriente l'ensemble de la filière. Cependant, la région de Dakar n'a pas une vocation pastorale faute d'espace, mais néanmoins, la région est le principal centre de commercialisation et de consommation de moutons. La demande annuelle moyenne est estimée à 719 878. Ainsi à l'approche de la fête de la Tabaski, la demande en moutons est exceptionnellement forte et ne cesse d'augmenter d'année en année. Pour répondre à cette demande, des flux de moutons proviennent d'une part de l'intérieur du pays notamment de la zone sylvo-pastorale (Dahra, Linguère), de la zone nord (Matam, Dioum, Ourossogui, Galoya) et de la zone est (Missirah, Tamba, Kahone, Kaolack) et d'autre part de l'extérieur du pays à travers le Mali et la Mauritanie. Ces transits pour approvisionner Dakar impliquent des charges supplémentaires et ont des répercussions sur les prix observés sur les marchés. L'objectif de cet article est d'expliquer le fonctionnement du marché des moutons et de comprendre la relation qui existe entre l'offre de moutons et les prix. Pour ce faire, nous allons baser notre analyse sur l'approche de système multi-agent qui permet de comprendre les interactions entre les agents du marché de la production à la commercialisation et grâce à la modélisation ARDL voir le type de dynamique qui existe entre l'offre et les prix.

2- Faits stylisés

La fête de la Tabaski est un événement important de la religion musulmane. Elle est célébrée en sacrifiant des moutons selon les prescriptions islamiques. Ainsi à l'approche de la fête, la demande en moutons est exceptionnellement forte.

L'offre nationale est insuffisante d'où le recours à des importations massives du Mali, de la Mauritanie voire du Niger et tourne autour de 56% de la demande.

| Année | QtésImportées |
|-------|---------------|
| 1997 | 26844 |
| 1998 | 29217 |
| 1999 | 31233 |
| 2000 | 34239 |
| 2001 | 43372 |
| 2002 | 42320 |
| 2003 | 62280 |
| 2004 | 73260 |
| 2005 | 115402 |
| 2006 | 209472 |
| 2007 | 190220 |
| 2008 | 295174 |
| 2009 | 301429 |
| 2010 | 281343 |
| 2011 | 402617 |
| 2012 | 367095 |
| 2013 | 267263 |
| 2014 | 378018 |
| 2015 | 361687 |
| 2016 | 329914 |
| 2017 | 457643 |

Tableau 1: Évolution des importations de moutons de Tabaski au Sénégal.

Source Direction de l'élevage (DIREL)

Les importations sur pieds sont vues par les commerçants comme une complémentarité de l'offre locale, un moyen de réguler l'offre par rapport à la demande et d'avoir des prix raisonnables (Duvergé, 2006). En absence de ces importations, les prix des moutons sont rigidelement à la hausse.

L'approvisionnement de Dakar en viande de ruminants se fait par le commerce sur pied (circuit vif) et un grand nombre d'intermédiaires sont concernés: commerçants (dioulas) garants ou courtiers (téfankés), convoyeurs, chevillards et bouchers.

Les circuits d'approvisionnement sont très diversifiés (Figure 1)

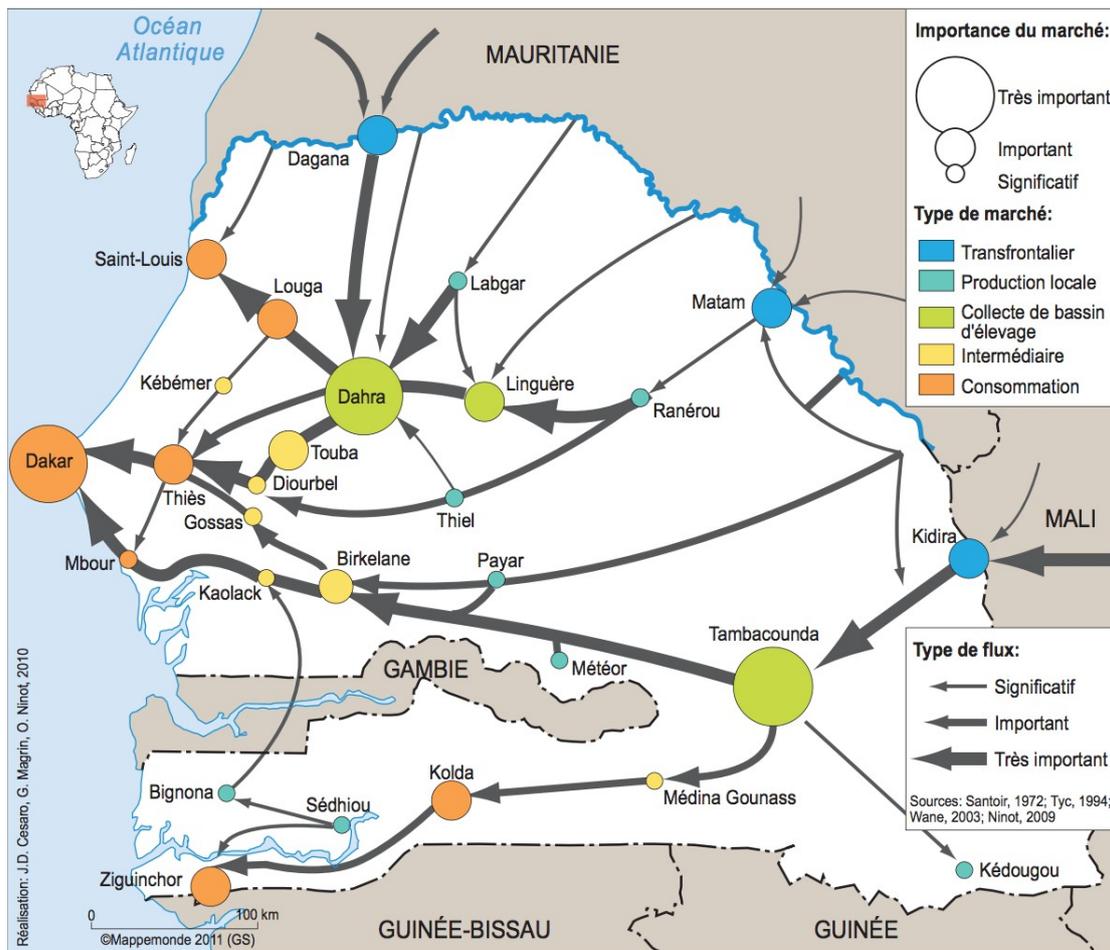


Figure 1: Circuit de distribution et de consommation.

Source : Atlas de l'élevage au Sénégal. Commerce et territoires, (Cesaro et al., 2010)

Cependant, quelle que soit la saison, la Tabaski constitue un moment de transactions très fortes. La production de moutons fait intervenir plusieurs acteurs partant des éleveurs qui se trouvent en général dans la campagne aux vendeurs dans les marchés terminaux.

L'élevage urbain fournit plus de 20% des moutons de Tabaski de la région de Dakar (Ninot, 2009). Cependant, l'élevage rural est le principal fournisseur de moutons.

Les types de moutons sacrifiés sont variables et dépendent du revenu des consommateurs. Les prix de ces moutons dépendent de la race et du poids (corpulence).

