

L'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA SECURITE ALIMENTAIRE AU SENEGAL

Ahmadou LY¹

Version Provisoire : Août 2014

Résumé :

La sécurité alimentaire constitue un problème majeur au Sénégal avec une tendance sans cesse croissante. Ses effets se font ressentir sur sa population où le taux de malnutrition aigue est très élevé pour les enfants âgés de moins de 5 ans. En outre, le Sénégal, dans sa configuration, a une agriculture qui cristallise 70% de la population active et est fortement tributaire des conditions climatiques. Or, le changement climatique qui est d'actualité tend à rendre plus vulnérables les populations. L'objectif de ce papier est d'évaluer les effets et l'ampleur du changement climatique sur le niveau de sécurité alimentaire. A travers le modèle ricardien, l'étude a montré que le changement des conditions climatiques a des effets significatifs sur la production agricole, sur la consommation kilo-calorique et sur la durée de la période de soudure. En outre, les résultats obtenus indiquent que le changement climatique aura des effets brusques qui amplifieront la vulnérabilité des populations, rurales en grande partie.

Mots clés : Sécurité alimentaire, changement climatique, modèle ricardien, environnement, agriculture

¹ Titulaire d'un Master 2 Recherche en Economie Quantitative et candidat au doctorat en Sciences Economiques à l'Université de Saint-Louis du Sénégal pour Octobre 2014

INTRODUCTION

La sécurité alimentaire est un concept ayant trait à une nourriture en quantité et qualité suffisantes dont une population a en sa disposition. Pour qu'elle puisse exister, il faut que quatre conditions soient réunies, à savoir sa disponibilité, son accès, la stabilité (politique, climatique) ainsi que sa qualité. Son concept va ainsi au delà des considérations quantitatives que l'autosuffisance alimentaire impose. La FAO la définit comme étant « la capacité physique et économique, pour chaque individu, d'assurer ses besoins alimentaires ». Selon le Rapport en 2012 de la FAO sur « L'état de l'insécurité alimentaire dans le monde », la croissance économique, telle qu'elle est aujourd'hui, ne permettra pas d'atteindre l'un des OMD (Objectifs du Millénaire pour le Développement) en faveur de la lutte contre la faim et l'extrême pauvreté. Le même rapport indique qu'en Afrique subsaharienne, 26.8% de la population sont sous-alimentés, soit le taux le plus élevé dans toutes les régions du monde ayant également un fort taux de croissance démographique. Le Sénégal, faisant partie de cette région, connaît dans cette lancée des retards dans l'accomplissement de cet objectif.

Or, il s'agit d'un pays où la majeure partie de la population est d'origine rurale, dont les principaux moyens de subsistance proviennent de leurs activités agricoles, car représentant 18% du PIB. L'agriculture sénégalaise, bien qu'elle tende à se moderniser, reste encore une activité utilisant des moyens rudimentaires et est largement tributaire de facteurs climatiques à l'image de la pluviométrie. De plus, la monoculture de l'arachide reste fortement prépondérante dans ce pays de l'Afrique subsaharienne. Installée depuis le XVIIe siècle, elle constitue la principale culture du pays et en fait le quatrième producteur mondial. Selon Shah et al (2008), tous les scénarios climatiques montrent que le Sénégal fait partie des pays d'Afrique Sub-Saharienne qui perdront d'ici 2080 leur production céréalière potentielle. La configuration climatique du Sénégal fait que c'est un pays arrosé pendant trois mois alors que le reste de l'année constitue la saison sèche. Depuis quelques années, le pays assiste à des évolutions irrégulières de son climat. En effet, il est noté de plus en plus un déficit pluviométrique qui influence directement les niveaux de production agricole.

Dans le Rapport national sur le développement humain du Sénégal, la vulnérabilité du Sénégal face au changement climatique est mise en évidence ainsi que l'ampleur de

cette mutation dans le moyen terme. Bien que conscient du changement climatique, il n'en est pas moins affecté par les conséquences qui tendent à rendre sa population plus vulnérable. En effet, il est attendu une accentuation des surfaces arides, principalement dans le Nord, une augmentation du niveau des températures ainsi qu'une baisse de la pluviométrie. Les terres arables représentant 19% du territoire national et 70% de la population active se trouvant dans le milieu agricole, la menace dans ce secteur aurait des effets très néfastes pour l'économie nationale. Les populations y tirent leurs principales ressources. La redynamisation de l'agriculture pourrait être un bon moyen pour réduire la faim ainsi que participer à atteindre la sécurité alimentaire. Dans beaucoup de pays, l'effet de l'activité agricole a permis d'y réduire la pauvreté², notamment en leur dotant d'une activité génératrice de revenus et leur permettant de subvenir aux besoins primaires de subsistance.

Ce sujet présente plusieurs intérêts particuliers dans le cadre où il permet de connaître les véritables effets et conséquences du changement climatique sur les capacités du Sénégal à lutter pour sa sécurité alimentaire, notamment dans la fourniture à sa population des moyens de subvenir à ses besoins en céréales. En outre, le Sénégal s'est engagé d'ici 2015 à réduire de moitié le nombre de personnes souffrant de pauvreté extrême et de faim. En outre, cette étude, de par son approche économétrique se base sur le modèle ricardien et se déclinera en données de panel. Une telle approche n'est pas souvent adoptée dans la mesure où la plupart des études pour un tel sujet se font par régressions en *pooling*.

Il s'agira de répondre ici à la question centrale de savoir si la pluviométrie ainsi que les températures pourraient avoir des effets sur les capacités du Sénégal à assurer à sa population un niveau de sécurité alimentaire durable. A cet effet, tous les outils nécessaires à la compréhension de cette dynamique seront mis à rude épreuve. L'outil économétrique sera mis à profit avec une interprétation des résultats qui permettra d'évaluer la situation. Il permettra de plus d'enrichir la recherche scientifique sur ce domaine particulier qui est devenu un défi majeur pour des pays en développement comme le Sénégal.

Afin de mener une réflexion sur ce thème, le travail sera structuré autour de trois parties. Une première partie sera consacrée à une revue de la littérature sur l'impact de la pluviométrie sur la sécurité alimentaire dans le but de connaître l'apport ainsi que les méthodes utilisées par les différents auteurs qui ont eu à travailler sur ce thème. Ensuite, il s'agira d'exposer des faits stylisés qui permettront de connaître la situation du Sénégal sur la sécurité alimentaire ainsi que l'évolution de sa pluviométrie avec les disparités afférentes aux différentes régions. La dernière partie de l'étude consistera à faire une étude économétrique à travers un modèle préalablement choisi ainsi que des variables sélectionnées pour mettre en lumière les effets de ce changement climatique sur la question de la sécurité alimentaire.

I. REVUE DE LA LITTÉRATURE SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ET LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE

La sécurité alimentaire semble être un concept complexe et multidimensionnel, difficile à capter suivant un seul angle ou indicateur (Sulo et Chelangat, 2012). Il est à

la croisée de nombreux domaines, notamment économique, social, historique... Sa mesure en est tout autant difficile lorsqu'il s'agit d'en évaluer l'ampleur, les causes et les conséquences qui en découleraient. Le changement climatique qui se matérialise avec une baisse de la pluviométrie durable, une élévation accrue du niveau des mers, des inondations récurrentes, une augmentation de la température... pourrait mettre, d'ici 2080, quelques 600 millions de personnes de plus en situation de malnutrition, mais aussi porter le nombre de personnes rencontrant des problèmes d'eau à 1.8 milliard (PNUD, 2008). Or, l'agriculture constitue l'un des piliers des économies africaines qui puisent une partie de leurs PIB dans ce secteur avec 70 à 80% de leurs populations qui sont investies dans le domaine agricole (Ludi, 2009).

Aujourd'hui, le phénomène de changement climatique semble un fait avéré et validé par de nombreux scientifiques (Hay et al, 2003 ; Parry et al, 1999 ; Kotir, 2011). Sa modification peut induire une variabilité de sa production, et dans la même logique une variabilité des prix au niveau du marché national ou international causant, de fait, un risque pour les populations à disposer des biens nécessaires à leur survie. Beaucoup imputent cette modification à l'action de l'homme dans ses activités de production, de consommation, de transformation de son environnement. Il est par contre important d'en connaître la dynamique ainsi que son impact afin de prédire et de mettre en place des recommandations de politique économique. Dans un premier temps, il s'agit alors de mettre au centre de l'analyse l'approche conceptuelle que la sécurité alimentaire a bénéficiée dans la théorie. Dans ce cadre, la sécurité alimentaire semble faire référence à trois conditions : la disponibilité alimentaire (production, distribution, échange), l'accès (allocation, préférences, pouvoir d'achat) ainsi que l'utilisation (valeur nutritive, valeur sociale) (GECAFS, 2008). Par contre, la production agricole n'est plus la seule variable suffisante capable d'expliquer le niveau car les autres précitées font maintenant partie intégrante dans l'analyse de la sécurité alimentaire.

Dans son approche conceptuelle, beaucoup d'auteurs se réfèrent à la définition de la FAO de la sécurité alimentaire qui exige que « tous les hommes, en tout temps, ont un accès physique et économique à une alimentation saine et nutritive qui répond aux besoins diététiques et aux préférences alimentaires pour une vie saine et active » (FAO, 1996). Maxwell et Smith (1990) explicitent la définition de la FAO en notant qu'elle renvoie à « une nourriture qui atteint les besoins calorifiques nécessaires pour

une vie saine et active ; l'accès à la nourriture défini comme le droit à la production, à l'achat, à l'échange, ou à la réception en tant que présent ; la sécurité définie comme l'équilibre entre la vulnérabilité, le risque et l'assurance ; et le temps, où l'insécurité alimentaire peut être chronique, transitoire ou cyclique ». Ainsi, il existe deux types d'insécurité, à savoir l'insécurité alimentaire chronique et celle transitoire. La première renvoie à son caractère durable et persistant du fait d'une incapacité régulière à accéder aux biens de subsistance où la pauvreté est son soubassement. Quant à celle transitoire, elle apparaît seulement lorsqu'il y a un choc, notamment sur les prix des denrées, qui lorsqu'elle est accrue peut aboutir à une famine (Braun et al, 1992). Srinivasan et Jha (1999) abondent dans le même sens en affirmant qu'elle est causée par les fluctuations sur la production agricole qui sont pour la plupart dues à des conditions climatiques incertaines.

