

UNIVERSITE OUAGA II

Centre d'Etudes, de Documentation
et de Recherche Economiques et Sociales (CEDRES)

REVUE ECONOMIQUE ET SOCIALE AFRICAINE

Une croissance économique forte et durable est-elle possible dans un contexte de fuite massive des capitaux en zone franc ?

Ameth Saloum NDIAYE

Téléphone mobile et accès aux soins de santé maternelle et infantile au CAMEROUN

Saturnin b. nguenda ANYA

Analyse de l'effet du changement du régime pluviométrique sur l'agriculture vivrière du plateau central au BURKINA FASO

Idrissa k. OUIMINGA

Le consommateur de produits biologiques : motivations et valeurs profondes

Yacouba SONGUE

La REVUE CEDRES-ETUDES publie, semestriellement, en français et en anglais après évaluation, les résultats de différents travaux de recherche sous forme d'articles en économie appliquée et en gestion proposés par des auteurs appartenant ou non au CEDRES.

Avant toute soumission d'articles à la REVUE CEDRES-ETUDES, les auteurs sont invités à prendre connaissance des « recommandations aux auteurs » (téléchargeable sur www.cedres.bf).

Les articles de cette revue sont publiés sous la responsabilité de la direction du CEDRES. Toutefois, les opinions qui y sont exprimées sont celles des auteurs.

En règle générale, le choix définitif des articles publiables dans la REVUE CEDRES-ETUDES est approuvé par le CEDRES après des commentaires favorables d'au moins deux (sur trois en générale) instructeurs et approbation du Comité Scientifique.

La plupart des numéros précédents (57 numéros) sont disponibles en version électronique sur le site web du CEDRES www.cedres.bf

La REVUE CEDRES-ETUDES est disponible au siège du CEDRES à l'Université de Ouagadougou dans toutes les grandes librairies du Burkina Faso et aussi à travers le site web : www.cedres.bf

DIRECTEUR DE PUBLICATION

Pr Idrissa M. OUEDRAOGO, Université Ouaga 2

COMITE EDITORIAL

Pr Pam ZAHONOGO, UO2-Editeur en Chef

Pr Yves ABESSOLO, Université
Yaoundé II

Pr Denis ACCLASATO, Université
d'Abomey Calavi

Pr Akoété AGBODJI, Université
de Lomé

Pr Augustin ANASSE, Université Alassane
OUATTARA, Bouaké

Pr Chérif Sidy KANE, Université Cheikh
Anta Diop

Pr Médard MENGUE BIDJO, Université
Omar Bongo

Pr Mathias Marie Adrien NDINGA, Université
Marien N'Gouabi

Pr Raphaël NKAKLEU, Université
de Douala

Pr Jean Louis NKOULOU NKOULOU
Université Omar Bongo

Pr Abdoulaye SECK, Université
Cheikh Anta Diop

Pr Fatou DIOP/SALL, Université Cheikh
Anta Diop

Pr Bertrand SOGBOSSI BOCCO,
Université d'Abomey Calavi

Pr Charlemagne IGUE, Université d'Abomey
Calavi

SECRETARIAT D'EDITION

Dr Samuel Tambi KABORE, UO2

Dr Théodore Jean Oscar KABORE, UO2

Dr Jean Pierre SAWADOGO, UO2

Dr Kassoum ZERBO, Université Ouaga 2

COMITE SCIENTIFIQUE DE LA REVUE

Pr Géro Fulbert AMOUSSOUGA, Université
d'Abomey Calavi

Pr Geneviève CAUSSE, Université
Paris Est

Pr Abdoulaye DIAGNE, Université Cheikh
Anta Diop

Pr Adama DIAW, Université Gaston Berger de
Saint Louis

Pr Ababacar MBENGUE, Université
de Reims

Pr Albert ONDO OSSA, Université Omar Bongo

Pr Serge Auguste Balibié BAYALA, Université
Ouaga 2

Pr Mama Ouattara, Université Félix Houphouët
Boigny (Côte d'Ivoire)

Pr Idrissa OUEDRAOGO, Université
Ouaga 2

Pr Kimséyinga SAVADOGO, Université
Ouaga 2

Pr Gnderman SIRPE, Université
Ouaga 2

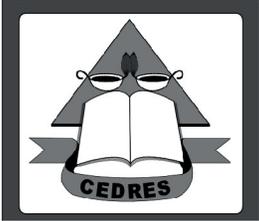
Pr Nasser Ary TANIMOUNE, Université
d'Ottawa (Canada)

Pr Gervasio SEMEDO, Université de Tours

Pr Pam ZAHONOGO, Université Ouaga 2

UNIVERSITE OUAGA II

Centre d'Etudes, de Documentation et de Recherche Economiques et Sociales (CEDRES)



REVUE CEDRES-ETUDES

Revue Economique et Sociale Africaine

REVUE CEDRES-ETUDES N°58

2^{ème} SEMESTRE 2014

SOMMAIRE

Une croissance économique forte et durable est-elle possible dans un contexte de fuite massive des capitaux en zone franc ?..... 11

Ameth Saloum NDIAYE

Téléphone mobile et accès aux soins de sante maternelle et infantile au CAMEROUN.....43

Saturnin b. nguenda ANYA

Analyse de l'effet du changement du régime pluviométrique sur l'agriculture vivrière du plateau central au BURKINA FASO.....65

Idrissa k. OUMINGA

Le consommateur de produits biologiques : motivations et valeurs profondes.....83

Abdou-Fataou TCHAGNAO

EDITORIAL

Ce deuxième numéro de l'année 2014 marque la continuité de parution de la revue. Ce numéro 58 consacre un numéro composé exclusivement d'articles relevant des sciences économiques. Un numéro dédié à la gestion paraîtra très bientôt. Les sujets traités sont très variés allant des questions environnementales aux problèmes macroéconomiques.

Le premier article, d'Ameth Ndiaye (Université Cheik Anta Diop), traite de la fuite des capitaux comme un élément inhibiteur de la croissance économique dans la zone franc. L'auteur met en exergue plusieurs facteurs d'influence sur la croissance tels l'investissement domestique, le crédit au secteur privé, la qualité des institutions, et l'épargne domestique mais relève que la fuite des capitaux reste le plus important pour des pays en besoins d'investissement.

Le deuxième article de Saturnin B. Nguenda Anya (Université de Douala) relève de l'économie de la santé. L'article traduit l'idée que la possession du téléphone mobile contribue à l'accroissement de l'accès aux soins de santé maternelle et infantile. Par ce canal, l'auteur montre que les femmes sollicitent davantage les soins de formations sanitaires. Cependant, la spécification de l'amélioration de l'accès est étroitement liée avec la conservation de certaines valeurs culturelles de la société.

Le troisième article revient sur des questions environnementales. L'auteur Idrissa Ouiminga (Université Ouaga 2), évoque de l'adaptation des activités économiques notamment l'agriculture, aux changements climatiques. Par le recours en l'ensemencement des nuages, il est fait cas de performances relativement bonnes réalisées en agriculture vivrières.