Les flux commerciaux s'organisent autour des zones de production pour le regroupement des moutons et ensuite ils sont acheminés vers les grands centres urbains où ils seront distribués. Les flux comportent deux circuits. Nous avons le circuit qualifié de vif qui part des zones de production jusqu'aux principaux pôles de

consommation notamment les centres urbains, et l'autre circuit qualifié de mort concerne la commercialisation de la viande. Pour la commercialisation de ces moutons, nous distinguons trois types de marchés :

- les marchés de collectes (primaires) situés dans la zone sylvopastorale et constituent le premier maillon du circuit des marchés. Au niveau de ces marchés, nous rencontrons les agents suivants : les producteurs et les Dioulas. Ces derniers sont des marchands qui achètent les moutons sur ces marchés pour les revendre au niveau des marchés secondaires ou terminaux ;
- les marchés de regroupements (secondaires) qui sont des marchés de transit et se caractérisent par la fourniture d'animaux engraisés dans la zone par les agroéleveurs et ceux venant des marchés primaires. On y retrouve les Dioulas et les courtiers ;
- les marchés terminaux localisés dans les centres urbains, ils constituent le dernier maillon du circuit vif.

3- Analyse de l'offre

3.1- Le modèle analytique

L'analyse du comportement d'offre des producteurs permet de déterminer comment les producteurs vont répondre à des changements de prix à la production et des facteurs de production. L'étude de l'offre intègre deux éléments essentiels : d'un côté l'analyse de la relation technologique qui existe entre le niveau des facteurs de production et le niveau d'output et de l'autre, le comportement du producteur dans le choix de ses décisions de production, les prix des produits et des facteurs étant donnés. Dans le cadre analytique, le producteur est censé maximiser son profit. Il détermine ainsi le niveau de sa production (q_t) et les quantités des facteurs de production (x_{1t}, x_{2t}) sous la contrainte technologique décrite par la fonction de production. Le programme s'écrit alors :

$$Ma x_{x_{1t}, x_{2t}, q_t} (p_t q_t - w_{1t} x_{1t} - w_{2t} x_{2t}) \quad (1)$$

sous la contrainte:

$$q_t = f(x_{1t}, x_{2t})$$

Où p_t représente le prix du produit à l'instant t ;

q_t la quantité produite en t ;

x_{1t}, x_{2t} les niveaux des facteurs de production variables utilisés ;

w_{1t}, w_{2t} leurs prix respectifs ;

et f définit la fonction de production.

La résolution de cette structurelle permet de déterminer les variables endogènes (offre output, demande de facteurs) en fonction des variables exogènes (prix des facteurs).

Ainsi, la fonction d'offre est définie au premier ordre par:

$$q_t^i = q(p_t, w_{1t}, w_{2t}) \quad (2)$$

3-2 La dynamique de la fonction d'offre : le modèle de Nerlove

Le modèle combine l'hypothèse d'anticipation adaptative et l'hypothèse d'ajustement partiel. Nerlove s'inspire du concept Hicksien d'élasticité d'anticipation défini comme le rapport entre le taux de variation du prix anticipé et celui du prix effectif (Cadoret et al., 2009). Il en déduit que le prix anticipé jugé normal par les producteurs est le prix anticipé que les producteurs jugeaient normal à la période précédente auquel on ajoute un coefficient d'ajustement. Ce coefficient est une proportion de l'écart entre le prix effectif de la période précédente et le prix anticipé de la période précédente.

3-2-1 Spécification des anticipations

On suppose que le producteur raisonne par rapport à des anticipations de prix, l'équation d'offre s'écrit:

$$q_t^i = q(p_t^a, w_{1t}, w_{2t}) \quad (3)$$

Où p_t^a désigne le niveau anticipé des prix pour la période t . L'hypothèse d'anticipation est décrite dans la relation suivante:

$$p_t^a = p_{t-1}^a + \gamma (p_{t-1} - p_{t-1}^a) \quad (4)$$

p_t^a : est le prix anticipé pour la période t ;

p_{t-1} : le prix observé à la période $t-1$.

L'équation (4) peut s'écrire sous cette forme:

$$p_t^a = \gamma p_{t-1} + (1-\gamma) p_{t-1}^a \quad (5)$$

Le prix anticipé est ainsi une moyenne mobile à pondérations géométriques décroissantes des prix passés. γ est le coefficient des anticipations adaptatives supposé constant et compris entre 0 et 1.

À chaque période, le producteur révisé ses anticipations en proportion de l'erreur associée au précédent d'anticipations. L'erreur est égale à la différence entre le niveau observé des prix et le niveau anticipé.

- Si $\gamma=0$, les prix effectifs sont complètement déconnectés des anticipations.
- Si $\gamma=1$, les producteurs forment des anticipations naïves. Ils supposent que le prix en t sera identique à celui de la période précédente.

3-2-2 Le concept d'ajustement partiel

L'existence de coûts d'ajustement se traduit par le fait qu'une modification des variables exogènes ne provoque pas un ajustement immédiat et total du niveau de production offert. L'introduction de ces coûts permet de différencier le comportement du producteur à court et à long terme. L'ajustement partiel s'écrit:

$$q_t - q_{t-1} = \delta (q_t^i - q_{t-1}) \quad (6)$$

Où q_t correspond au niveau observé de produit offert en t ;

q_{t-1} le niveau observé de la période précédente ;

q_t^i représente le niveau de produit désiré ;

Le coefficient δ définit le coefficient d'ajustement partiel compris entre 0 et 1.

3-2-3 Le modèle général de Nerlove

Le modèle d'offre de Nerlove comprend l'équation décrivant les anticipations ainsi que l'équation expliquant l'ajustement partiel. En plus de cela, Nerlove rajoute une troisième relation spécifiant la quantité désirée comme relation linéaire des prix anticipés et de variables exogènes z_t .

$$q_t^i = \alpha_1 + \alpha_2 p_t^a + \alpha_3 z_t \quad (7)$$

Le coefficient du prix anticipé définit ainsi la réponse à long terme. Le modèle général d'offre de Nerlove s'écrit alors:

$$q_t^i = \alpha_1 + \alpha_2 p_t^a + \alpha_3 z_t + u_t \quad (8)$$

$$p_t^a = \gamma p_{t-1} + (1-\gamma) p_{t-1}^a \quad (9)$$

$$q_t - q_{t-1} = \delta (q_t^i - q_{t-1}) + v_t \quad (10)$$

Où u_t , z_t sont les termes d'erreurs associés aux équations.

3-2-4 Estimation du modèle de Nerlove

Pour obtenir une équation estimable de la fonction d'offre, il faut éliminer de ces équations les variables non observables dans les équations précédentes c'est-à-dire le

niveau de production en l'absence de coûts d'ajustement q_t^i et le niveau des prix anticipés p_t^a . L'équation (9) est introduite dans l'équation (8). On obtient:

$$q_t^i = \alpha_1 + \alpha_2(\gamma p_{t-1} + (1-\gamma)p_{t-1}^a) + \alpha_3 z_t + u_t \quad (11)$$

Or les anticipations de prix sont définies suivant un modèle à retards échelonnés au sens de Koyck c'est-à-dire que les coefficients des variables retardées sont géométriquement décroissants. Donc p_t^a peut s'écrire:

$$p_t^a = \frac{\gamma}{1-(1-\gamma)L} p_{t-1} + \varepsilon_t$$

Avec L l'opérateur retard. Ainsi nous avons l'expression de la quantité désirée définie par:

$$q_t^i = \alpha_1 + \alpha_2 \left(\frac{\gamma}{1-(1-\gamma)L} p_{t-1} + \varepsilon_t \right) + \alpha_3 z_t + u_t \quad (12)$$

Cette équation reportée dans (10) donne:

$$q_t - q_{t-1} = \delta \left(\alpha_1 + \alpha_2 \left(\frac{\gamma}{1-(1-\gamma)L} p_{t-1} + \varepsilon_t \right) + \alpha_3 z_t + u_t - q_{t-1} \right) + v_t \quad (13)$$

Cette forme développée et réduite permet d'obtenir la quantité observée en fonction des variables décalées, des prix décalés et des autres variables.

$$q_t = \pi_1 + \pi_2 p_{t-1} + \pi_3 q_{t-1} + \pi_4 q_{t-2} + \pi_5 z_t + \pi_6 z_{t-1} + \mu_t \quad (14)$$