Quant à la vulnérabilité, de manière large, elle fait référence selon Blaikie et al (2003) aux « caractéristiques d'une personne ou d'un groupe et leur situation qui influence leur capacité à anticiper, à faire face, à résister, et à se remettre de l'impact d'un aléa naturel ». Dans ce contexte, elle peut différer d'un individu à un autre ou d'un groupe à un autre selon les caractéristiques. Ainsi, les considérations d'ordre ethnique, de genre, d'âge, de position géographique, de capacité physique ou financière... ne sont pas occultées. De plus dans sa définition, la dimension temps est prise en compte dans la mesure où elle ne renvoie pas systématiquement à l'état actuel des individus, mais aussi les risques de voir des aléas naturels survenir. Lorsqu'elle est appliquée au changement climatique, la vulnérabilité désigne pour Houghton et al (2001) comme le niveau « pour lequel un système est susceptible, ou incapable de faire face aux effets néfastes du changement climatique, en incluant la variabilité climatique et ses extrêmes ». La vulnérabilité est fonction du caractère, du rythme et de l'ampleur de variation climatique auquel un système est exposé, ainsi que sa sensibilité et sa capacité d'adaptation. Lorsqu'il y a une variabilité du climat, il s'agit de se poser la question de savoir comme l'environnement en lui même fait face à cette situation et quelle est l'ampleur de son adaptation envers un tel phénomène.

A travers une étude sur la localisation climatique des personnes atteintes d'insécurité alimentaire, d'intéressants résultats peuvent s'y dégager. C'est dans ce cadre que Broca et Oram (1991) trouvèrent que la majeure partie des pauvres en Afrique subsaharienne est localisée dans les zones arides pendant que celle d'Asie du Sud était

concentrée dans les zones chaudes. Cependant, ces évaluations sont encore critiquées car dépendant fortement du niveau des revenus et ne prenant pas en compte la disponibilité et l'accès, facteurs clés dans la sécurité alimentaire.

Le lien qui existe entre le changement climatique et le secteur agricole est un fait accepté par beaucoup d'auteurs à l'image de Parry et al (1999). Il est même admis que l'un des secteurs qui seront le plus durement touchés par le changement climatique reste l'agriculture (Cline, 2007). Elle sera encore beaucoup plus accentuée dans les pays en développement qui dépendent fortement de l'agriculture. Les capacités des pays à y faire face restent la question cruciale qu'il faudrait s'interroger. A ce titre, Smith et al (2001) pensent que les pays en développement seront plus vulnérables au changement climatique que les pays développés et particulièrement pour l'Afrique Subsaharienne. Le changement climatique se manifeste notamment avec une modification de la pluviométrie, des changements dans les températures, des conditions climatiques extrêmes tels les ouragans, les inondations, la sécheresse...

Cependant, il faut reconnaître qu'il est un élément complexe à mettre en lumière du fait de ses multiples interactions et des nombreux paramètres qui y contribuent (Bosello et Zhang, 2007). A la question du comment, Houghton (1994) pense que ce changement climatique affectera le secteur agricole, véritable pourvoyeur d'une sécurité alimentaire durable, sous trois aspects. Ainsi, les mutations qui s'opèrent au niveau de la température et des précipitations peuvent induire des effets néfastes sur l'humidité des sols puisque les conditions d'irrigation des terres seront de moins en moins réunies. Dans le second aspect, ce changement climatique, à travers la température, va affecter le niveau de revenu des agriculteurs dans la mesure où chaque culture a un seuil de tolérance spécifique relativement à la température. A cet effet, une forte baisse ou une forte hausse tendra à détruire les cultures qui ne pourront accorder des revenus aux propriétaires. Enfin, une plus importante concentration de carbone peut permettre une croissance plus rapide de certaines cultures.

Il s'agit aussi de reconnaître que le changement climatique est responsable d'évènements catastrophiques dans le secteur agricole tel El Niño entre 1991-1992 qui causa une baisse brutale de la production de céréales de 60% dans la région latine de l'Afrique. Une autre des expressions du changement climatique peut être perçue à travers la modification des sols qui deviennent de moins en moins fertiles pour

certaines zones du globe. En effet, elle s'affirme être une variable clé dans la production, mais aussi sur les revenus des agriculteurs.

L'une des zones qui semblent être les plus touchées est l'Afrique. Hulme et al (2005) notent que le continent africain dispose d'un climat généralement chaud et sec avec des tendances qui montrent un réchauffement plus aigu par rapport à un siècle auparavant. Les modèles de prédiction du futur vont plus loin en affirmant que les températures moyennes en Afrique augmenteront à la fin du siècle entre 0.3°C et 4°C (Boko et al, 2007). Quant à la pluviométrie, une certaine variabilité y est notée en Afrique avec des différences suivant les régions. Le Sahel observe une variabilité multi décennale avec une sécheresse patente ; l'Afrique Orientale offre un aspect plutôt équilibré avec une humidité de long-terme ; l'Afrique du Sud-Est offre une situation stable (Hulme et al, 2005). Afin de capter l'impact du changement climatique sur l'agriculture, trois principales méthodes existent dans la littérature : les modèles de simulation des cultures, les modèles de zone agro-écologique (AEZ) et les modèles ricardiens en coupe transversale (Kotir, 2011).

Les modèles de simulation des cultures analysent l'impact direct du changement climatique sur les cultures prises individuellement et requièrent un certain nombre de données. A ce titre, des données relatives au sol, au temps, aux plantes, les parasites néfastes aux plantes ainsi que la gestion des cultures en elles mêmes seront mises à profit pour générer le modèle. Les données sur le temps peuvent contenir les températures (minimales et maximales), la pluviométrie, l'humidité relative, le rayonnement solaire, la vitesse du vent. Quant à celles relatives aux plantes, on peut citer la variété, la phénologie (jours de floraison, maturation,...), l'indice de surface foliaire, le rendement... Celles des sols concernent l'épaisseur de la couche du sol, le carbone organique présent, la texture du sol, l'humidité, la saturation. Dans les données sur la gestion, il faut prendre en compte la date de semis point de départ de la simulation, la dose et la profondeur des semis, l'utilisation d'engrais. Enfin les parasites prennent en compte le type d'insectes nuisibles, leur mode d'attaque, la population... L'un des aspects intéressants du modèle de simulation est qu'il permet d'évaluer les effets d'une augmentation de la température sur le développement et le rendement des cultures et d'analyser l'impact des stratégies d'adaptation face au changement climatique (Forrester, 1961). Le large éventail de données pour mettre en place un modèle de simulation de cultures constitue l'un de ses principaux atouts qui

font qu'il tente de bien restituer la réalité et d'appréhender les problèmes avec beaucoup plus de fiabilité. Cependant cet atout représente aussi son inconvénient manifeste dans la mesure où il n'est pas aisé d'acquérir ou de construire toute cette palette d'informations.

Les zones agro-écologiques ont été développées par la FAO (1978) et Kurukulasuriya et Mendelsohn (2008b) feront partie de ceux qui l'utiliseront dans le but d'évaluer l'impact du changement climatique sur l'agriculture. Ils se basent sur les zones agro-écologiques que la FAO (2003) a définies. Les données requises pour établir le modèle concernent les revenus nets par hectare ainsi que le ratio moyen de terres mises en culture sur l'ensemble de la zone agro-écologique, les sols, le drainage, les données relatives aux conditions climatiques (température, pluviométrie,...). A partir d'un modèle économétrique logit-multinominal qui permet d'évaluer la probabilité de distribution des zones agro-écologiques suivant leurs caractéristiques, il leur a été possible de comprendre comment le changement climatique pourrait altérer cette distribution. Cette probabilité est donnée par :

$$P_{nj} = \frac{e^{Z_{nj}\gamma_j + C_{nj}B_j}}{\sum_{k=1}^J e^{Z_{nk}\gamma_k + C_{nk}B_k}}$$

Où γ_j et B_j sont les vecteurs des coefficients estimés, Z_{nj} est un vecteur du sol et des caractéristiques de l'altitude, C_{nj} est un vecteur des coefficients du climat. A partir d'un scénario de changement climatique, les probabilités pour connaître comment les zones agro-écologiques se modifient lorsque le climat change sont déterminées.

Dans l'approche ricardienne, il est aussi question de déterminer l'impact du changement climatique sur la sécurité alimentaire à travers l'agriculture. Elle permet dans ce sillage de modéliser cet impact ainsi que son ampleur sur l'agriculture. L'un des éléments positifs de ce modèle est qu'il prend en compte les adaptations des agriculteurs pris individuellement avec le changement climatique. Ainsi à travers cette optique microéconomique, le modèle ricardien évalue l'impact du changement climatique sur l'agriculture tout en explorant les comportements des agriculteurs dans leurs stratégies adaptatives, notamment lorsqu'ils opèrent au cours du temps des substitutions indirectes d'intrants, ou introduisent de nouvelles activités (Ouédraogo, 2008). Le modèle ricardien dans son élaboration prend d'abord en compte la gamme

de choix qui sont offerts à chaque agriculteur pour ce qui est du type de terre (cultures irriguées, cultures pluviales, cultures mixtes...). Suivant le type désiré, il faudra considérer les inputs et les outputs qui maximisent le revenu net (Seo et Mendelsohn, 2008).