Le dernier article présenté par Yacouba Songué (Université Polytechnique de Bobo Dioulasso), analyse les motivations des consommateurs à vouloir consommer des produits biologiques. L'auteur met en exergue les motifs qui guident vers la consommation durable, saine aussi bien pour le consommateur pour l'environnement dans lequel il se trouve. Toutefois, il énonce quelques contraintes qui limitent l'expression des valeurs liées à la consommation de produits biologiques.

Pr Idrissa OUEDRAOGO

Directeur de Publication

**ANALYSE DE L'EFFET DU CHANGEMENT DU REGIME
PLUVIOMETRIQUE SUR L'AGRICULTURE VIVRIERE DU PLATEAU
CENTRAL AU BURKINA FASO**

Idrissa OUIMINGA

Enseignant - Chercheur, UFR Sciences Economiques et Gestion, Université Ouaga II,
Burkina Faso. Email : idrissa.ouiminga@univ-ouaga.bf; idriss1079@yahoo.fr

Résumé

Face aux changements climatiques, les autorités ont optés pour le recours à l'ensemencement des nuages comme stratégie de mobilisation des ressources en eau. Cette option des autorités burkinabè s'est soldée en 2005 par la mise en place d'un programme après des phases d'essai sous forme ponctuelle en 1998, puis expérimentale de 1999 à 2004.

Mais, pour le Burkina Faso, cette méthode s'est révélée pour un grand nombre comme discutable quant à son caractère rentable du point de vue économique. C'est ce qui a conduit ces travaux à se pencher sur les retombées agricoles.

La vérification s'est faite par des estimations économétriques basée sur la méthode du changement de productivité. Cette dernière a permis de faire ressortir pour des périodes sans et avec recours à l'ensemencement des nuages, des résultats intéressants. Sur le plan agricole, les résultats ont attesté d'un effet positif sur le maïs et le mil et d'un effet négatif sur le sorgho.

A noter que dans l'ensemble, les effets positifs comme négatifs enregistrés ont été de faibles ampleurs surtout pour les effets négatifs.

Mots-clés : ensemencement des nuages, changement de productivité, rendements agricoles, maïs, mil, sorgho.

Classification JEL : C23, Q16, Q54

Abstract

In face of climatic changes, national authorities have chosen to have recourse to cloud seeding as strategy to get more water. This choice of government was end in 2005 by the establishment of a permanent program. Before this, there was an operational phase in 1998 followed by an experimental phase from 1999 to 2004.

But, for Burkina Faso, this method proved to be questionable for many citizens about is potential economic cost-effectiveness. This is why this research is focused on agriculture results.

The checking has been made by econometrics estimations with analyses based on the productivity change. This method allowed bringing out interesting results between two periods: the first one without implementation of the technology of cloud seeding and the second one with the implementation. For agricultural field, the results confirmed positives effects for maize and millet but the effect is negative for sorghum.

On the whole, we can tell that negatives and positives effects recorded were weak widths, especially the negatives effects.

Keywords : cloud seeding, productivity change, agricultural yields, maize, millet, sorghum.

JEL Classification : C23, Q16, Q54

ANALYSE DE L'EFFET DU CHANGEMENT DU REGIME PLUVIOMETRIQUE SUR L'AGRICULTURE VIVRIERE DU PLATEAU CENTRAL AU BURKINA FASO

1. Introduction

Les pays en développement et enclavés sont souvent confrontés à un climat rude qui constitue un obstacle majeur à leur développement. L'économie essentiellement agropastorale, est tributaire des conditions climatiques souvent défavorables. Lorsque la position géographique du pays et son socle ne favorisent pas l'agriculture, le problème devient sévère. En effet, l'agriculture reste le secteur le plus avide en eau, prélevant à elle seule environ 70% de l'eau consommée sur la planète (LUXORION, 2005) et cette situation est valable pour plusieurs pays en développement tel le Burkina Faso.

Une alternative éventuelle peut être un programme d'ensemencement des nuages, dont le but serait d'accroître le niveau des précipitations et ce, à des fins économiques et accroître la disponibilité des ressources en eau pour les populations. A ce titre, l'intérêt est porté essentiellement sur l'agriculture qui représente la principale activité économique des pays en développement. Mais, il faut noter que l'incidence des pluies provoquées en termes économiques, peut être appréciée de manière plus large à travers l'environnement qui est aussi intrinsèquement touché. Nous pourrions à cet effet recourir à la méthode du changement de productivité pour apprécier les variations de production sur les composantes naturelles que sont l'emploi des sols à des fins agricoles

Les changements climatiques touchent toutes les facettes de l'activité économique en Afrique noire, particulièrement pour les pays les moins développés, dépendant de l'agriculture de subsistance (HULME, 1996)¹. L'agriculture est considérée comme le moteur de l'économie pour tous les pays au sud du Sahara et à ce propos, il est impossible d'envisager un développement sans ce secteur (IFPRI, 2007). C'est pourquoi, la plupart des Etats Africains cherchent à développer ce secteur tout d'abord en lui assurant un approvisionnement en ressources en eau conséquent.

Pour le Burkina Faso ainsi que d'autres pays africains tels que le Mali, le Sénégal ou le Niger, les prévisions selon divers modèles des experts font ressortir une chute de leurs productions céréalières d'ici 2080 quels que soient les scénarii (QUIRION et al., 2005). Cette recherche est conduite autour de la question spécifique suivante : quel est l'impact de l'ensemencement des nuages sur la production vivrière ?

2. Cadre conceptuel

2.1 Approches théorique et expérimentale

Plusieurs projets d'ensemencement des nuages à travers le monde ont été entrepris dans l'objectif d'améliorer la situation agricole de leur région. Les pays développés n'échappent pas à cette règle : c'est le cas des Etats-Unis, d'Israël, de l'Afrique du Sud. Depuis les années 1970, un grand nombre d'études ont été menées sur l'efficacité de l'ensemencement des nuages par rapport à l'agriculture.

1- Hulme, M., 1996: Climate Change and Southern Africa, Rapport commandé par le FMN International et coordonné par la section de la recherche climatique.

En 1981, les travaux de BULLER, BARK et VANDERLIP ont porté sur l'effet de l'ensemencement des nuages sur la production agricole et les conséquences sur le revenu de la région. Ils ont mis en évidence des effets qui varient selon les zones observées. En effet, l'Etat du Kansas qui a fait l'objet de l'étude a été subdivisé en trois parties : la région Ouest, la région du centre et celle de l'Est. Les résultats observés ont montré une augmentation de la production agricole au niveau de la région Ouest tandis que les régions du centre et de l'Est ont enregistré par moment des baisses de rendements à la suite de l'ensemencement. Les résultats d'ensemble au niveau de l'Etat ont été positifs pour la campagne agricole et de manière spécifique, les travaux ont indiqué une efficacité de l'ensemencement des nuages liée aux conditions climatiques favorables et à la répartition temporelle des pluies.