Avec $\pi_i = 1, \dots, 6$ les coefficients de la forme réduite.

$$\pi_1 = \alpha_1 \delta$$

$$\pi_2 = \alpha_2 \delta$$

$$\pi_3 = (1-\delta) + (1-\gamma)$$

$$\pi_4 = -(1-\delta)(1-\gamma)$$

$$\pi_5 = \alpha_3 \delta$$

$$\pi_6 = -\alpha_3 \delta (1-\gamma)$$

4- Méthodologie économétrique

Nous utilisons l'approche Auto Regressive Distributive lags (ARDL) de co-intégration développée par Pesaran et al. (2001) pour tester l'existence d'une relation de long terme entre les variables caractérisées par un ordre d'intégration différent. Il

s'agit de test des limites (bound test) pour une relation de long terme dans un modèle autorégressif à retards échelonnés ARDL. Nous adopterons cette approche pour analyser la relation dynamique entre la Production et le prix des moutons au Sénégal. Cette approche est plus adaptée aux échantillons de petite taille et offrant la possibilité d'étudier en même temps la dynamique de long terme et les ajustements de court terme. La démarche consiste en premier lieu, à effectuer des tests de racine unitaire pour les variables à l'aide des tests de Augmented Dickey Fuller (Dickey et Fuller, 1981) pour étudier leur stationnarité et leur degré d'intégration ; en second lieu, à analyser le modèle en utilisant la procédure ARDL en vue d'analyser la dynamique de court et de long terme. La présence de relation de long terme entre les variables est obtenue en calculant les F-statistiques testant la signification des niveaux décalés des variables sous la forme de correction d'erreur du modèle ARDL. Le modèle s'écrit:

$$\Delta q_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \delta_i \Delta q_{t-i} + \sum_{i=1}^p \gamma_i \Delta p_{t-i} + \beta_1 q_{t-1} + \beta_2 p_{t-1} + \varepsilon_t \quad (15)$$

où δ et γ représentent la dynamique à court terme du modèle ;

β_1 et β_2 représentent la relation de long terme ;

ε est le terme d'erreur du bruit blanc.

Après estimation, il est à établir s'il existe une relation de co-intégration entre q_t et p_t .

L'hypothèse nulle du test F est la non-existence de relation de co-intégration.

$$\begin{cases} H_0: \beta_1 = 0; \beta_2 = 0 & \hat{c} \\ H_1: \beta_1 \neq 0; \beta_2 \neq 0 & \hat{c} \end{cases}$$

La règle de décision est la suivante:

- Si la valeur de la F-statistic est supérieure à la borne supérieure, on rejette H_0 alors il existe une relation de longterme entre les variables considérées.
- Si la valeur de la F-statistic est inférieure à la borne inférieure, on accepte H_0 alors il n'y a pas de relation de long terme entre les variables considérées.
- Si la valeur de F-statistic est comprise entre la borne inférieure et la borne supérieure dans ce cas on ne peut pas conclure.

5- Le modèle à base d'agents

5-1 Matériels

Dans cette étude, nous proposons un modèle de marché adapté à la simulation de la dynamique des prix sur une période. Ce modèle tient compte des interactions qui existent entre les différents agents lorsqu'ils procèdent à des échanges sur un horizon

temporel. La structure du marché est assimilée à la loi de l'offre et de la demande et nous pouvons identifier trois composantes majeures du marché:

- la structure du marché qui s'articule autour d'un ensemble de règles qui définissent son fonctionnement et qui régissent les échanges.
- les agents économiques qui souhaitent acheter ou vendre des moutons. À ce niveau nous incluons les intermédiaires qui jouent un rôle important dans le maillon de distribution.
- l'information qui est utilisée par les agents pour prendre leur décision. Cette information peut être endogène ou exogène.

Les modalités selon lesquelles se rencontrent les offreurs et les demandeurs d'un bien diffèrent selon la structure du marché qui influence la formation du prix. Sur le marché des moutons, nous avons les demandeurs beaucoup plus importants que les offreurs qui s'approprient le marché. Ce marché présente une structure oligopole contrairement à la concurrence pure et parfaite qui a longtemps dominé et caractérisé par l'atomicité de l'offre et de la demande, la transparence du marché, l'homogénéité des produits et la mobilité des facteurs de production. Ce type de marché est aujourd'hui inadéquat à la réalité. Les positions dominantes actuellement sont la structure oligopolistique (Cournot, 1838 ; Bertrand, 1883 et Hotelling, 1929).

L'oligopole est défini comme un marché sur lequel évolue un petit nombre de producteurs face à un grand nombre de demandeurs. Il s'apparente au marché de concurrence monopolistique dans lequel les possibilités d'action de chaque firme sont fonction des actions des autres firmes présentes sur le même marché. Les actions d'une firme sont déterminantes pour l'équilibre de la branche. Sur ce marché, chaque producteur se comporte de façon à maximiser son propre intérêt. Le marché oligopolistique est caractérisé par une interdépendance des décisions: les producteurs agissent en fonction des actions des uns et des autres. Si l'un d'entre eux augmente son prix les autres peuvent faire de même ou non pour attirer la clientèle. Le jeu est de type non coopératif, car il n'existe pas d'accord initial de production entre les producteurs d'un oligopole. Ainsi pour s'accaparer d'une plus grande part de marché, les producteurs mettent en place des stratégies de différenciation ou de discrimination par les prix. La différenciation des produits consiste pour les producteurs à offrir un même produit, mais avec des caractéristiques différentes: qualité, mode d'élevage, etc. Dans ce cas, les produits ne sont pas homogènes. La discrimination par les prix est une pratique consistant à fixer des prix différents en fonction des caractéristiques

des demandeurs. Cependant, il peut y avoir entente c'est dire un accord entre les producteurs. L'objectif est de limiter ou de supprimer la concurrence sur le marché. Dans ce fait, les producteurs obtiennent le contrôle du marché. Il vendent leurs produits à des prix plus élevés que ceux dans la situation de concurrence. Les victimes seront les consommateurs qui n'ont d'autre choix que d'accepter les prix proposés. Les producteurs présents sur le marché disposent d'un pouvoir de marché c'est-à-dire d'une capacité à influencer le prix et les quantités d'équilibre du fait de leur poids sur le marché. Les pouvoirs publics sont obligés d'intervenir afin de réguler le prix d'où dans notre cas, l'importation en quantités de moutons de la sous-région.

5-2 Méthode : Le protocole Overview Design concepts Details du modèle de marché

Dans cette section, nous développons le protocole Overview, Design concepts, Details (ODD) (Grimm et al., 2010) pour simuler notre modèle de marché de moutons en utilisant les systèmes multiagents.

Les systèmes multiagents communément appelés SMA sont des systèmes composés des éléments suivants selon Ferber (1995) :

- d'un environnement E qui est usuellement un espace ;
- d'un ensemble d'Objets O dont il est possible à tout moment d'associer un objet avec une position dans E ;
- d'un ensemble d'Agents A qui sont des objets spécifiques (un sous ensemble de O) et qui représentent les entités actives dans le système ;
- d'un ensemble de relation R qui lient les objets l'un de l'autre ;
- d'un ensemble d'Opérations Op permettant aux agents de A de percevoir, de produire, de transformer et de manipuler les objets dans O ;
- des opérateurs chargés de représenter l'application et la réaction du monde à cette tentative de modification que l'on appelle les lois de l'univers.

Et dans lesquels les agents interagissent entre eux dans l'environnement.