Cependant, l'une des faiblesses du modèle ricardien est qu'il ne prend pas en compte les coûts transitoires de l'introduction de nouvelles cultures qui, pour les premières saisons, occasionnent une probabilité plus forte d'échec dû notamment au fait que l'agriculteur n'en connaît pas parfois les caractéristiques qui lui sont inhérentes et qu'il doit apprendre à connaître ces cultures ainsi que l'environnement qui est favorable à son développement. En outre, l'hypothèse faite sur des prix constants peut entraîner un biais, mésestimant de fait les véritables coûts durant les périodes concernées. Comparé aux modèles de simulation des cultures, le modèle ricardien semble moins pessimiste dans la mesure où il évalue les effets du changement climatique en deçà du niveau estimé par les modèles de simulation des cultures. Cela peut s'expliquer par le fait que le modèle ricardien prend en compte les stratégies d'adaptation, endogènes dans le modèle, utilisées par les agriculteurs pour faire face au changement climatique alors que dans les modèles de simulation de cultures, elles sont exogènes et sont arbitrairement incorporées dans le modèle (Kurukulasuriya et Mendelsohn, 2008b). On peut encore relever d'autres limites du modèle ricardien puisqu'il raisonne à prix constants alors que ceux-ci se modifient beaucoup dans le temps pouvant ainsi suggérer des biais non négligeables dans la détermination de l'impact du changement climatique. D'autres variables telle que la disponibilité de l'eau ne sont pas prises en compte dans le modèle ricardien. La formulation de la méthode ricardienne s'énonce comme suit (Kurukulasuriya et al, 2006):

$$R = \sum P_i Q_i(X, F, H, Z, G) - \sum P_x X$$

Où R est le revenu net par hectare, P_i est le prix du marché de la culture i , Q_i est l'output de la culture i , X est un vecteur d'inputs achetés (autres que la terre), H le flux de l'eau, F est un vecteur de variables du climat, Z est un ensemble de variable relatives au sol, G est un ensemble de variables économiques telles que l'accès au marché et P_x est un vecteur des prix d'inputs. Le revenu net est défini ici comment étant le revenu brut auquel on déduit les coûts de transport, de stockage, de

fertilisants, de pesticides... La version standard du modèle s'exprimera comme suit :

$$R = \beta_0 + \beta_1 F + \beta_2 F^2 + \beta_3 Z + \beta_4 G + \beta_5 \log(H) + \mu$$

Avec μ représentant le terme d'erreur, F et F^2 représentant respectivement les termes linéaire et quadratique de la variable climat. Le terme quadratique prend en compte l'effet non linéaire de la relation entre les revenus nets et le climat (Ouédraogo, 2012).

Mariara et Karanja (2006) analysent l'impact du changement climatique sur le revenu net agricole par are au Kenya à partir d'un modèle ricardien. Sur un échantillon de 816 ménages kenyans, les variables clés étaient définies entre le revenu agricole net, les taux de salaire ainsi que les précipitations, les températures, les indices d'humidité du sol pour les variables climatiques. A travers trois variantes du modèle, à savoir l'impact des variables climatologiques seulement, l'impact des variables hydrologiques et du sol, ainsi que l'impact des caractéristiques des ménages, ils cherchent à connaître l'impact du changement climatique sur les revenus des agriculteurs. Les variables hydrologiques ont un véritable impact sur le revenu agricole. Les impacts marginaux des températures d'hiver sur les productions sont positifs alors que les températures d'été le sont négativement sur le revenu net agricole. Les effets marginaux des précipitations sont plus faibles que les températures bien qu'elles présentent des élasticités plus élevées. Ainsi, à travers cet article, il semble important de rappeler que le changement climatique a des effets non négligeables sur l'agriculture kenyane, notamment sur la productivité et les revenus issus du secteur agricole.

La même approche ricardienne sera adoptée par Kurukulasuriya et Mendelsohn (2008) avec une étude concernant 11 pays africains où 9064 agriculteurs étaient choisis aléatoirement suivant les régions. Au travers de cette enquête, trois variantes du modèle vont être mises à épreuve. L'une prenant en compte toutes les terres mises en culture, la seconde se focalisant uniquement sur les terres irriguées pendant que la troisième s'intéresse aux terres qui sont uniquement tributaires des précipitations. Dans leurs résultats, les modèles expliquent respectivement 35%, 17% et 29% de la variation du revenu net agricole. L'effet des variables climatiques varie suivant les modèles. En effet, il faut noter une relation négative de la température sur le revenu net des terres tributaires des précipitations pendant qu'elle est positive pour le revenu

net issu des terres irriguées. Bien que dans le cadre général (les terres prises dans leur globalité) l'impact des précipitations soit nettement visible, il l'est encore plus pour les terres tributaires des précipitations que pour les terres irriguées qui sont quant à elles moins vulnérables face au changement climatique. De plus, les élasticités des variables climatiques par rapport au revenu net montrent encore que les terres arides sont plus sensibles au climat que les terres irriguées. En effet, l'élasticité de la température pour les zones arides est de -1.9 alors que celle des terres irriguées s'élève à +0.6.

A partir d'un échantillon de 1530 exploitations agricoles, Ouédraogo (2012) étudie, à partir d'un modèle ricardien, l'impact du changement climatique sur les revenus nets des agriculteurs. Ses résultats montrent une relation positive, pour des proportions modérées, de la température et des précipitations sur le revenu net agricole. En outre, les précipitations entretiennent une relation positive avec les revenus agricoles (augmentation de 2.70\$US/hectare pour une variation des précipitations moyennes annuelles de 1mm). Par contre, une augmentation de 1°C des températures moyennes annuelles entraîne une baisse des revenus nets agricoles de 19.9\$US/hectare. Les élasticités des variables climatiques montrent une nette sensibilité des revenus agricoles sur les précipitations. Il s'agira enfin d'établir une prédiction sur l'impact futur du changement climatique sur les revenus agricoles au Burkina Faso à partir d'un scénario où il y aurait une augmentation de la température de 2.5°C et de 5°C et une diminution moyenne de la pluviométrie entre 7% et 14%. Cette hausse de la température entraînera alors une baisse respectivement de 46% et de 93% des revenus agricoles alors que la baisse de pluviométrie de 7% induira une variation du revenu net agricole avoisinant -215\$US/hectare.

II. EVOLUTION CLIMATIQUE ET SITUATION DE LA SECURITE ALIMENTAIRE AU SENEGAL

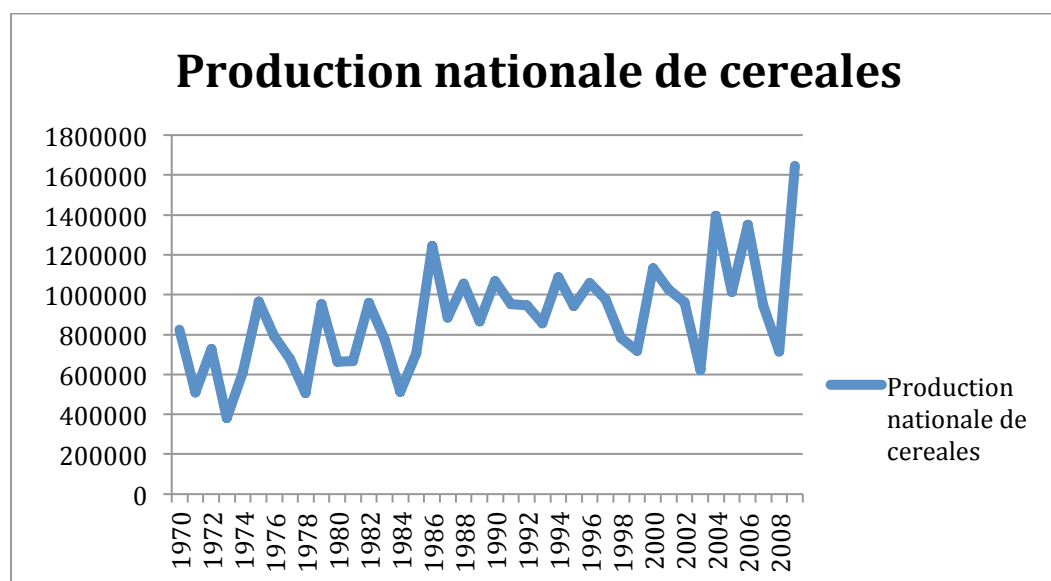
Le Sénégal, malgré les multiples politiques mises en place par les autorités pour redynamiser la production à des fins alimentaires, voit encore le secteur de l'agriculture en situation de fragilité. Dans le termes « autres disponibilités », on y

retrouve la production nationale relatives autres cultures, les importations ainsi que les aides alimentaires qui proviennent de l'extérieur.

Dans l'alimentation de base, les céréales occupent une place de choix et qui se déclinent sous plusieurs formes dans sa préparation locale. Elles constituent un élément essentiel dans son apport énergétique (50%)³ et qui se caractérisent aussi par la prédominance du riz, aliment de base chez les sénégalais. Les céréales occupent une place prépondérante, car constituant 60% de la consommation de base. L'analyse graphique de la figure qui suit montre une évolution en dents de scie de la production céréalière avec un pic jamais atteint récemment en 2009. Cependant, il est important de remarquer que certaines années se sont traduites par une baisse non négligeable de la production, à l'image récemment de 2008. En effet, elle peut être imputée à la crise alimentaire mondiale qui a sévi durant cette période avec l'augmentation du prix des matières premières agricoles. De plus, elle a coïncidé avec la réduction drastique des terres arables en Asie, du fait du réchauffement climatique. Or, le Sénégal est un pays importateur de céréales dans cette partie du monde, principalement du riz. Par contre, au-delà de l'année 2008, la production s'est très nettement améliorée. Ce bond peut être imputé comme étant une réponse aux politiques agricoles pour booster la production de la GOANA. En outre, il faut préciser que l'agriculture sénégalaise est essentiellement tributaire d'une pluviométrie irrégulière qui fait qu'il y a une production céréalière instable dans le temps.