Ces travaux de recherche ont par la suite montré que cet accroissement de la production agricole contribuait à augmenter le revenu des producteurs au niveau de l'Etat du Kansas. Mais, cet avantage ne bénéficiait pas à l'ensemble des producteurs du marché des céréales lorsque ces derniers étaient confrontés à une demande inélastique. Cette situation s'explique par un prix qui baisse suite à l'accroissement de la production agricole totale disponible sur le marché. Mais pour la zone enssemencée, cette baisse du prix est compensée par une hausse de leur production suite à l'ensemencement ; tandis que sur le marché, les autres producteurs sont confrontés à une demande inélastique alors que leur production n'a pas augmenté.

Dans le même ordre d'idée, PERRY et GLOVER par leurs travaux parus en 1986, ont essayé d'évaluer l'effet de la variation des précipitations, grâce à la technique d'ensemencement des nuages sur l'agriculture. Leurs travaux ont porté sur neuf régions de l'Etat de Utah aux Etats-Unis dans des cas de sécheresse vécus en 1934 et 1977. A l'aide d'un modèle logistique de croissance, l'expérience a été d'abord faite pour l'année 1979 qui fut une année de pluviométrie normale. Ils ont mis en relation la variation de la pluviométrie et la production agro-pastorale en montrant l'incidence positive qu'apportait le supplément d'eau sur les rendements des produits tels que le maïs, le blé, l'orge et la production de fourrage. L'extension de l'étude aux années de sécheresse 1934 et 1977, a confirmé les résultats par les gains qui auraient été engrangés si l'ensemencement des nuages avait été appliqué pendant de telles périodes. Leurs recherches ont indiqué que cette technique était rentable avec un gain plus élevé pour les régions arides que celles non arides. Toutefois, en situation de demande inélastique, ce bénéfice ne profitait pas aux Etats voisins qui n'avaient pas bénéficié des effets des pluies provoquées mais qui subissaient l'influence de la baisse des prix.

D'autres travaux de recherche ont permis de mettre en exergue les effets économiques que l'accroissement des précipitations pouvait avoir dans les plaines de la région du centre des Etats-Unis où est essentiellement cultivé le maïs. A l'aide d'un modèle économétrique, GARCIA, CHANGNON et PINAR en 1986 dans l'Illinois, ont mis en relation les rendements des cultures de maïs et de soja avec des variables de temps que sont les températures et les relevés pluviométriques mensuels. Les résultats se sont traduits par une influence non négligeable de la technologie de modification du temps, car les rendements de maïs ont subi une amélioration sensible. Il en a été de même pour le soja mais dans des proportions moindres. Les travaux ont relevé, que l'ensemencement des nuages avait en moyenne une influence positive sur l'amélioration des rendements agricoles grâce à une meilleure pluviométrie. Tout de même, ils ont relativisé les retombées positives de l'utilisation de cette technologie en indiquant qu'à petite échelle, elle contribuait à accroître les revenus des producteurs de la région ciblée mais à baisser ceux des producteurs des autres régions. De surcroît, les travaux ont indiqué que plus on utilisait cette technique à grande échelle, plus les revenus des producteurs des zones non ciblées avaient tendance à baisser.

De manière générale, plusieurs autres études qui ont porté sur l'effet de l'ensemencement des nuages sur l'agriculture ont révélé des succès de cette technique sur l'amélioration des rendements agricoles. Les diverses méthodes utilisées dans les études ont répondu aux attentes des décideurs dans le secteur agricole. Dans le même temps, les effets secondaires de ces retombées agricoles se sont traduits en général par une baisse de revenus au niveau global rendant l'utilisation de la technologie moins attrayante.

Mais, il faut noter que ces conclusions sont propres aux conditions de marchés rencontrés, à savoir une demande de biens alimentaires fortement inélastique, des parts de marché des zones ciblées assez fortes, mais surtout du niveau de développement du pays. En effet, dans le contexte d'un pays en voie de développement, les conséquences de la baisse du niveau des prix peuvent être différentes. Malgré cette baisse, les producteurs des zones non ciblées, peuvent ne pas commercialiser leurs produits ou les vendre en quantité moindre pour des raisons de subsistance. Cette hypothèse est plausible dans la mesure où elle s'explique par le fait que les producteurs qui n'ont pas bénéficié de l'augmentation de leur production, la conserveront pour une autoconsommation surtout que dans les pays en voie de développement l'autosuffisance alimentaire en termes de céréales n'est pas encore effective.

Pour le cas du Burkina Faso, cet effet secondaire n'est pas à redouter quand on sait que le programme couvre de nos jours, l'ensemble du territoire.

L'amélioration de la pluviométrie grâce à l'ensemencement a un impact sur l'agriculture comme l'atteste les résultats empiriques. Toutefois, il faut également souligner le facteur érosion hydrique qui est important, il joue négativement sur les rendements agricoles. L'érosion hydrique est la perte de terre due à l'eau qui par la même occasion entraîne la perte d'éléments nutritifs tels que les sels minéraux par son effet décapant. Bien que la composition physique et chimique des terres, la pente et la végétation du milieu soient tous des facteurs déterminants dans l'érosion hydrique, la pluie est l'élément majeur causant cette action, car sans précipitation, il n'y a pas d'érosion hydrique. Ainsi, l'impact des gouttes sur le sol et un ruissellement fort, dû à l'intensité et au volume plus important des pluies, peuvent être source d'appauvrissement des sols et donc de baisse de rendements agricoles (Ministère Agriculture Canada, 2009). Cette affirmation est confirmée par les travaux de Roose en 1981 lorsqu'il dit qu'une raison fondamentale de la perte des éléments nutritifs des terres est l'érosion et le ruissellement. L'érosion hydrique, étant reconnue comme ayant un rôle négatif, a été la cause de l'utilisation de techniques de Conservation des Eaux et des Sols (CES) en vue d'atténuer son effet négatif (MIETTON, 1986).

C'est pourquoi, avec l'hypothèse que l'ensemencement des nuages contribue à accroître le niveau des précipitations, on admet par la même occasion que cette pratique peut être source de baisse de rendements agricoles. Ceci peut s'expliquer par de plus grandes quantités d'eau qui engendrent des ruissellements plus importants dus au volume et à la vitesse, quand on sait que l'infiltration au niveau du Nakambé (plateau central) est très faible à cause du sol latéritique. En somme, l'ensemencement des nuages peut être à la fois source d'amélioration des rendements agricoles mais aussi de baisse. A travers ces travaux nous essaierons d'apprécier les effets nets de cette pratique.

Mais cet accroissement de la disponibilité des ressources en eau a été perçu par certains travaux comme un facteur influençant aussi la pêche au niveau des zones ensemencées.

En Chine, des expériences ont été réalisées dans plusieurs secteurs. On peut citer celle réalisée dans la région de Jiangxi pour améliorer les rendements de riz. Li a mis en relation les rendements de riz (variété de courte et longue durées) avec le niveau de pluviométrie décadaire.

Cette province du Jiangxi située dans le sud-Est est une des régions les plus grandes productrices de riz du pays. Les sécheresses à répétition sont la cause de grands désastres et perturbent fortement la production rizicole. Les sécheresses se produisent une fois tous les deux à trois ans et s'étendent sur de très grandes superficies pendant un temps relativement long 80 à 100 jours par an et parfois elles atteignent 120 jours. Elles causent par conséquent d'importantes pertes. La provocation des pluies par ensemencement des nuages a été d'une grande importance pour assurer la production rizicole dans cette région.