Plusieurs plateformes de simulation multi-agent ont été développées en ce sens dont celle que nous utiliserons dans cette étude : Gis and agent-based modelling architecture (GAMA). GAMA est une plateforme libre de modélisation et de simulation à base d'agents développée depuis 2007 (Taillandier et al., 2014) par

plusieurs équipes de recherche sous l'égide de l'unité internationale de recherche de l'Institut de Recherche pour le Développement(IRD)/Université Pierre et Marie Curie(UPMC). Dans cette étude, nous avons procédé, en premier lieu, au traitement cartographique de la région de Dakar grâce au système d'information géographique "Quantum GIS" pour l'extraction et l'affichage des données géographiques concernant les coordonnées des différents agents, de leurs lieux d'habitats et des différents marchés choisis pour cette étude. Rappelons qu'un système d'information géographique est un outil informatique permettant d'organiser et de présenter des données alphanumériques spatialement référencées.

5-2-1 Vue d'ensemble

5-2-1-1 L'objectif

L'objectif du modèle est de décrire et d'analyser la dynamique des prix sur le marché des moutons à Dakar. Sur ce marché, on y retrouve principalement le marché du parc des petits ruminants appelé Dalifort Foirail qui constitue le plus grand marché de la sous-région. C'est un marché qui fonctionne tous les jours et enregistre 1000 à 3000 entrées par jour dont 90% sont des ovins en provenance de diverses origines. À l'occasion de la Tabaski, en plus du marché de Dalifort Foirail, plusieurs autres marchés se créent pour répondre à la demande. C'est le cas des marchés des HLM, des parcelles assainies (Stade Léopold Sédar Senghor), de la foire, etc. La dynamique dépendra du comportement de l'offre et de la demande en moutons. Les échanges se font dans un environnement virtuel et le nombre d'agents en interaction rend le système complexe.

5-2-1-2 Structure du modèle et échelle

Nous modélisons les déplacements de deux catégories d'agents mobiles: les consommateurs (clients) qui se déplacent à destination des marchés pour acheter des moutons; les troupeaux de moutons avec à leur tête les éleveurs qui les acheminent vers les marchés. Le territoire virtuel de la simulation représente la région de Dakar et est constitué d'habitats, de marchés et de bergerie. Les habitants et les éleveurs se retrouvent sur les marchés. Parmi les trois marchés, deux à savoir Pikine et Parcelles assainies, sont situés dans la banlieue dakaroise facilitant ainsi l'approvisionnement de cette population.

À l'initialisation, le programme crée dans un premier temps les habitats, les bergeries et les marchés. À l'approche de la Tabaski, les moutons en provenance des autres régions et pays sont stockés à l'entrée de Dakar. Ceci pour bénéficier du pâturage

disponible et éviter le plus les problèmes d'espace dont sont confrontés les Dakarais. De ce fait, nous avons supposé l'existence de bergeries à l'entrée de Dakar où l'on rassemble les moutons avant leur présentation dans les différents marchés. Le bétail est acheminé vers les marchés en empruntant les routes et de même pour les consommateurs. Ces derniers apparaissent aléatoirement sur les lieux d'habitats. À quelques jours de la fête et jusqu'au jour j , ils font le tour des marchés pour se procurer des moutons. Les agents sont situés dans un environnement composé de plusieurs lieux. Plusieurs variables sont également définies comme paramètre du modèle : le nombre de moutons dans l'environnement (nombre-moutons), le nombre de consommateurs (nombre-consommateurs), le nombre d'éleveurs (nombre-éleveurs), le nombre de marchés (nombre-marché), la distance domicile-marché de chaque consommateur (distance-domicile-marché), la distance ferme-marché de chaque éleveur. Le modèle prévoit d'activer le prix d'équilibre à chaque cession de moutons de l'éleveur au profit de consommateurs ainsi que les différentes interactions existantes entre les différents marchés et les différents agents qui les constituent. À noter que l'échelle spatiale du modèle n'est pas précise. La structure du modèle est présentée de manière simplifiée dans le diagramme de classes Unified Modeling Language (UML). Le diagramme de classe est une représentation statique des éléments qui composent le système et de leurs relations.

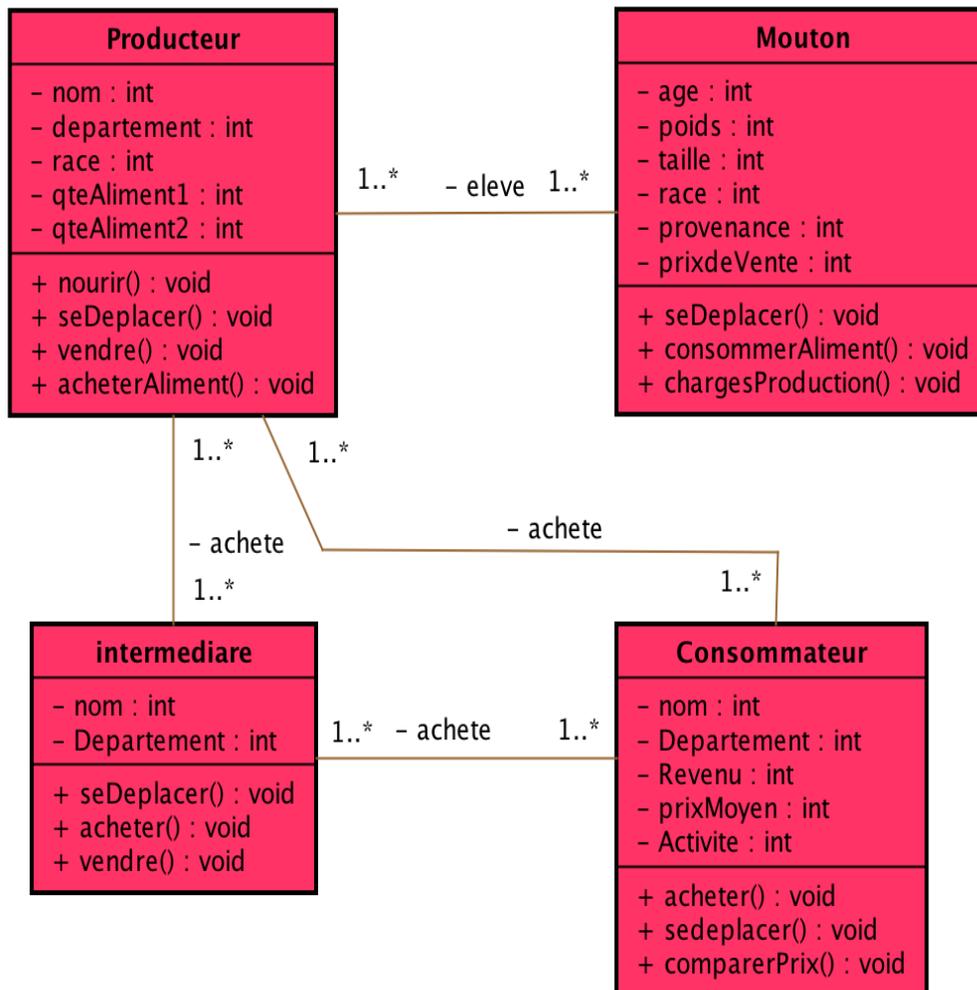


Figure 2: Diagramme de classe

5-2-1-3 Vue d'ensemble des processus et de leur ordonnancement

Dans cette partie, nous représentons les différentes étapes par un diagramme d'activité qui permet de modéliser le comportement du système, dont la séquence des actions et leurs conditions d'exécution. Les consommateurs choisissent leur marché aléatoirement. Au cours de la journée, ici nous prenons l'intervalle de temps compris entre 10h et 19h, les consommateurs peuvent faire le tour des marchés ou se limiter sur un seul marché pour se procurer de moutons qui répondent à leur besoin et en fonction de leur revenu. Dans cette étude, nous ne nous focalisons pas sur la distance entre les marchés. Une fois l'acquisition faite, ils disparaissent du marché pour permettre aux autres de faire leurs achats. En ce qui concerne les moutons, les éleveurs choisissent au début leur marché d'implantation. Nous avons pour la région

de Dakar trois principaux marchés: Dalifort Foirail, Habitats à loyer modéré (HLM) et Parcelles assainies. Une fois les agents sur le marché, le consommateur choisit le(s) mouton(s) qu'il désire acquérir et commence un processus de marchandage pour trouver un prix qui satisfait les deux parties sinon le consommateur devra faire le tour du marché en question pour trouver un mouton en adéquation avec son revenu.