³ Ministère de l'Agriculture (2002), La stratégie nationale de sécurité alimentaire au Sénégal

Figure 1 : Production Nation de céréales entre 1970 et 2009

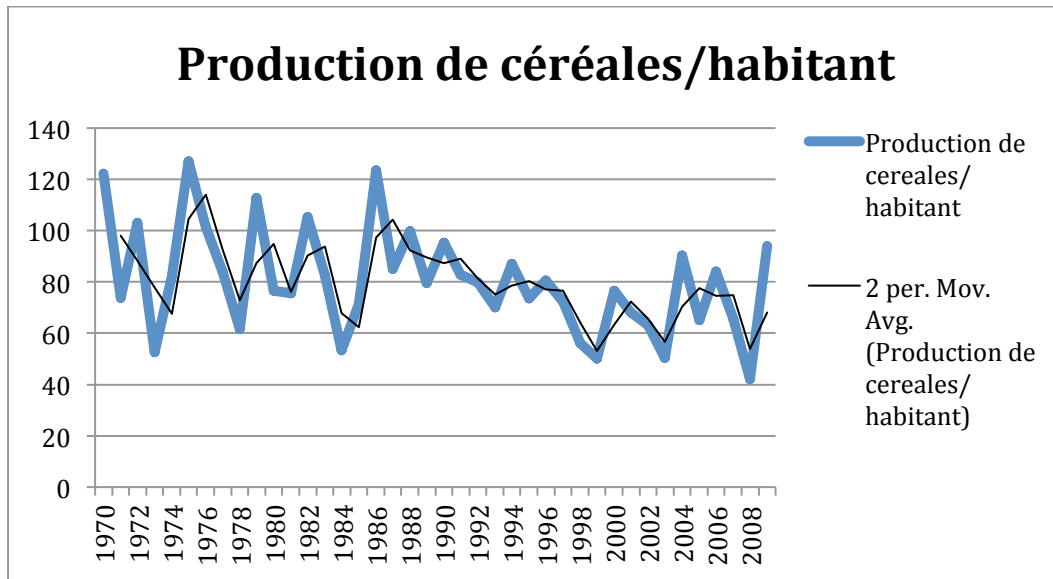


Source : Base de données des indicateurs sociaux du Sénégal (BADIS)

Certes, la production nationale tend à suivre relativement une progression positive, mais arrive t-elle à nourrir la population qui elle aussi atteint un taux de croissance de 2.5% pour une population évaluée en 2013 à près de 13 millions de personnes⁴ ? Avec la figure 3, quelques éléments de réponses peuvent y être apportés. A partir de 1986, cette production tend à diminuer de manière régulière avec même un niveau faible jamais atteint en 2008 pour 42 Kg/habitant par an. En effet, le taux de croissance de la production de céréales est très en deçà du taux de croissance démographique. Cette valeur est bien en deçà de la norme de consommation céréalière qui est de 159 Kg par personne et par an, seuil qui n'a d'ailleurs jamais été atteint. Cela correspond ainsi à la récente crise alimentaire mondiale de 2008 qui a été énoncée un peu plus haut.

⁴ ANSD (2013), Recensement Général de la Population et de l'Habitat, de l'Agriculture et de l'Élevage. Ce rapport est encore provisoire puisque le recensement national est très récent. La version définitive est attendue sous peu. Par contre, les principales statistiques et conclusions de la version provisoire sont fiables et peuvent être tenues comme celles qui figureront dans celle définitive.

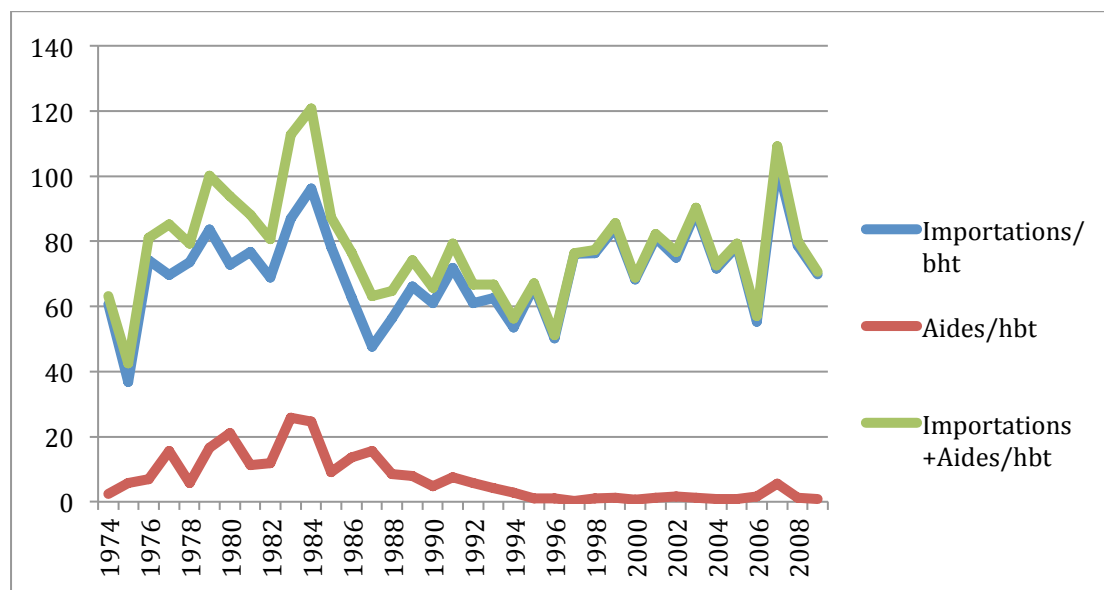
Figure 2 : Production de céréales par habitant (en Kilogrammes)



Source : Base de Données des Indicateurs Sociaux (BADIS)

A cette production, les disponibilités sont complétées par les importations et les aides alimentaires. Ne disposant pas d'une production suffisante et également répartie sur le territoire, le Sénégal se trouve ainsi contraint de trouver des ressources additionnelles pour répondre à la demande nationale. A cet effet, les importations constituent la première alternative face à la demande non satisfaite par la production locale. S'y ajoutent aussi l'aide alimentaire aux pays en développement ou en situation de crise comme le Sénégal provenant des pays développés partenaires. Lorsqu'il s'agit d'analyser les courbes d'importations par habitant et d'aide alimentaire par habitant, la prédominance des importations, relativement à l'aide alimentaire, est évidente. Elle est tellement importante que parfois elle dépasse la production nationale, ce qui va à l'encontre des objectifs d'autosuffisance alimentaire que le Sénégal se fixe comme objectif. A titre illustratif, les importations par habitant se sont élevées à 120 Kg/habitant en 1984 alors la production par habitant pour la même année s'était chiffrée à 53 Kg par habitant, soit plus du double. Ainsi, l'objectif de « sécurité » alimentaire est, en partie, confié au commerce extérieur faisant ainsi subir au pays tous les chocs exogènes (notamment les conséquences climatiques), faisant de ce fait importer en même temps les fluctuations de prix de l'extérieur ainsi que les pressions sur leurs disponibilités.

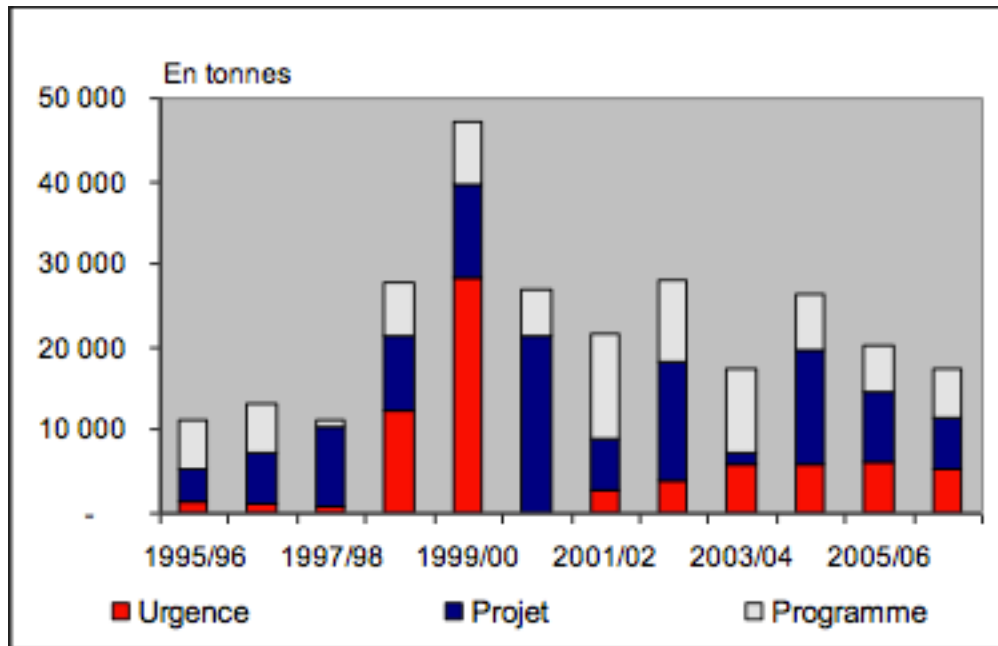
Figure 3 : Evolution des importations par habitant et des aides alimentaires par habitant



Source : Base de Données des Indicateurs Sociaux (BADIS)

Quant à l'aide alimentaire, elle reste très marginale par rapport aux importations et à la production. Cette aide alimentaire provient pour une importante partie de l'étranger (Japon, Union européenne, France...). Comme l'indique le graphique suivant, l'aide alimentaire d'urgence a considérablement diminué, passant de près de 27000 tonnes en 1999/2000 à 5000 tonnes en 2005/2006.