Les périodes arides surviennent en été et en automne et perturbent énormément la croissance du riz. Les cas les plus récurrents furent rencontrés en début de saison hivernale (mai à juin) ce qui affecte particulièrement les variétés hâtives de riz.

Par des travaux préliminaires, les périodes idéales pour l'ensemencement se sont révélées être la période de juin à septembre.

Cette expérience réalisée précise que la pluviométrie n'est pas le seul facteur de production car il faut tenir compte de la nature des semences, des engrais et de l'entretien des champs. Cependant, pour isoler l'effet de l'intervention du programme il a fallu recourir à l'hypothèse *ceteris paribus*. Les autres facteurs ont été maintenus constants dans l'année en question pour observer les effets purs liés au régime pluviométrique. Cette réalisation a été faite de manière pratique par la relation polynomiale établie entre les rendements et les décades pluviométriques selon l'équation suivante :

$$y_i = c_0 + \int_0^t a_j(t) \cdot x_{ij}^p(t) dt + \varepsilon_i \quad [1]$$

Où x_{ij}^p représentent les valeurs décadaires de la pluviométrie dans le temps $j = 1, 2, \dots, t$ et l'espace i ; a_j est le coefficient de pondération ou le poids de la pluviométrie décadaire sur le rendement des céréales; c_0 est le rendement minimum quel que soit le niveau de pluviométrie.

Les résultats obtenus furent très appréciables, car ils ont permis de mettre en exergue pour les variétés hâtives un accroissement de la productivité de 2,46Kg/ha et pour les variétés longues cet accroissement s'élevait à 1,65Kg/ha.

Sur la base des rendements additionnels générés pour les deux types de variété et pour une superficie exploitée d'un million six cent mille (1600 000) hectares, les estimations absolues permettent d'obtenir une production additionnelle de riz de 208000 tonnes engendrée par la provocation artificielle de pluies.

2.2 Méthode employée

L'approche qui sera utilisée pour l'analyse est celle de la théorie du changement de productivité, il donne une information sur la variation de l'état de l'environnement cette information est directement mesurable via les variations de production de biens et services marchands (Lescuyer, 2005). Par définition, les changements de productivité peuvent être provoqués par des changements pratiques de technologie de production par une autre supposée meilleure, ou par un changement du niveau de l'efficacité avec la même technologie de production (ROGERS Mark, 1998).

L'approche qui sied à notre étude est celle du changement de technologie car au niveau du processus de pluviométrie une nouvelle méthode est utilisée. En d'autres termes, l'approche de changement de productivité a pour objectif de dégager le changement de profit obtenu par adoption d'une technique. Ce changement de productivité peut être apprécié de deux manières :

- par un changement du niveau de production, ce qui est l'effet direct ;
- par un changement du niveau des intrants utilisés, ce qui relève de l'effet indirect.

Cette méthode fut utilisée avec succès dans une étude pour évaluer le changement de productivité généré par la conservation des eaux et des sols à Madagascar (B. MINTEN, 2003). L'effet direct s'est traduit par une augmentation de la production de 60% et l'effet indirect s'est matérialisé par une baisse de l'utilisation des intrants. Dans notre étude, nous nous focaliserons sur l'effet direct généré, c'est-à-dire les éventuels changements des rendements agricoles.

Bojö (1991) utilise, par exemple, cette technique d'évaluation pour apprécier l'utilité sociale d'un programme Farm Improvement with Soil Conservation au Lesotho. La valeur écologique du milieu naturel préservé est estimée à partir de la dégradation attendue de la fertilité des sols sans ce projet (baisse de 1%/an), de la baisse consécutive de la productivité agricole (diminution annuelle de 7kg de maïs et de 8kg de sorgho par hectare), et de la tendance probable des prix de ces deux produits dans le futur (+2%/an pour le maïs, -2%/an pour le sorgho).

Le choix des spéculations de cette étude s'est porté sur les cultures céréalières les plus répandues dans toute la région. En effet, sur toute l'étendue du plateau central (Passoré jusqu'à la frontière avec le Ghana et Togo) les cultures de rente, notamment le coton, occupent une place moindre dans les cultures des populations locales.

L'agriculture est vivrière et les spéculations qui portent le plus l'attention des agriculteurs sont le maïs, le mil et le sorgho ; elles constituent la base de l'alimentation des populations locales. Ces trois céréales sont en outre la base de l'alimentation des ménages à l'échelle nationale.

3. Approche quantitative

Le modèle économétrique s'inspire de la fonction de production classique de Solow qui utilise le capital et le travail comme les facteurs de production exclusifs. Toutefois dans ce modèle, on tient compte des critiques qui ont été faites sur l'absence de variables environnementales. On a ainsi pour chaque spéculation et pour chaque sous période :

$$y_{it} = f(c; pl_{it}; trend; h_{it}; engr_{it}; njrp_{it}) + u_i + \varepsilon_{it} \quad [2]$$

Les périodes étant relativement peu longues (1993 à 1997 et 1998 à 2002), on peut faire l'hypothèse que u_i varie seulement en fonction des individus i (qui sont les zones de production) et le test de Hausman (en annexe) permet de savoir déterminer la nature à effets fixes ou aléatoires des modèles par spéculation et par sous période.

La variation des rendements de production entre les deux sous périodes traduit le principe de changement de productivité entre les deux sous périodes. Ce qui se traduit par :

$$\Delta y_{it} = y_{it}^2 - y_{it}^1 = \text{variation de rendement} \quad [3]$$

La variation de rendement liée à l'effet de la pluviométrie s'exprime sous la forme :

$$\Delta y_{it}(pl) = \frac{\partial y_{it}^2}{\partial pl_{it}} - \frac{\partial y_{it}^1}{\partial pl_{it}} \quad [4]$$

L'équation [4] est l'effet marginal lié à la variation de la pluviométrie suivant les deux périodes.

4. Résultats et analyses

Ce sous point met en lumière les tests, les résultats obtenus pour les spéculations étudiées : le maïs, le mil et le sorgho. Dans cette section, il est aussi fait cas des difficultés majeures rencontrées pour les estimations et leurs effets sur les résultats obtenus.

Les estimations de cette section ont été réalisées pour les différentes céréales (maïs, mil sorgho) à partir du modèle précédemment présenté qui est :

4.1 Maïs

Nous présentons dans ce point les différents tests effectués pour le maïs sur les deux sous périodes : l'une marquant la période sans l'intervention du programme (1993 à 1997) et l'autre marquée par l'intervention du programme (1998 à 2002).