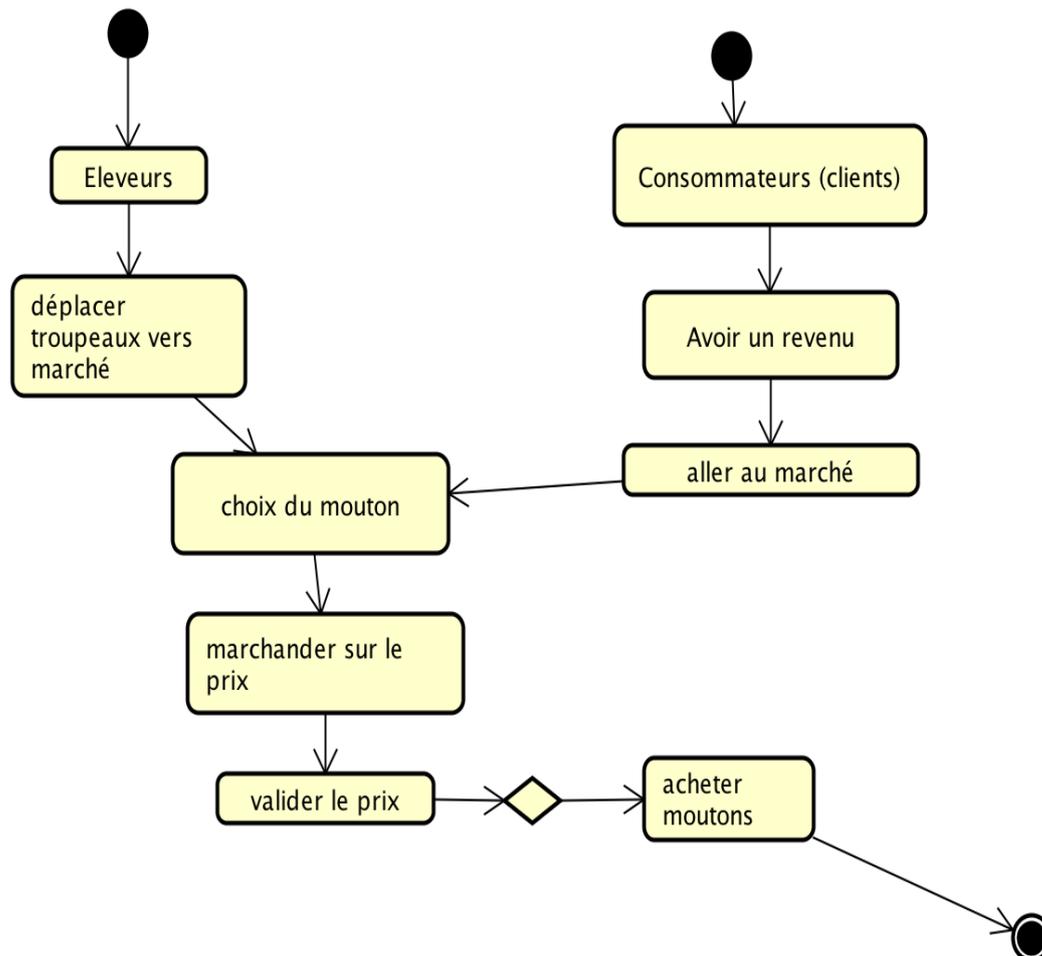


Figure 3: Diagramme d'activité des agents

5-2-2 Les éléments de conception du modèle

5-2-2-1 Principe

Dans cette étude, nous cherchons à modéliser le prix des moutons par l'interaction entre les éleveurs et les consommateurs. Nous nous basons sur l'analyse de Léon Walras à travers le commissaire-priseur. Cette analyse consiste à imaginer l'existence d'un commissaire-priseur qui permet aux vendeurs(éleveurs) et aux consommateurs de faire des propositions de prix et d'enclencher un processus itératif convergent vers

les prix d'équilibre. On fait l'hypothèse que les éleveurs et les consommateurs au cours de la journée se rendent au marché et y restent jusqu'à obtenir satisfaction avant de revenir à leur position initiale (domicile-ferme).

5-2-2-2 Émergence

Les marchés ont une capacité d'attractivité forte à l'état initial. Au cours de la simulation, la structure va changer du fait des interactions entre les agents du marché. Nous observons un phénomène de satisfaction des agents constituant le marché en fin de simulation.

5-2-2-3 Perception

Les consommateurs ont la capacité de percevoir les différents marchés à proximité idem pour les éleveurs. Les consommateurs ont conscience du temps et de la période (cérémonie, Tabaski), ce qui leur permet de décider s'il est opportun d'aller au marché.

5-2-2-4 Interaction

Les interactions présentes dans le modèle sont les interactions entre agent consommateur et agent éleveur, les interactions entre les différents marchés. Quand un consommateur aperçoit un troupeau de moutons d'un éleveur, il s'en approche et fait un choix sur le mouton qu'il souhaite acheter. Il s'ensuit un marchandage qui aboutit à un accord sur un prix. Cependant, ils peuvent ne pas tomber d'accord sur un prix, dans ce cas le consommateur peut se déplacer vers un autre marché ou voir un autre éleveur établi sur le même marché que le premier.

5-2-2-5 Stochasticité

Le modèle contient une part de stochasticité à la fois dans la modélisation et dans la dynamique. Nous avons la position des moutons et des consommations qui est aléatoire sur un des marchés et sur un des domiciles. Au cours de la simulation, deux dynamiques intègrent une part d'aléa : le déplacement des moutons sur les marchés est aléatoire de même que le déplacement des consommateurs au niveau des marchés. De plus, les interactions existantes entre les agents génèrent aussi une dynamique.

5-2-2-6 Observation

L'affichage principal du simulateur est une économie qui peut représenter une zone bien précise affichant les types d'occupation de la zone économique (lieu d'habitat, les fermes et les marchés) ainsi que les consommateurs, les éleveurs et les moutons. Cet affichage est mis à jour à chaque pas de temps permettant de visualiser la dynamique des déplacements. Le graphe des interactions entre agents est également

affiché et mis à jour à chaque pas de temps. Au cours de la simulation, on observe l'évolution du système de prix d'équilibre à l'aide d'une courbe représentant ces valeurs en fonction du temps.

5-2-3 Détails

5-2-3-1 Initialisation

Tout d'abord, la première étape consiste à télécharger la carte de la région de Dakar obtenue par le QGIS dans laquelle sous différentes couleurs sont implantés les bergers (vert), les habitats (gris) et les marchés (jaune). Ensuite des agents moutons sont créés et répartis aléatoirement dans les bergeries. Dans la journée, ils se rendent au marché. Puis les agents humains sont créés aléatoirement dans les zones d'habitat et selon leur revenu ils se rendent au marché.