Figure 4 : Evolution de l'aide alimentaire en fonction des différentes catégories (programme, projet et urgence)



Source : CSAO-CILSS (2008) in *Interfais* (2007)

II.1. Etat de l'accessibilité des ressources alimentaires au Sénégal

L'accessibilité renvoie aux capacités (physiques, financières, sociales,...) des populations à pouvoir se procurer de ressources alimentaires selon les besoins de base recommandés. Selon le rapport du CILSS⁵, les besoins de base recommandés au Sénégal s'élèvent à 2200 calories par personne et par jour. Le niveau est légèrement plus élevé selon le CSAO-CILSS (2008) qui l'évalue à 2400 calories par équivalent par adulte⁶.

Le niveau de revenu peut constituer, en partie, un bon indicateur pour évaluer le degré d'accessibilité des populations aux ressources alimentaires. La faiblesse des revenus est une des causes essentielles du niveau de pauvreté et d'insécurité alimentaire. En effet, l'aspect monétaire est une condition essentielle pour s'approvisionner au niveau des marchés par exemple. Or, plus de 50% des revenus des ménages ruraux sénégalais sont consacrés à l'alimentation alors que ceux urbains se situent entre en 36% et

⁵ CILSS (2004), Normes de consommation des principaux produits alimentaires dans les pays du CILSS

⁶ Les niveaux de consommation diffèrent d'une étude à une autre et peuvent intégrer un très grand nombre de variables avec des méthodes de calcul qui ne sont pas toujours identiques.

47%⁷, niveaux qui sont largement plus importants que ceux alloués à l'éducation ou à la santé. Selon le même rapport de la DAPS (2011), la valeur des produits autoconsommés se situe entre 9% et 13% des revenus, suivant les conditions climatiques qui exercent une influence non négligeable sur la production agricole. L'analyse faite par les différentes enquêtes sénégalaises auprès des ménages (ESAM I et II) est riche en enseignements. Du point de vue de la structure des dépenses des ménages, les dépenses alimentaires en zone urbaine se sont accrues de 10.2%, alors qu'en zone rurale elles ont plutôt accusé une nette baisse de 5.4% entre 1995 et 2002. Ces modes d'acquisition de ressources alimentaires sont au nombre de trois : l'achat, l'autoconsommation et les « autres modes » où sont concentrés les choix alternatifs d'acquisition tels que le troc et qui sont généralement à la marge. L'achat représente le mode d'acquisition le plus important avec 99.2% en zone urbaine et 76.2% en zone rurale. L'autoconsommation en zone rurale ne concerne que 11.2% et avait baissé entre 1995 et 2002 de 11.8%. Cette situation peut être expliquée par la raréfaction de certaines ressources dues notamment aux cycles de sécheresse.

Pour ce qui est de la pauvreté alimentaire, l'ESAM-II utilise comme référentiel 2400 calories par jour pour un panier de base qui, pour toute personne en deçà de ce seuil, est considérée comme étant dans une zone d'extrême pauvreté. Les résultats ont montré que les niveaux de pauvreté sont très accentués en zone rurale et la baisse de la pauvreté entre 1995 et 2002 est plus significative en zone urbaine que rurale.

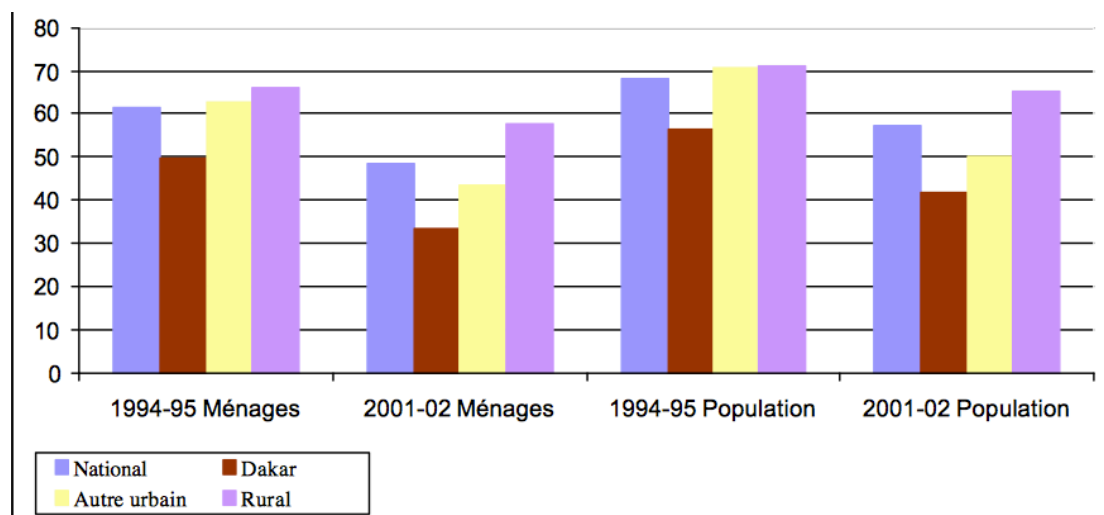
Ce niveau de pauvreté est plus accentué dans les zones rurales. De la même manière, durant les périodes d'excédent pluviométrique, l'indice de pauvreté tend à baisser avec une amélioration plus marquée en zone urbaine, due notamment à un accroissement de l'offre qui implique une pression à la baisse du niveau des prix.

Les tendances de la pauvreté, selon une approche spatiale, indiquent que la pauvreté a légèrement baissé au Sénégal entre 1994 et 2002. Elle est beaucoup plus visible en milieu urbain qu'en milieu rural. Le Rapport sur la pauvreté au Sénégal du Ministère de l'Economie et des Finances fait même état d'une pauvreté très forte dans le Sud (60%) avec des régions comme Ziguinchor ou Kolda qui font partie des zones les plus arrosées en pluviométrie au Sénégal, mais aussi d'une pauvreté moyennement forte (entre 33% et 40%) pour Dakar et Louga. Ce fort niveau de pauvreté pour ces régions

⁷ DAPS (2011), Dynamique de la consommation alimentaire et la hausse des prix des produits agricoles au Sénégal

du Sud est dû, en partie, au fait qu'elles sont assez enclavées relativement à Dakar qui bénéficie d'un niveau satisfaisant d'ouverture qui lui permet d'avoir un niveau d'activité économique non négligeable.

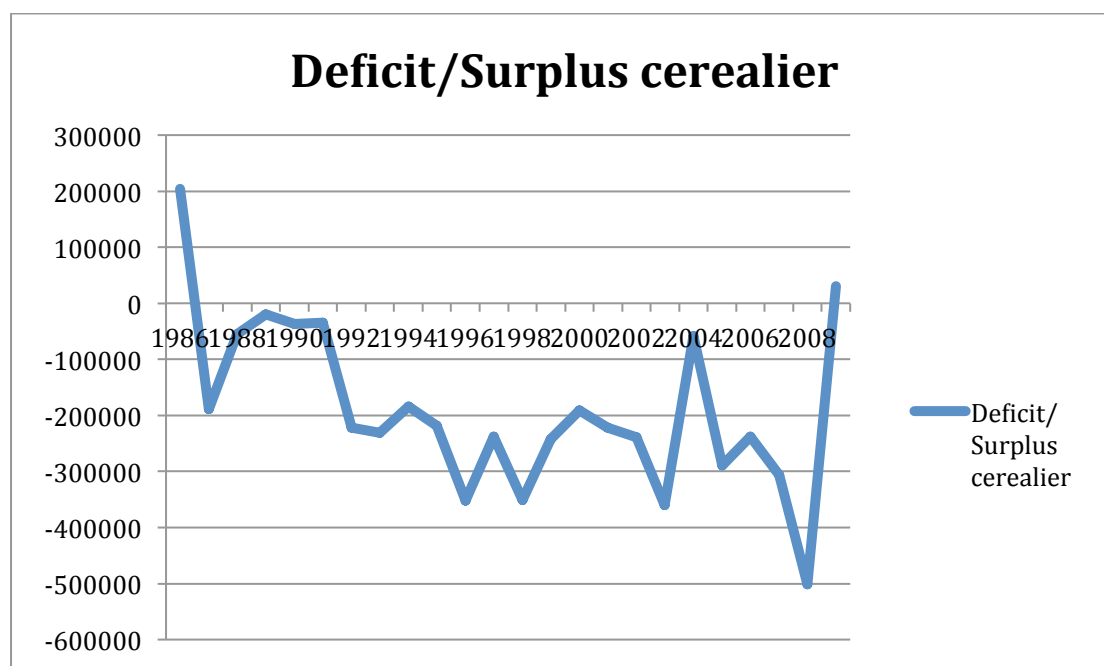
Figure 5 : Tendances de la pauvreté selon la Région



Source: MEF (2004), La pauvreté au Sénégal: de la dévaluation de 1994 à 2001-2002

Après avoir fait un exposé sur l'approvisionnement de ressources alimentaires, il est important d'évaluer la demande afin d'être en mesure de savoir si les ressources effectives parviennent à couvrir la demande. A titre illustratif, la remarque principale à faire avec la figure qui suit sur le déficit/surplus céréalier est que le Sénégal a rarement été en situation d'excédent de ressources à l'image des céréales qui occasionnent la plupart du temps un déficit face à la demande sans cesse importante de la population. Partant d'une situation excédentaire en 1986, le déficit a réellement commencé à se creuser de manière durable à partir du début des années 1990. Cependant, les effets de la politique de la GOANA semblent nettement améliorer son évolution avec une situation qui est même excédentaire en 2009.

Figure 6 : Déficit/Surplus céréalier au Sénégal entre 1986 et 2009



Source : Base de Données des Indicateurs Sociaux (BADIS)

Face à ces différentes contraintes relatives à l'accessibilité des ressources alimentaires, s'y ajoutent les conditions physiques d'accès des ménages aux marchés d'approvisionnement. En effet, et principalement dans les zones rurales, les marchés les mieux fournis semblent difficiles d'accès pour beaucoup de villages. A titre illustratif, la distance moyenne séparant le marché le plus fréquenté à Kédougou est de 35 Kilomètres et 40% des villages se situent à plus de 10 Km d'une route bitumée⁸. Dans certaines régions telles Ziguinchor, Tambacounda, Kolda, il n'a été recensé que 10 à 15% des villages qui ont un marché⁹ et la distance pour y accéder y est relativement longue (entre 10 et 15 Kilomètres).