Les estimations des paramètres suivants les modèles ont donné les résultats ci-après² :

Tableau I : Estimation par la méthode des effets fixes
(ln_yit = variable dépendante)

| Variables Indépendantes | 1993 à 1997 | | 1998 à 2002 | |
|----------------------------------|--|-------------------|--|-------------------|
| | Coefficients | Probabilités | Coefficients | Probabilités |
| Ln_Pl _{it} | 1,047973 | 0,055(*) | 1,875251 | 0,002(*) |
| trend | -0,1945925 | 0,004(***) | 0,0523007 | 0,342 |
| Ln_h _{it} | 25,73805 | 0,030(**) | -16,02511 | 0,115 |
| Ln_Njrp _{it} | -0,3024624 | 0,528 | -0,8689305 | 0,107 |
| Ln_eng _{it} | 0,2646886 | 0,329 | 0,0602424 | 0,538 |
| C | -86,83009 | 0,038(**) | 51,27921 | 0,133 |
| | F(5,27) = 4,33 | Prob > F = 0,0051 | F(5,27) = 2,82 | Prob > F = 0,0354 |
| Fixed-effets (within) regression | Nombre d'observations = 40 Nombre de groupes = 8 Nombre d'années = 5 | | Nombre d'observations = 40 Nombre de groupes = 8 Nombre d'années = 5 | |

Source : Estimation données d'enquête

(***) significatif à 1%, (**) significatif à 5%, (*) significatif à 10%

Pour les deux sous périodes, le modèle est significatif dans son ensemble (car les β ne sont pas tous nuls) les probabilités associées à la statistique de Fisher sont respectivement de 0,0051

et de 0,0354.

Le coefficient de la variable d'intérêt (pluviométrie) est significatif au seuil de 10% pour la première sous période et au seuil de 1% pour la seconde sous période.

Tableau 2 : Estimation robuste de la seconde sous période (1998-2002)

| Variables Indépendantes | Coefficients | Probabilités |
|----------------------------|--------------|-----------------------|
| Ln_Pl _{it} | 1,062841 | 0,049 ^(**) |
| trend | 0,05773 | 0,161 |
| Ln_h _{it} | -11,79143 | 0,039 ^(**) |
| Ln_Njrp _{it} | -0,4027422 | 0,326 |
| Ln_eng _{it} | 0,2213022 | 0,024 ^(**) |
| C | 40,816 | 0,027 ^(**) |
| n | 40 | |
| Wald chi2(6) | 19404,52 | 0,000 |

Source : Estimation données d'enquête

(***) significatif à 1%, (**) significatif à 5%, (*) significatif à 10%

Les résultats des estimations faites montrent que l'effet de la pluviométrie sur les rendements de maïs varie faiblement sur les deux sous périodes. En effet, dans la première sous période (1993 à 1997), le coefficient obtenu est environ de 1,048. Le modèle étant un double log, on dira qu'une augmentation de la pluviométrie de 1% permet une amélioration des rendements de maïs de 1,048%.

De 1998 à 2002, le coefficient obtenu est de 1,063. Ceci permet de dire qu'une augmentation de la pluviométrie de 1% engendre une croissance des rendements de maïs de 1,063%.

On voit à travers cela que la pluviométrie a un effet faible mais positif plus marqué sur les rendements de maïs pendant la deuxième sous période.

Cet effet net positif de la pluviométrie (1,063-1,048 = 0,015) de 0,015% permet de soutenir l'hypothèse que la pluviométrie agit positivement sur les rendements de maïs à partir de 1998 parce qu'elle est en quantité plus suffisante par rapport à la période 1993-1997.

Cette assertion vient montrer que le changement de productivité à partir de ce point de rupture (années 1998) est probablement lié à l'ensemencement des nuages qui consistait à améliorer le niveau de la pluviométrie. L'absence d'effets individuels permet d'extrapoler ce résultat comme une moyenne pour les différentes provinces qui sont dans la zone d'étude.

Toutefois, l'on peut relativiser ce résultat car bien qu'étant positif, l'effet net reste très inférieur à 1% d'augmentation des rendements de maïs.

4.2 Mil

De manière similaire au cas du maïs, on aura les différents tests pour caractériser le type de modèle que l'on va utiliser pour le mil.

L'estimation des paramètres selon les méthodes adéquates nous donne les résultats suivants³ :

Tableau 3 : Résultats d'estimation (y_{it} = variable dépendante)

| Variables Indépendantes | 1993 à 1997 | | 1998 à 2002 | |
|---|-----------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------------|
| | Coefficients | Probabilités | Coefficients | Probabilités |
| Ln_Pl _{it} | 483,4362 | 0,071(*) | 819,0593 | 0,001(***) |
| trend | -55,28149 | 0,041(**) | 47,15309 | 0,007(***) |
| Ln_h _{it} | 16501,98 | 0,004(***) | 1233,774 | 0,316 |
| Ln_Njrp _{it} | -265,0468 | 0,222 | -161,2399 | 0,999 |
| Ln_pl_eng _{it} | -10,86788 | 0,203 | -6,747426 | 0,263 |
| C | -56251,98 | 0,005(***) | -7965,403 | 0,177 |
| | F(5,27) = 2,87 | Prob > F = 0,0334 | Wald chi2(5) = 22,47 | Prob > chi2 = 0,0004 |
| Nombre d'observ. = 40 Nombre de groupes = 8 Nombre d'années = 5 | Fixed-effects (within) regression | | Random-effects GLS regression | |

Source : Estimation données d'enquête

(***) significatif à 1%, (**) significatif à 5%, (*) significatif à 10%

On observe dans les deux cas une régression d'ensemble significative car les probabilités associées à la statistique de Fisher et à celle de khi deux sont inférieures à 5%.

Pour la période 1993 à 1997, le coefficient de la variable majeure (pluviométrie) est significatif au seuil de 8%, il est de 483,43.

De 1998 à 2002, le paramètre de la variable pluviométrie est significatif quel que soit le seuil de confiance ; il est de 819,05.

Les paramètres d'estimation pour le mil ont permis d'obtenir un coefficient de 483,4362 kg pour la sous période 1993-1997 et de 819,0593 kg pour la sous période 1998-2002. Le modèle étant un semi logarithme on peut interpréter ces coefficients en disant que :

- dans la sous période 1993-1997, une augmentation de la pluviométrie de 1% contribue à accroître les rendements de mil 0,483 tonne à l'hectare ;

- dans la sous période 1998-2002, une augmentation de la pluviométrie de 1% contribue à accroître les rendements de mil de 0,819 tonne à l'hectare.

On observe dans ce cas un effet positif du passage de la première sous période à la seconde sous période. L'augmentation supplémentaire des rendements est pratiquement le double soit (0,819-0,483) 0,336 tonne à l'hectare imputable à une amélioration du niveau de la pluviométrie. Ainsi, on note qu'à partir de l'année de l'application de la technique d'ensemencement des nuages il y a eu un effet positif sur le niveau des rendements du mil.

3- Résultats du test de Hausman annexe 2-b

4.3 Sorgho

Pour cette culture, l'on doit aussi déterminer si on a des effets individuels, si le modèle est à effets fixes ou aléatoires avant l'estimation des paramètres. Nous avons également ici un modèle non linéaire, à forme quadratique.