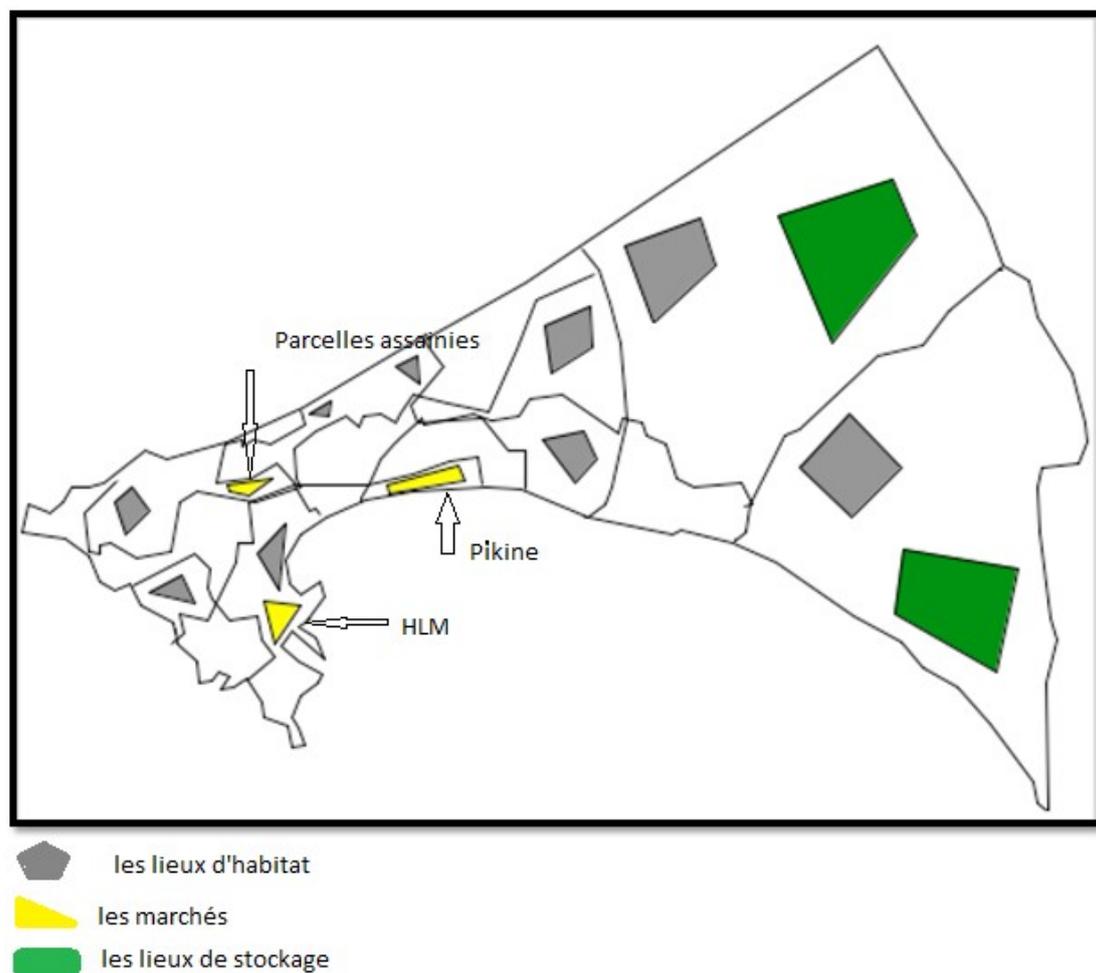


Figure 4: État initial de l'économie

5-2-3-2 Les variables d'entrée

Le modèle prend en entrée un graphique sous la forme d'une image raster représentant la région de Dakar. Nous avons représenté sur ce graphique une économie dans

laquelle nous avons les lieux d'habitat des consommateurs, les lieux d'élevage des moutons et enfin le lieu de rencontre : le marché.

5-2-3-3 Les sous-modèles

Dans cette partie, nous développons les différentes procédures importantes du modèle. Elles concernent d'un côté les déplacements des deux agents: consommateurs et moutons (éleveurs) et d'un autre côté le choix qu'opère le consommateur sur le marché.

La première procédure concerne l'acheminement des moutons vers les différents marchés et le déplacement des consommateurs vers ces marchés. L'algorithme est identique pour ces deux catégories d'agents. Cependant, une fois au marché, leur objectif diffère, car pour le consommateur, il cherche à maximiser son utilité sous la contrainte de son revenu alors que pour l'éleveur ce qui l'intéresse c'est comment maximiser son profit sous la contrainte de ces facteurs de production notamment les charges supportées de l'élevage à la commercialisation.

La seconde procédure consiste au processus achat/vente des moutons observé sur le marché. Cependant, nous notons que la décision d'acheter ou de vendre peut dépendre des facteurs exogènes du marché et qui le plus souvent ont un impact sur la détermination du prix. D'où le rôle important de l'information. Si l'état du marché est compatible aux aspirations de l'agent, la décision d'acheter ou de vendre est illustrée par un signal acheter/vendre. Dans le cas contraire, l'agent devra changer de lieu autrement dit, il doit changer de vendeur (ou attendre d'autres clients) ou de marché.

6- Analyse statistique et résultats de simulation

6-1 Sources de données

Les données utilisées proviennent de la Société de Gestion des abattoirs du Sénégal (SOGAS) et de l'Agence Nationale de la Statistique et de la démographie (ANSD). Il s'agit de données mensuelles sur le prix et l'offre de moutons à Dakar couvrant la période 2008-2015 soient 96 observations.

6-2 Test de racine unitaire

Nous faisons le test de stationnarité de nos deux séries pour s'assurer qu'elles ne sont pas intégrées d'ordre deux ou plus, car l'application de l'approche ARDL exige que les variables soient intégrées d'ordre $I(0)$ ou $I(1)$. Nous utilisons le test de Dickey Fuller Augmenté (ADF) [1981] pour stationnariser les séries. Les résultats obtenus

montrent une stationnarité des deux séries à niveaux. Nous en déduisons que les séries sont intégrées à niveau.

| Variables | En niveau | | Valeurs critiques au seuil de 5% |
|-----------|--------------------------|--------------|----------------------------------|
| | Statistiques du test ADF | Probabilités | |
| lnOffre | -6,222 | 0 | -3,5484 |
| lnPrix | -3,293 | 0,0007 | |

Tableau 2- Test de stationnarité des séries

6-3 Décalage optimal et estimation du modèle ARDL

Pour sélectionner le modèle ARDL optimal qui nous permet d'obtenir des résultats significatifs, nous utilisons les critères d'information Akaike (AIC). Nous avons le graphique suivant qui nous informe sur le modèle ARDL optimal.

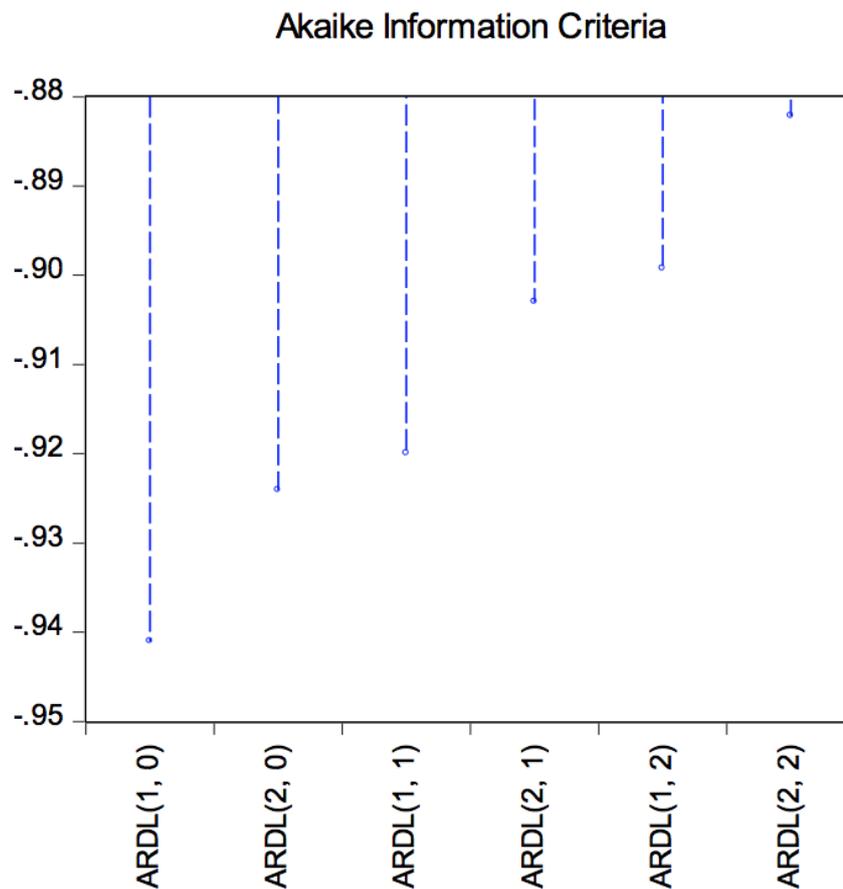


Figure 5: Choix du modèle ARDL optimal

Le modèle ARDL(1,0) est le plus optimal de ces cinq modèles, car ayant la plus petite valeur du AIC.