⁸ CSA, Marchés et réponses au déficit de production agricole de la campagne 2011/2012 au Sénégal.

⁹ Source : VAM/PAM, « La vulnérabilité structurelle à l'insécurité alimentaire en milieu rural au Sénégal », juin 2003.

La stabilité renvoie aux questions de régularité dans les fluctuations des prix, mais aussi de la production alimentaire. Tout comme les disponibilités peuvent être affectées par l'évolution climatique avec ses conséquences, les prix subissent aussi les mêmes effets avec l'instabilité de l'offre. De plus, s'il est vrai qu'une stabilité politique et sociale est importante pour assurer la sécurité alimentaire, une insécurité alimentaire peut aussi être à l'origine de troubles sociaux et de révolte des populations. Malgré toutes les politiques qui ont eu à être mises en œuvre, le Sénégal, durant la dernière décennie, a eu à faire face à de nombreuses crises alimentaires (2005, 2008, 2010, 2012). Cette récurrence des crises est très évocatrice de la situation de la sécurité alimentaire au Sénégal. A y voir de plus près, elle nous renseigne en effet sur le caractère instable des disponibilités ainsi que des fluctuations au niveau des prix qui tendent à faire perdurer l'insécurité alimentaire ainsi que la vulnérabilité des populations. La dévaluation de 1994 a profondément changé les structures de consommation dans la mesure où la hausse des prix des denrées alimentaires a beaucoup dégradé le pouvoir d'achat des ménages qui consacraient déjà les trois quarts de leur revenu à la consommation de ressources alimentaires. Cela les a poussé à drastiquement réduire leurs niveaux de consommation. En outre, la forte dépendance du secteur agricole à une pluviométrie, quoiqu'erratique, a instauré une forte instabilité de la production, accroissant le niveau d'insécurité alimentaire.

II.2. Analyse de l'évolution climatique au Sénégal

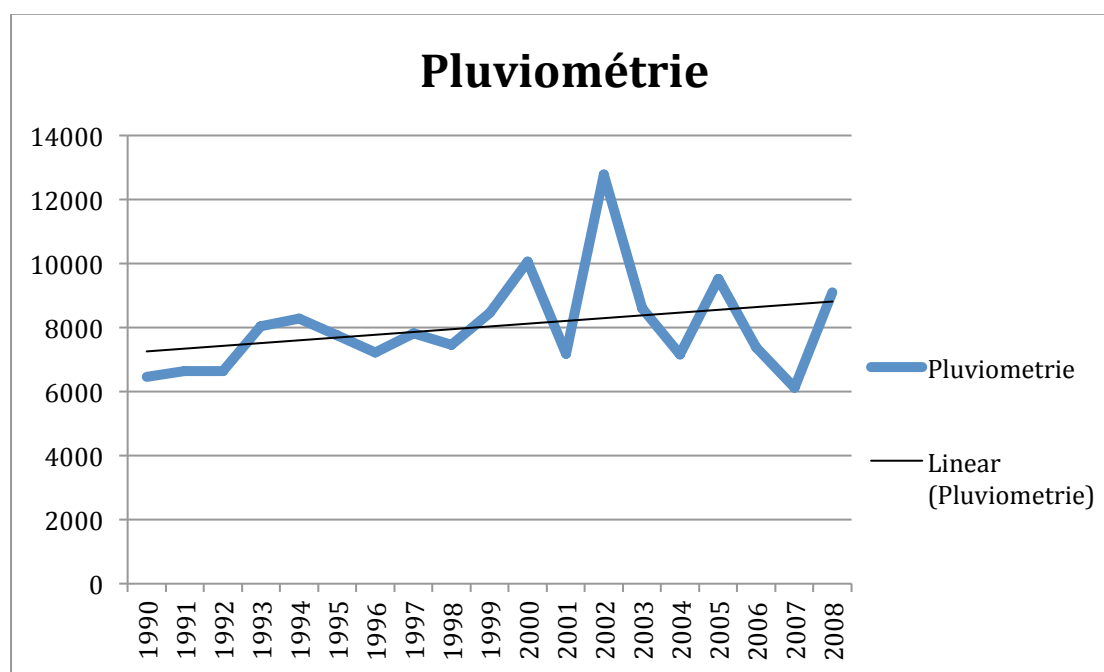
Le Sénégal se trouve être un pays ayant un climat de type sahélien caractérisé principalement par deux saisons : la saison sèche et la saison des pluies.

Dans cette section, il s'agira de voir les évolutions des principaux indicateurs climatiques et de les analyser afin d'en comprendre les progressions. A ce titre, dans un premier paragraphe l'évolution de la pluviométrie au Sénégal sera mise en exergue. Dans une seconde partie, l'analyse portera sur l'évolution du niveau des températures au Sénégal. Enfin, la dernière partie concernera une analyse des sols et de leurs modification suivant le temps.

II.2.1. Evolution de la pluviométrie au Sénégal

Le Sénégal, dans sa configuration pluviométrique, est un pays caractérisé par deux saisons : la saison sèche qui occupe les trois quarts de l'année et la saison des pluies. L'un des aspects qui permettraient de présager un changement climatique, reste de voir l'évolution de la pluviométrie pour une période relativement longue. Etant dans la zone sahélienne, le Sénégal se caractérise à cet effet par une forte variabilité des précipitations qui peut rendre difficile l'indentification des tendances de long-terme.

Figure 7 : Evolution de la pluviométrie au Sénégal entre 1990 et 2008



Source : Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie

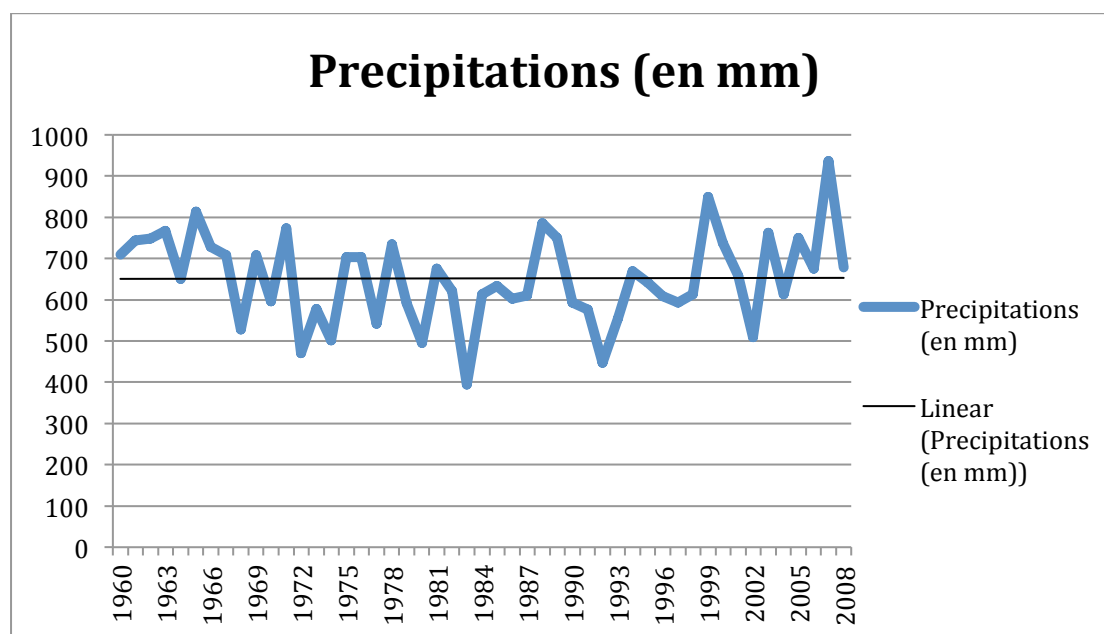
Dans le graphique qui précède, a été retracée l'évolution de la pluviométrie au Sénégal entre 1990 et 2008. Il est remarqué que le pic, durant cette période, a été atteint en 2000. Durant cette année, il a en effet été noté une vague de pluies hors-saison qui firent de nombreux dégâts au niveau des populations avec un important cheptel qui fut décimé. Après cet événement inhabituel, il a plutôt été noté une baisse régulière de la pluviométrie qui peinait même à dépasser les 9500mm. L'évolution des écarts par rapport à la moyenne des précipitations montre que les déficits ont été

plus enregistrés durant cette période avec le nombre de jours de pluie qui suit la même tendance. Au Sénégal, la production agricole dépend encore largement de la pluviométrie, les cultures hivernales dominant encore celles de contre-saison. La superficie moyenne utilisée pour les cultures hivernales est de 5.47 hectares contre 0.64 hectares pour les cultures de contre-saison¹⁰. Ceci montre, malgré l'importance des superficies cultivables de contre-saison, un rapport très étroit entre les précipitations et l'orientation agricole ainsi que les résultats qui y découlent. Les revenus tirés de l'agriculture sont aussi tributaires des conditions climatiques. Les cycles de sécheresse ont beaucoup plombé les niveaux de revenus des ménages. A ce titre, celle de 2007 pouvant être prise en exemple a relativement diminué les ressources financières agricoles des ménages. En outre, l'étude de Cabral (2011) montre que les prix des denrées alimentaires ont tendance à augmenter durant les années où il y a eu déficit pluviométrique et a tendance à influencer négativement le niveau de pauvreté. Il faut remarquer que le Sénégal est un pays qui a eu souvent à faire face à des cycles de sécheresse plus ou moins sévères (1970, 1980, 1990-1994, 2000, 2005, 2011-2012).