L'estimation des paramètres par la méthode des effets aléatoires permet d'obtenir les résultats qui suivent⁴ :

Tableau 4 : Résultats d'estimation (y_{it} = variable dépendante)

| Variables Indépendantes | 1993 à 1997 | | 1998 à 2002 | |
|-------------------------|-------------------------------|----------------------|-----------------------------------|-------------------|
| | Coefficients | Probabilités | Coefficients | Probabilités |
| Pl_{it} | 3,766477 | 0,505(*) | 2,806347 | 0,097(*) |
| Pl^2_{it} | -0,0034767 | 0,477 | -0,006896 | 0,003(***) |
| trend | -1,250776 | 0,258 | 46,27317 | 0,026(**) |
| h_{it} | -213,4907 | 0,400 | 259,9067 | 0,075(***) |
| $Njrp_{it}$ | -22,17347 | 0,629 | -33,27437 | 0,009(*) |
| pl_eng_{it} | 2,95e-06 | 0,289 | 5,84e-06 | 0,397 |
| pl_Njrp_{it} | 0,0300145 | 0,862 | 0,0514154 | 0,000(***) |
| C | 6114,261 | 0,455 | -7161,124 | 0,118 |
| | Wald chi2(7) = 12,48 | Prob > chi2 = 0,0858 | F(7;25) = 5,01 | Prob > F = 0,0012 |
| | Random-effects GLS regression | | Fixed-effects (within) regression | |

Source : Estimation données d'enquête

(***) significatif à 1%, (**) significatif à 5%, (*) significatif à 10%

Pour les deux sous périodes, on est dans un cas d'homoscédasticité pour les deux sous périodes. Les estimateurs obtenus sont donc efficaces.

Détermination du niveau optimal de pluviométrie pour le sorgho

Pour obtenir ce niveau, on doit partir de l'expression de l'équation du rendement par rapport aux différentes variables. Cette équation est :

$$y_{it} = u + \theta_1 pl_{it} + \theta_2 pl_{it}^2 + \theta_3 trend + \theta_4 njrp_{it} + \theta_5 (pl_eng)_{it} + \theta_6 (pl_njrp)_{it} + \eta_{it}$$

A l'optimum $\frac{\partial y_{it}}{\partial pl_{it}} = 0$; en dérivant on obtient les résultats suivants :

$$\frac{\partial y_{it}}{\partial pl_{it}} = \theta_1 + 2\theta_2 pl_{it} = 0 \Leftrightarrow pl_{it}^* = \frac{-\theta_1}{2\theta_2} ;$$

4-Résultat du test de Hausman annexe 2-c

Pour l'application on aura une valeur pour chaque sous période (utiliser seulement les coefficients de la deuxième sous période car c'est à ce niveau que la variable pl_{it}^2 est significative). Cela donne :

- Sous période 1 : $pl_{it}^* = \frac{-\theta_1}{2\theta_2} = \frac{-3,766477}{2(-0,006896)} = 273,091430$

- Sous période 2 : $pl_{it}^* = \frac{-\theta_1}{2\theta_2} = \frac{-2,806347}{2(-0,006896)} = 203,476435$

On voit que dans la première sous période la quantité optimale est plus élevée que dans la deuxième, ce qui traduit un besoin plus important d'eau pour la première sous période car elle est moins arrosée. Pour la deuxième sous période qui est plus humide à cause des pluies additionnelles, la quantité optimale nécessaire est moindre.

Les résultats obtenus dans le cas du sorgho montrent des effets tendant à la baisse. En effet, dans le cas de la première sous période on enregistre un coefficient pour la pluviométrie de 3,76. On peut l'interpréter en disant qu'un accroissement de la pluviométrie d'un millimètre entraîne un accroissement sur les rendements de sorgho de 3,76 kg à l'hectare.

Pour la seconde sous période, le coefficient obtenu est de 2,80 ; ceci permet de dire que l'accroissement de la pluviométrie d'un millimètre entraîne un accroissement sur les rendements de 2,80 kg à l'hectare.

On voit que l'effet de la pluviométrie sur les rendements est positif pour les deux sous périodes, mais on note qu'il y a une baisse de la première à la deuxième sous période. Cette baisse d'environ 1 kilogramme pourrait signifier que l'ensemencement qui a eu lieu à partir de la seconde sous période n'a pas contribué à améliorer les rendements de sorgho. Cette spéculation (sorgho) n'a donc pas été sensible à la hausse au changement du régime pluviométrique car c'est une baisse qui a été constatée.

Cette baisse peut trouver éventuellement son explication dans l'analyse du coefficient de pl_2 . Cette variable matérialise l'effet secondaire de la pluviométrie sur les rendements. Les coefficients obtenus pour les deux sous périodes sont respectivement de -0,0035 et -0,0036 pour 1993-1997 et 1998-2002. Ils sont de valeurs faibles mais ils sont tout de même négatifs. Ceci peut être interprété en disant que davantage de pluie (effet secondaire) ne contribue pas à améliorer les rendements de sorgho et même que ce coefficient devient légèrement plus négatif en 1998-2002 ; d'où le fait que l'amélioration des pluies qui a pu se produire grâce à l'ensemencement n'a pas produit les effets escomptés pour le sorgho.

En effet, le sorgho est une spéculation qui renferme plusieurs variétés. Ces dernières ont toutes en commun une plus grande résistance à la sécheresse que le mil et le maïs. En général, ses racines profondes lui donnent une capacité assez forte de résister au climat sahélien. Grâce à sa photosynthèse de type C4 et à ses racines profondes et vigoureuses pouvant atteindre jusqu'à 1,30 mètre de profondeur (Chopart, 1980), le sorgho consomme efficacement l'eau et résiste très bien aux déficits hydriques intenses et fortuits. **Aussi, pour une même surface de culture, le sorgho consomme 2 fois moins d'eau que le maïs** (EnerGreen Genetics, 2010).

En raison de sa résistance aux longues périodes de chaleur et de sécheresse, elle apparaît moins adaptée aux zones humides, bien arrosées. En bonnes conditions, le tallage commence quinze jours environ après le semis. La croissance du sorgho est réduite lorsque la température ambiante est inférieure à 20° C (Sene, 1995), la température optimale pour la croissance végétative se situe souvent vers 33-34°C. Le développement floral et la formation des grains se déroulent normalement jusqu'à 40-43°C ce qui du reste est élevé (Chantereau et Nicou, 1991).

Les besoins en eau du sorgho augmentent pendant le cycle pour atteindre un maximum à la floraison (environ 6 à 7 mm/Jour). Le sorgho craint cependant l'excès d'eau; de même une période trop pluvieuse pendant la maturation peut réduire la qualité de la production (Sene, 1995)⁵. La consommation moyenne d'eau par le sorgho en culture pluviale est estimée à 300 mm pour la campagne hivernale, ce qui correspond approximativement à la quantité optimale déterminée pour la première sous période (293mm). Par contre, la deuxième sous période étant plus humide, il est logique que sa consommation moyenne baisse, ce qui justifie la consommation optimale déterminée qui est passée à 204 mm.

Cette situation dénote d'une semence qui évolue mieux dans les savanes moyennement arrosées comparativement aux régions plus arrosées, c'est-à-dire plus humides, en témoigne le signe du coefficient de variable température. En effet, ce signe est positif pour la deuxième sous période traduisant une amélioration des rendements avec des températures plus élevées. On peut alors penser que cette baisse de rendement observée par la baisse des coefficients comme due au changement de régime pluviométrique passant d'un état déficitaire à un état normal, voire abondant.