L'estimation de ce modèle donne:

| Variables | Coefficient | t-Statistique | Probabilité |
|--------------|-------------|---------------|-------------|
| lnOffre (-1) | -0,6039 | -6,32 | 0,000** |
| lnPrix_LT | -0,6263 | -1,11 | 0,271 |
| lnPrix_CT | -0,0378 | -1,09 | 0,278 |
| Constante | 6,6774 | 5,97 | 0,000** |

Note : * $\rho < 0,1$; ** $\rho < 0,05$; *** $\rho < 0,01$

Tableau 3: Estimation du modèle ARDL(1,0)

Les tests de diagnostic du modèle estimé donne:

Pour le **test d'autocorrélation**, le corrélogramme montre une absence d'autocorrélation des erreurs.

| Autocorrelation | Partial Correlation | AC | PAC | Q-Stat | Prob* | |
|-----------------|---------------------|----|--------|--------|--------|-------|
| | | 1 | 0.060 | 0.060 | 0.3476 | 0.555 |
| | | 2 | -0.001 | -0.004 | 0.3477 | 0.840 |
| | | 3 | 0.001 | 0.001 | 0.3477 | 0.951 |
| | | 4 | 0.051 | 0.051 | 0.6071 | 0.962 |
| | | 5 | -0.038 | -0.044 | 0.7548 | 0.980 |
| | | 6 | -0.061 | -0.056 | 1.1427 | 0.980 |
| | | 7 | -0.111 | -0.105 | 2.4377 | 0.932 |
| | | 8 | -0.020 | -0.011 | 2.4786 | 0.963 |
| | | 9 | 0.001 | 0.006 | 2.4786 | 0.981 |
| | | 10 | 0.020 | 0.025 | 2.5233 | 0.991 |
| | | 11 | 0.019 | 0.024 | 2.5631 | 0.995 |
| | | 12 | 0.145 | 0.136 | 4.8846 | 0.962 |
| | | 13 | 0.011 | -0.018 | 4.8976 | 0.977 |
| | | 14 | 0.237 | 0.232 | 11.268 | 0.665 |
| | | 15 | -0.027 | -0.062 | 11.350 | 0.727 |
| | | 16 | 0.045 | 0.054 | 11.583 | 0.772 |
| | | 17 | -0.008 | -0.004 | 11.591 | 0.824 |
| | | 18 | -0.027 | -0.032 | 11.675 | 0.864 |
| | | 19 | 0.051 | 0.110 | 11.992 | 0.886 |
| | | 20 | -0.022 | -0.020 | 12.048 | 0.914 |
| | | 21 | 0.151 | 0.228 | 14.877 | 0.829 |
| | | 22 | -0.016 | -0.055 | 14.911 | 0.866 |
| | | 23 | 0.023 | 0.048 | 14.981 | 0.895 |
| | | 24 | -0.014 | -0.056 | 15.007 | 0.921 |
| | | 25 | 0.044 | 0.033 | 15.261 | 0.935 |
| | | 26 | -0.027 | -0.085 | 15.360 | 0.950 |
| | | 27 | -0.055 | -0.022 | 15.769 | 0.957 |
| | | 28 | -0.059 | -0.104 | 16.252 | 0.962 |
| | | 29 | -0.077 | -0.063 | 17.088 | 0.961 |
| | | 30 | -0.065 | -0.084 | 17.687 | 0.963 |
| | | 31 | -0.068 | -0.114 | 18.352 | 0.965 |
| | | 32 | -0.067 | -0.047 | 19.014 | 0.966 |
| | | 33 | -0.008 | -0.164 | 19.025 | 0.975 |
| | | 34 | 0.062 | 0.112 | 19.608 | 0.977 |
| | | 35 | 0.395 | 0.287 | 43.588 | 0.151 |
| | | 36 | -0.014 | -0.015 | 43.619 | 0.179 |

Tableau 4: Test d'autocorrélation des erreurs

Test d'hétéroscédasticité

Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test:

| | | | |
|---------------|----------|---------------------|--------|
| F-statistic | 1.980712 | Prob. F(2,90) | 0.1439 |
| Obs*R-squared | 4.005210 | Prob. Chi-Square(2) | 0.1350 |

Heteroskedasticity Test: ARCH

| | | | |
|---------------|----------|---------------------|--------|
| F-statistic | 0.328170 | Prob. F(1,92) | 0.5681 |
| Obs*R-squared | 0.334112 | Prob. Chi-Square(1) | 0.5632 |

Tableau 5: Test d'hétéroscédasticité des erreurs

Les résultats montrent que les erreurs ne sont pas hétéroscédastiques.

Le test de normalité du modèle estimé :

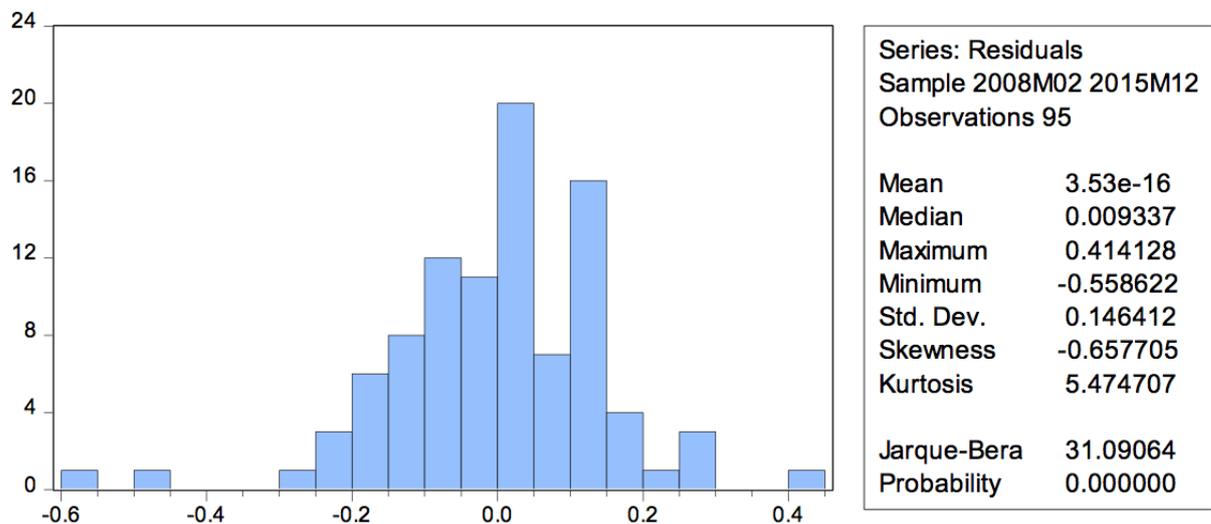


Tableau 6: Test de normalité

De ces tests de diagnostic, nous concluons que le modèle ARDL(1,0) n'est pas ni corrélé, ni hétéroscédastique. Cependant, le modèle ne satisfait pas la condition de normalité, mais n'empêche pas la validation du modèle.