L'analyse peut aussi se faire suivant les principales zones agro-écologiques du Sénégal. A ce titre, le graphique retrace l'évolution de la pluviométrie suivant la moyenne des précipitations de cinq zones agro-écologiques que sont : la Casamance, Diourbel-Dakar, Louga-Saint Louis, Sénégal Oriental et Sine-Saloum. Sur cette longue période, et suivant les cinq zones agro-écologiques précitées, les précipitations suivent une tendance régulière autour de la tendance linéaire. Cependant, ces résultats peuvent être pris avec des pincettes dans la mesure où ils ne concernent que cinq zones alors qu'il y a de profondes disparités en termes de pluviométrie suivant l'ensemble des zones.

¹⁰ Arcand et al (2008), Analyse de la situation de référence de l'étude d'impact du PSAOP. UGB/CERDI

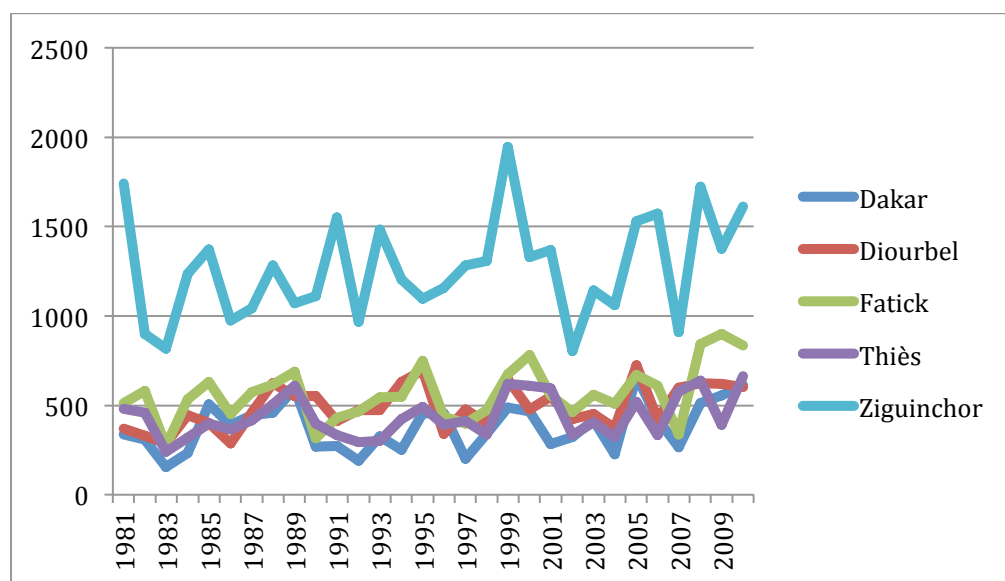
Figure 8 : Evolution de la pluviométrie moyenne de cinq zones agro-écologiques entre 1960 et 2008



Source : Banque de données des indicateurs sociaux du Sénégal (BADIS)

Il serait alors intéressant de mettre en exergue une évolution de la pluviométrie de quelques régions afin de mieux voir les disparités qui pourraient exister. A ce titre, la figure suivante montre que, pour les précipitations moyennes sur les cinq régions représentées, Ziguinchor est nettement la plus arrosée avec même un pic d'environ 2000mm en 1999. En effet, pour les autres régions, il semble y avoir une homogénéité quant à l'évolution de leur pluviométrie sur la période donnée. En outre, on note une variabilité marquée qui, d'une année à l'autre, fluctue très nettement.

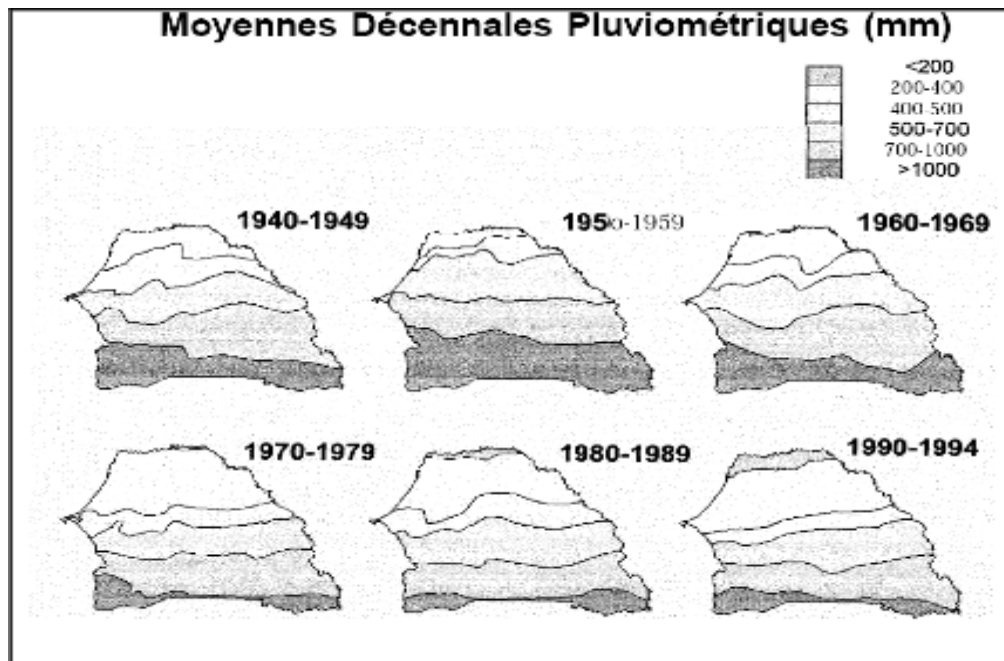
Figure 9 : Evolution de la pluviométrie entre 1981 et 2009 (Dakar, Diourbel, Fatick, Thiès, Ziguinchor)



Source : Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie

Cette baisse est encore plus visible en prenant une période très longue entre 1940 et 1994. A partir des moyennes décennales selon une distribution spatiale dans la figure qui suit, certaines observations peuvent y être déduites. A ce titre, la superficie du Sud qui enregistrait des moyennes pluviométriques supérieures à 1000 entre 1950 et 1959 s'est considérablement réduite durant la période 1990-1994. Le Rapport sur l'état de l'environnement (2010) admet même une baisse de 30% de la pluviométrie ponctuée par de larges disparités suivant les régions. La région de Dakar enregistre une baisse de 50% alors Kédougou affiche plutôt une baisse de 7% entre 1950 et 2000. Dans le même ordre d'idées, la superficie qui enregistre une pluviométrie moyenne entre 200 et 400mm (le Centre et une partie du Nord) s'est aussi beaucoup élargie durant la période 1990-1994, lorsqu'on la compare à la période 1950-1959. Face à de telles disparités sur l'ensemble du pays, la baisse de la pluviométrie est plus marquée au Sud-Ouest qu'au Nord-Ouest. De ce fait, le climat sahélien tend à élargir sa surface sur le territoire national.

Figure 10 : Moyennes décennales pluviométriques au Sénégal entre 1940 et 1994

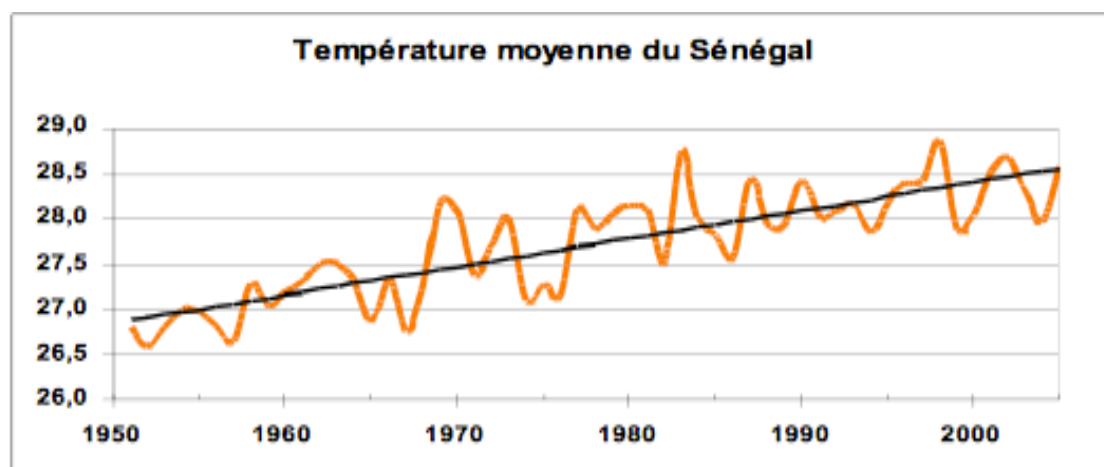


Source : Etude de faisabilité des forages manuels, UNICEF

II.2.2. Evolution des températures au Sénégal

L'évolution des températures constitue, elle aussi, un élément révélateur et instructif des modifications qui s'opèrent autour de l'environnement. Au Sénégal, avec la figure qui suit, les températures sont dans une progression constante. Ainsi, pour près d'un demi-siècle, la température moyenne a augmenté d'un peu plus d'1,5 degré Celsius.