4.4 Analyse par rapport à la méthode

Dans cette étude, on a tenté de mettre en exergue par la méthode du changement de productivité les effets du changement du régime pluviométrique imputable à l'ensemencement des nuages. En divisant les échantillons en deux périodes (avant ensemencement et après ensemencement), l'évolution des rendements des différentes spéculations en fonction de la pluviométrie est l'indicateur de base choisi pour appréhender cet effet.

Les résultats ne sont pas entièrement homogènes. En effet, les variations de cet indicateur ont permis de constater que le changement de régime pluviométrique a eu des effets positifs sur les rendements de deux spéculations (maïs, mil) tandis que pour la troisième (sorgho) les résultats obtenus étaient négatifs. Pour le cas du sorgho, même si on émet l'hypothèse que cela est lié à la nature de la spéculation, il apparaît alors que l'effet du changement du régime de pluie par l'ensemencement des nuages peut perturber certaines cultures.

En somme, il n'est donc pas possible de rejeter intégralement l'hypothèse que le changement du régime pluviométrique imputable à l'ensemencement contribue à baisser les rendements agricoles de manière générale. On pourrait dire qu'il contribue pour certaines cultures sans pour autant avoir les mêmes effets sur d'autres.

Au regard des résultats obtenus, on retient que l'effet n'est pas seulement positif, mais qu'il peut être aussi négatif suivant le type de culture.

5- Il faut donc une pluviométrie bien répartie située entre 500 et 600 mm pour une variété de cycle court, 650 à 800 mm pour une variété de cycle moyen.

5. Conclusion et contraintes liées à l'analyse

L'analyse des effets du changement du régime pluviométrique sur les rendements céréaliers a pris en compte les variables utilisées ci-dessus dans les estimations (pluviométrie, répartition dans le temps de la pluie, engrais, etc.). Ces variables sont des facteurs qui influent sur le niveau des rendements ; mais on peut leur associer d'autres, telles que l'érosion hydrique ou les techniques de conservation des eaux et des sols (CES).

L'érosion hydrique qui contribue à la dégradation des terres est perçue comme un facteur limitant pour l'amélioration des rendements agricoles. En effet, plus le volume de la pluviométrie est important, plus l'érosion engendrée par l'impact des gouttes d'eau sur le sol et un ruissellement plus important contribuent à dégrader les surfaces cultivables par la perte d'éléments nutritifs. On s'attend donc à une persistance de ce mécanisme lorsqu'il pleut davantage.

Cette composante n'a pas été prise en compte dans les estimations car les données existantes sur l'érosion hydrique sont ponctuelles, peu fiables et en quantités très faibles. Ces données existantes répondent à des besoins spontanés d'études et n'ont pas fait l'objet de suivi, de sorte que ce paramètre soit difficilement possible à intégrer pour les estimations.

Toutefois, cela ne biaise pas les résultats de cette recherche car sur tout le bassin, les superficies suivies par les techniciens de l'agriculture ont bénéficié des techniques culturales antiérosives (zaï, digues à pierres filtrantes et cordons pierreux, ...) appliquées avec une bonne maîtrise. Cette pratique vient compenser l'effet accentué de l'érosion hydrique, d'où l'idée que les deux effets se compensent, permettant de valider les résultats obtenus.

Références bibliographiques

ASCE, American Society of Civil Engineers 2006, *Guidelines for Cloud Seeding to Augment Precipitation*, Second Edition, Virginia USA.

BARK, L. Dean, 1978, «A Study of the Effects of Altering the Precipitation Pattern on the Economy and Environment of Kansas», *Kansas Agricultural Experiment Station, Department Report 5-425*, Kansas October 1.

BULLER O., L. Dean BARK and R. VANDERLIP, July 1981, «Effect of Weather Modification on Supply and Total Revenue of a Region», *Western Journal of Agricultural Economics*, Oklahoma, USA.

CHANTEREAU J. et NICOU R., 1991, *Le sorgho. Editions Maisonneuse et Larose*, Paris. 159 p.

QUIRION P., CHAISE L., FERLA J., HONORE A., MOUKHLI R. 2005 « L'impact du changement climatique sur l'agriculture en Afrique », *Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Atelier Changements Climatiques 48p*, Paris, France.

CHANGNON S. & HOLLINGER S.E. 1992, «The potential use of summer rainfall enhancement in Illinois: a field experiment to define responses of crop yields to increased rainfall», *Journal of Applied Meteorology*, Kansas, USA.

CNRS, 2006, « 5 défis pour la biodiversité » *Centre National de la Recherche Scientifique France le journal* / N° 196- Mai 2006/Biodiversité, Paris, France.

DAKOTA AGRICULTURAL DEPARTMENT et al., 1973, «Effects of Additional Precipitation on Agricultural Production, the Environment, the Economy and Human Society in South Dakota», South Dakota Agricultural Experiment Station, Final Report, June 30, Denver, USA.

FIDA, Novembre 2008, « Le changement climatique : un enjeu pour le développement », *Fonds International de Développement Agricole*, Rome, Italie.

GIZ, 2010, « water loss reduction, Eschborn /Germany ». *Coopération Internationale Allemande*.

GARCIA P., CHANGNON S. & PINAR M. 1989, «Economic Effects of precipitation enhancement in the Corn Belt», *Climate and Meteorology Section, Illinois State Water Survey, Champaign, Illinois*, Washington DC, USA.

GROLLEAU Gilles, 2000, « L'écoproduit agro-alimentaire : de la compréhension des concepts à la complexité de la réalité », *Annales des Mines – Responsabilité et Environnement*, 18 : 27-44, Paris France.

GROLLEAU Gilles, 2001, « Le management environnemental de l'exploitation agricole peut-il être une stratégie "win-win-win" ? », *Econome appliquée*, Tome LIV (4) : 157-168, Genève, Suisse.

HARRIS, EDWARD R., 1981, *Environmental Assessment and Finding of No Significant Impact. U.S. Department of the Interior; Colorado, USA Sierra Cooperative Pilot Project*.

HULME Mike, 1996, «Climate Change and Southern Africa: an Exploration of some Potential Impacts and Implications in the SADC Region». *Rapport commandé par le FMN International et coordonné par la section de la recherche climatique, UEA, Norwich, Royaume-Uni*, 104 p.

HULME Mike, 2003, «Abrupt climate change: can society cope?» *Tyndall Centre for Climate Change Research and School of Environmental Science, University of East Anglia, Norwich NR4 7TJ, UK* published online 22 July.