6-4 Résultats du "Bounds test"

Les résultats de la procédure du bounds tests de Pesaran et al.(2001) donnent le tableau suivant:

| Test statistique | Valeur | K |
|----------------------|----------|----------|
| F-statistique | 13,1897 | 1 |
| | | |
| Signification | Borne I0 | Borne I1 |
| 10% | 3,02 | 3,51 |
| 5% | 3,62 | 4,16 |
| 2.5% | 4,18 | 4,79 |
| 1% | 4,94 | 5,58 |

Tableau 7: Bounds test Pesaran et al.2001

La statistique de Fisher est supérieure à la borne supérieure pour les différents seuils de significativité. Nous rejetons l'hypothèse nulle H_0 d'absence de relation de long terme.

F-statistic = 13,1896 supérieure à I(1) la borne supérieure alors il existe une relation de long terme entre les variables permettant ainsi d'estimer les effets de long terme du prix sur l'offre.

6-5 La dynamique de long et court terme

| Variables | Coefficient | t-Statistique | Probabilité |
|--------------|-------------|---------------|-------------|
| lnOffre (-1) | -0,6039 | -6,32 | 0,000** |
| lnPrix_LT | -0,6263 | -1,11 | 0,271 |
| lnPrix_CT | -0,0378 | -1,09 | 0,278 |
| Constante | 6,6774 | 5,97 | 0,000** |

Note : * $\rho < 0,1$; ** $\rho < 0,05$; *** $\rho < 0,01$

Tableau 8: Estimation du modèle ARDL(1,0)

À long terme, les effets du prix sur l'offre sont négatifs: une augmentation des prix de 1% entraîne une baisse de l'offre de 0,626%. À court terme, la même dynamique est maintenue. Le prix a un effet négatif sur l'offre.

7- Conclusion

Dans cette étude, nous nous sommes intéressés à la modélisation de l'offre de moutons au Sénégal. Nous avons utilisé deux méthodes pour faire cette étude. La première méthode a consisté à modéliser le fonctionnement du marché des moutons en utilisant les systèmes multiagents qui nous ont permis de décrire d'une part les différentes interactions entre les agents du système et de l'autre la formation du prix des moutons qui résulte des échanges entre offreurs et demandeurs. La seconde méthode a consisté à appliquer la méthode d'estimation ARDL (Pesaran et al. 2001) pour modéliser la dynamique de court terme et de long terme.

Une attention particulière a été donnée à la région de Dakar qui constitue le plus grand centre de commercialisation et consommation de moutons. Nous avons eu recours au système multi agent pour décrire le fonctionnement du marché. L'objectif a été de modéliser le comportement de deux agents économiques à savoir le consommateur et l'éleveur en tenant compte des différentes étapes de cession et des différentes charges et taxes endossées par les différents intermédiaires du circuit d'approvisionnement. Ces charges et taxes vont se refléter sur les prix pratiqués dans les marchés de consommation. Ainsi, nous développons les différentes procédures importantes du modèle. Elles concernent d'un côté, les déplacements des deux agents : consommateurs et moutons (éleveurs) et d'un autre côté le choix qu'opère le consommateur sur le marché.

La première procédure concerne l'acheminement des moutons vers les différents marchés et le déplacement des consommateurs vers ces marchés. L'algorithme est identique pour ces deux catégories d'agents. Cependant, une fois au marché, leur objectif diffère, car pour le consommateur, il cherche à maximiser son utilité sous la contrainte de son revenu alors que pour l'éleveur ce qui l'intéresse c'est comment maximiser son profit sous la contrainte de ces facteurs de production notamment les charges supportées de l'élevage à la commercialisation.

La seconde procédure consiste à la mise en œuvre du processus achat/vente des moutons observé sur le marché. Cependant, nous notons que la décision d'acheter ou de vendre peut dépendre des facteurs exogènes du marché et qui le plus souvent ont un impact sur la détermination du prix. D'où le rôle important de l'information. Si l'état du marché est compatible aux aspirations de l'agent, la décision d'acheter ou de vendre est illustrée par un signal acheter/vendre. Dans le cas contraire, l'agent devra changer de lieu autrement dit, il doit changer de vendeur (ou attendre d'autres clients)

ou de marché. L'affichage principal du simulateur est une économie qui représente la région de Dakar avec les types d'occupation (lieu d'habitat, les fermes et les marchés) ainsi que les consommateurs, les éleveurs et les moutons.

Cet affichage est mis à jour à chaque pas de temps permettant de visualiser la dynamique des déplacements. Le graphe des interactions entre agents est également affiché et mis à jour à chaque pas de temps. Au cours de la simulation, on observe l'évolution du système de prix d'équilibre à l'aide d'une courbe représentant ces valeurs en fonction du temps.

De plus, au niveau de la plateforme de simulation, nous pouvons voir les différentes interactions existantes sur les marchés entre les différents acteurs. Au fur et à mesure qu'il y a des transactions qui sont effectuées, celles-ci sont illustrées dans le graphe d'évolution des prix en tenant compte des prélèvements de taxes.

Nous nous sommes aussi intéressés à la dynamique d'évolution des prix à long et court terme sur ce marché. Nous avons utilisé le test ARDL de Pesaran et al. 2001 pour déterminer la nature de la dynamique de l'offre et des prix. Les résultats ont montré que les prix n'ont pas d'impact significatif sur l'offre. Ce résultat s'explique par la méthode de fixation de prix des moutons qui se fait par négociation directe entre l'offreur et le demandeur, car c'est un sous-secteur dominé par l'informel et chacun est libre de vendre ses moutons à ses prix.

Bibliographie

Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie (ANSD), janvier 2018. Situation économique et sociale du Sénégal en 2015, www.ansd.sn.

BERTRAND Joseph L.F. 1883. Book of review of "Théorie mathématique de la richesse sociale" and of "Recherches sur les principes mathématiques de la théorie de la richesse", Journal de Savants, pp 499-508.

CADORET et al., 2009. *Économétrie appliquée, Méthodes-Applications- Corrigés*, 2e édition, Ouvertures économiques, De Boeck Université.

CESARO et al., 2010. Atlas de l'élevage au Sénégal. Commerce et territoires. Publication du projet de recherche ATP Icare.

COURNOT Antoine Augustin. 1838. Recherches sur les principes mathématiques de la théorie des richesses, L. Hachette, Econometrics, 198 pages.

DICKEY, D. and W. FULLER. 1981. Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with unit root, *Econometrica* 49,4.

Direction de l'élevage (DIREL). Rapport Suivi de la préparation de la Tabaski 2017. Ministère de l'élevage et des productions animales du Sénégal.

DUVERGE Anne. 2006. *Quel avenir pour la filière viande bovine du Sénégal, Etude du circuit long de la filière, de Tambacounda jusqu'à Dakar*, Ecole d'ingénieur en agro-développement international.

FERBER Jacques. 1995. *Multi-agents. Vers une intelligence collective*, InterEditions.

GRIMM et al., 2010. *The ODD protocol: a review and first update*, *Ecological modelling* 2760-2768.

HOTELLING Harold. 1929. Stability in competition, *the economic journal*, vol xxxix, p.41-57.

NINOT Olivier. 2009. *La fête du mouton, des moutons pour la fête. Enjeux économiques de la Tabaski au Sénégal*, Grain de sel, n°46-47, Mars-Août.

PESARAN et al., 2001. *Bounds testing approaches to the analysis of level relationships*, Journal of applied econometrics, 16: 289-326.

TAILLANDIER et al., 2014. *Des données géographiques à la simulation à base d'agents: application de la plateforme GAMA*, Cybergeo: european Journal of Geography, Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, document 671.