- HURLIN C., 2000**, *L'Econométrie des Données de Panel Modèles Linéaires Simples*, Ecole doctorale, Edocif, Paris, France.
- IFPRI 2007**, *International Food Policy Research Institute*, «The Role of Agriculture in Development Implications for Sub-Saharan Africa», Washington USA.
- INSD 2008**, *Institut National de la Statistique et de la Démographie, Annuaire statistique, édition 2008*, année parution 2009, Ouagadougou.
- JURY R. Mark 2001**, *Economic Impacts of Climate Variability in South Africa and Development of Resource Prediction Models*, South Africa.
- LESCUYER G. 2007**, *Valuation techniques applied to tropical forest environmental services: rationale, methods and outcomes*, Accra, Ghana.
- LUXORION, 2005**, *L'eau, l'or bleu*; Revue Scientifique spécialisée dans le domaine de l'eau.
- MERRILL Ann., Todd. ADAMS & D. COLE, 2005**, «Utah cloud seeding program increased runoff/cost analyses»; *Utah department of natural resources, division of water Resources May 2005*, Utah, USA.
- METEOROLOGIE NATIONALE, 2006**, *Changements climatiques et sécurité alimentaire*, Ouagadougou, Burkina Faso.
- MIDA / CSBE – Burkina, Avril 2005**, Situation économique du Burkina Faso, Ouagadougou.
- MIETTON M., 1986**, *Méthodes et efficacité de la lutte contre l'érosion hydrique au Burkina Faso*, Savoie, France.
- MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DE L'ALIMENTATION ET DES AFFAIRES RURALES(2009)**, « La pratique de gestion optimale : Aperçu » ; Ontario, Canada.
- MINTEN B., J.C RANDRIANARISOA, L. RNADRIANARISON, Novembre 2003**, *Agriculture, pauvreté rurale et politiques économiques à Madagascar*, Madagascar.
- PERRY G.M. et GLOVER T.F. 1986**, « Evaluating Precipitation Modification under Drought Conditions for Utah Agriculture» Utah, USA.
- ROGERS Mark, 1998**, «The definition and measurement of productivity», *Melbourne Institute of Applied Economic and Social Research*, Australia.
- SENE louis, 1995**, Réponse de la variété de sorgho ce 145-66 à balimentation en.eau : effets du stress hydrique sur le rendement et la qualité des semences, mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur des travaux agricoles, Sénégal.
- SHIPPEY K. & al. (2004)** «Environmental challenges to operationalisation of South African rainfall enhancement», *Water Institute of South Africa (WISA), Cape Town*.
- SMITH Adam, 1776**, *Recherches sur la nature et les causes de la richesse des nations*.
- STAUFFER N. E. & K. WILLIAMS, 2000**, «Utah cloud seeding program increased runoff/cost analyses»; *Utah department of natural resources, division of water*, Utah, USA.
- SWANSON E. R., HUFF F. A. and CHANGNON S. A.**, «Potential benefits of weather modification for Illinois agriculture 1972, Illinois», *Illinois Agricultural Economics, 1972 [Agricultural & Applied Economics Association](#)*, USA.
- THIOMBIANO T. 2002**, *Econométrie des modèles dynamiques ; édition l'Harmattan, Paris, France*.

VANZYL J., 1993, «Drought and the economy, Indicator SA, Zululand, South Africa».

WOOLDRIDGE J.M., 2002, *Introductory Econometrics: A Modern Approach 2nd edition*, South Western, USA.

World Resources Institute (WRI), The World Conservation Union (WCU) and United Nations Environment Program (UNEP), 1992, *Global Biodiversity Strategy*. Washington, D.C.

ANNEXES

1- La statistique utilisée est la statistique de H et le test est un test

de Wald:
$$H = (\hat{\beta}_{FE} - \hat{\beta}_{RE})' \left[\text{var}(\hat{\beta}_{FE} - \hat{\beta}_{RE}) \right]^{-1} (\hat{\beta}_{FE} - \hat{\beta}_{RE})$$

Les distributions asymptotiques de
$$\left[\text{var}(\hat{\beta}_{FE} - \hat{\beta}_{RE}) \right] = \left[\text{var}(\hat{\beta}_{FE}) - \text{var}(\hat{\beta}_{RE}) \right]$$

D'où
$$H = (\hat{\beta}_{FE} - \hat{\beta}_{RE})' \left[\text{var}(\hat{\beta}_{FE}) - \text{var}(\hat{\beta}_{RE}) \right]^{-1} (\hat{\beta}_{FE} - \hat{\beta}_{RE})$$

La statistique H suit une loi de χ^2 à k-1 degrés de liberté.

Décision : Si $\chi^2_{calculé} < \chi^2_{5\%}$ on accepte H_0 , on peut utiliser avec indifférence les deux modèles, on pourra donc estimer sans risque un modèle à effets aléatoires.

Si $\chi^2_{calculé} > \chi^2_{5\%}$ on rejette H_0 , dans ce cas le modèle est à effets fixes.

2- Test de Hausman

a-Test de Hausman pour le maïs

| Test | 1993 à 1997 | 1998 à 2002 |
|--|---|---------------|
| H_0 | différence in coefficients not systematic | |
| chi2(5) | $(b-B)'[(V_b - V_B)^{-1}](b-B)$ | |
| chi2(5) | 9,35 | 67,62 |
| Prob>chi2 | 0,0958 | 0,0000 |
| Nombre d'observations = 40 Nombre de groupes = 8 Nombre d'années = 5 | b = consistant sous H_0 and H_1 ; obtenu de xtreg B = inconsistant sous H_1 , efficient sous H_0 ; obtenu par régression xtreg | |

Source : Estimation données d'enquête

b-Test de Hausman pour le mil

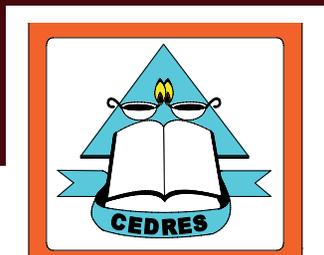
| Test | 1993 à 1997 | 1998 à 2002 |
|--|--|---------------|
| H_0 | difference in coefficients not systematic | |
| chi2(5) | $(b-B)'[(V_b-V_B)^{-1}](b-B)$ | |
| chi2(5) | 12,285 | 3,72 |
| Prob>chi2 | 0,0312 | 0,5905 |
| Nombre d'observations = 40 Nombre de groupes = 8 Nombre d'années = 5 | b = consistent under H_0 and H_a ; obtained from xtreg B = inconsistent under H_a , efficient under H_0 ; obtained from xtreg | |

Source : Estimation données d'enquête

c-Test de Hausman pour le sorgho

| Test | 1993 à 1997 | 1998 à 2002 |
|--|--|---------------|
| H_0 | difference in coefficients not systematic | |
| chi2(4) | $(b-B)'[(V_b-V_B)^{-1}](b-B)$ | |
| chi2(4) | 6,10 | 8,20 |
| Prob>chi2 | 0,1915 | 0,0844 |
| Nombre d'observations = 40 Nombre de groupes = 8 Nombre d'années = 5 | b = consistent under H_0 and H_a ; obtained from xtreg B = inconsistent under H_a , efficient under H_0 ; obtained from xtreg | |

Source : Estimation données d'enquête



03 BP 7210 Ouagadougou 03. Burkina Faso
Tél. : (+226) 25 33 16 36 Fax : (+226) 25 31 26 86
Email : lecourrier@cedres.bf , Site web : www.cedres.bf