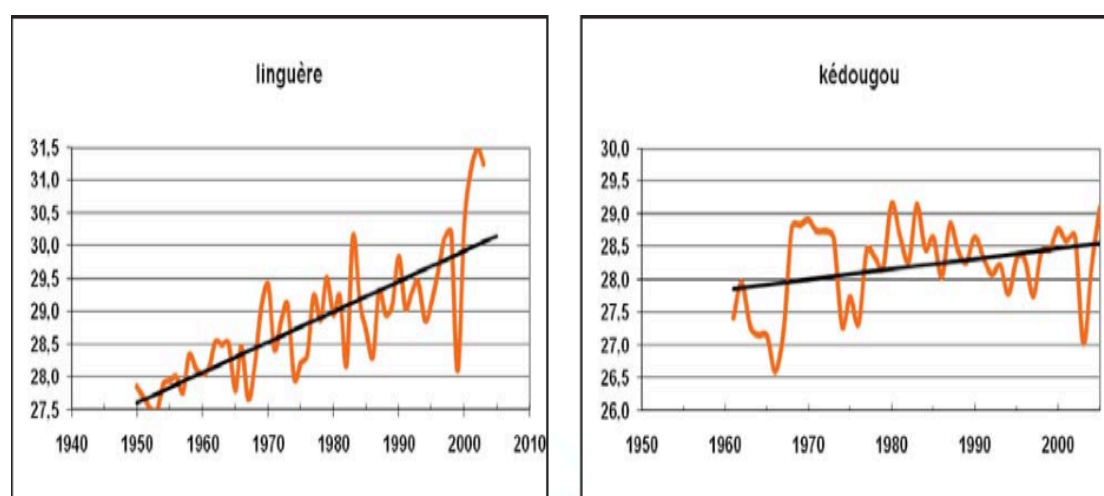
Figure 11 : Evolution de la température moyenne au Sénégal entre 1950 et 2005



Source : Plan d'Action National pour l'Adaptation aux Changements Climatiques (2006)

Comme pour le cas de la pluviométrie, cette évolution cache des disparités d'une région à une autre. Ainsi, comme il est vu dans la figure suivante provenant aussi du Rapport sur l'état de l'environnement au Sénégal (2010), le département Linguère enregistre la plus forte hausse de température avec 3 degrés tandis que Kédougou occasionne la plus faible hausse avec 0.7 degrés.

Figure 12 : Températures moyennes des stations de Linguère et de Kédougou entre 1950 et 2005



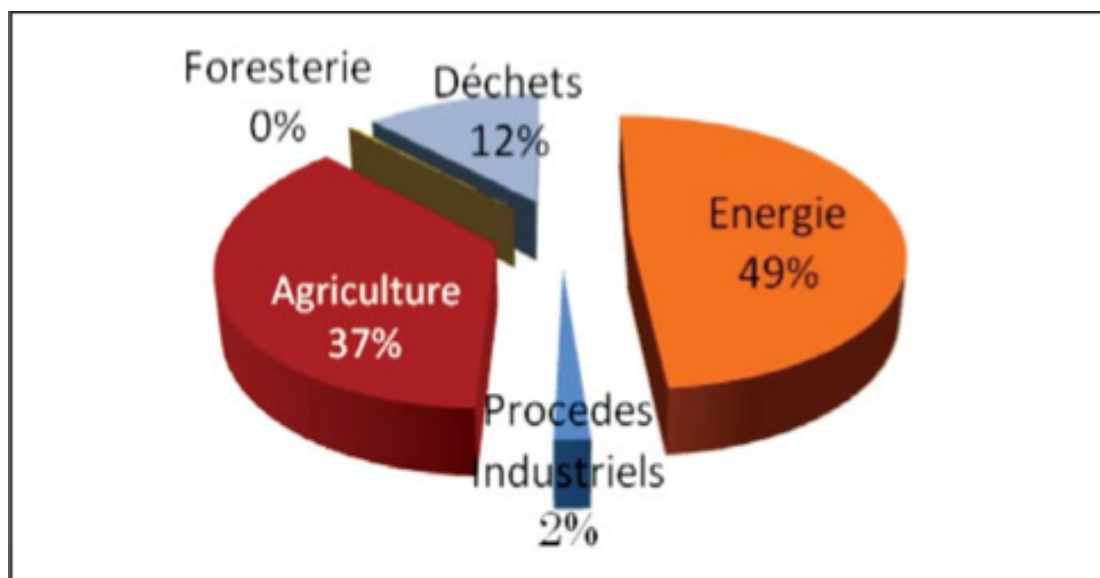
Source : Rapport sur l'état de l'environnement au Sénégal (2010)

Au vu des différents graphiques, si une modification du climat peut être en partie admise au Sénégal, il est nécessaire d'en connaître l'origine. Dans la communauté scientifique, le changement climatique, principalement le réchauffement, est imputé en partie à des considérations déterministes alors qu'une autre partie pointe du doigt l'action de l'homme sur son environnement. Cependant, les conséquences sont attestées et se font ressentir de plus en plus.

L'environnement se modifiant, d'importantes mutations s'opèrent avec elle, notamment les conditions socio-économiques qui tendent à s'améliorer ou à se dégrader suivant les contextes. L'un des effets majeurs qui pourraient être perçus à travers le changement climatique et qui a beaucoup impacté de nombreuses activités au Sénégal est sans doute les cycles de sécheresses que ce pays a connus. Elles ont beaucoup atténué la production agricole avec des terres de moins en moins fertiles et une pluviométrie qui a drastiquement baissé

Cette modification est attribuée, pour certains, à l'action de l'homme avec des activités sources de Gaz à Effet de Serre (GES) qui a contribué au réchauffement avec une hausse de 70% entre l'ère préindustrielle et 2004¹¹. Au Sénégal, le secteur agricole est le deuxième plus grand secteur pollueur de GES avec 37%¹².

Figure 13 : Répartition des émissions de GES par secteur en 2000



Source : Rapport sur l'état de l'environnement (2010)

Le Sénégal est un pays dont l'agriculture est essentiellement tributaire des conditions climatiques. A titre illustratif, il faut remarquer que 96% des cultures sont pluviales et seulement 4% sont des cultures irriguées. Ainsi, de fortes variabilités pluviométriques tendraient à impacter durement la production agricole. Or, durant les deux dernières décennies, il a été noté une baisse la production agricole de l'ordre de 20%. Le changement climatique pourrait en outre modifier de façon profonde les systèmes de production et d'accessibilité des ressources alimentaires. Le Rapport national sur le développement humain (2010) prédit cette mutation à travers une baisse de la production ou une augmentation du niveau de chômage avec la mutation des « modèles de production agricole et non agricole ». Les besoins alimentaires ne diminuant pas dans le temps du fait des pressions démographiques, les niveaux

¹¹ Rapport sur l'état de l'environnement (2010) in GIEC (2007)

¹² Rapport sur l'état de l'environnement (2010) in DEEC (2009)

d'importations vont à ce titre fortement augmenter. La dimension stabilité de la sécurité alimentaire sera mise en danger dans la mesure où les chocs exogènes provenant de l'extérieur seront directement transmis à l'économie nationale.

Dans le secteur de l'élevage, une baisse remarquable du bétail a été notée en 2002 avec des pluies hors saison très importantes. De la même manière la production laitière et carnée tend à baisser car les nombres de points d'eau se raréfient du fait d'une augmentation sensible des températures.

III. ETUDE ECONOMETRIQUE SUR L'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA SECURITE ALIMENTAIRE AU SENEGAL

Cette partie traitera de la modélisation, des résultats issus de la régression ainsi que des recommandations idoines. L'agriculture sénégalaise, véritable pourvoyeur d'une sécurité alimentaire durable, dans sa configuration, est essentiellement pluviale. En effet, elle dépend fortement du niveau de pluviométrie, mais aussi des températures qui influencent directement les cultures. La modélisation économétrique utilisée dans ce chapitre pour estimer l'impact du changement climatique sur la sécurité alimentaire est fort novatrice. En effet, rares sont les travaux qui ont adopté une démarche ricardienne pour un tel sujet qui en outre se décline en données de panel.

III.1. Spécification du modèle économétrique de l'impact du changement climatique sur la sécurité alimentaire au Sénégal

La majeure partie des données, principalement d'ordre économique, est issue de *l'analyse de référence de l'étude d'impact du PSAOP (2008)* alors que les données climatiques proviennent de l'ANACIM. A ce titre, les observations concernent 300 villages choisis aléatoirement, composés de 1300 ménages et répartis sur 8 régions (Diourbel, Fatick, Kaolack, Kolda, Louga, Saint-Louis, Tambacounda, Thiès). Cependant, le nombre de ménages pour notre étude s'est arrêté à 384 ménages de 184 villages différents répartis suivant ces huit régions pour une période de trois ans (2008, 2009, 2010). En effet, certains ménages étaient parfois difficiles à trouver dans la base de données, voire inexistants d'une année à l'autre alors que d'autres ménages étaient parfois assez éloignés du centre météorologique le plus proche. Pour des

raisons de précaution, ces ménages ont été purement et simplement éliminés de la base afin d'éviter d'affecter des valeurs climatiques qui ne reflètent pas réellement la situation du ménage dans cette zone en termes de pluviométrie et/ou de températures.

Fortement inspirés du modèle ricardien, les trois modèles s'établissent comme suit :

$$\begin{aligned} Production_{it} = & \alpha_i + C^{te} + \beta_1 pluviometrie_{it} + \beta_2 tempseche_{it} \\ & + \beta_3 tempshivern_{it} + \beta_4 pluviometriesq_{it} + \beta_5 tempsechesq_{it} \\ & + \beta_6 tempshivernsq_{it} + \beta_7 superficie_{it} + \beta_8 revagricole_{it} \\ & + \beta_9 revelevage_{it} + u_{it} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Calequi_{it} = & \alpha_i + C^{te} + \beta_1 pluviometrie_{it} + \beta_2 tempseche_{it} + \beta_3 tempshivern_{it} \\ & + \beta_4 pluviometriesq_{it} + \beta_5 tempsechesq_{it} + \beta_6 tempshivernsq_{it} \\ & + \beta_7 superficie_{it} + \beta_8 revagricole_{it} + \beta_9 revelevage_{it} + u_{it} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Durps_{it} = & \alpha_i + C^{te} + \beta_1 pluviometrie_{it} + \beta_2 tempseche_{it} + \beta_3 tempshivern_{it} \\ & + \beta_4 pluviometriesq_{it} + \beta_5 tempsechesq_{it} + \beta_6 tempshivernsq_{it} \\ & + \beta_7 superficie_{it} + \beta_8 revagricole_{it} + \beta_9 revelevage_{it} + u_{it} \end{aligned}$$

Les variables explicatives retenues dans le modèle sont d'abord des variables climatiques (pluviométrie, températures en saison sèche et en saison des pluies). Elles ont été choisies puisque l'objectif de l'étude est justement de voir l'effet qu'ont les variables climatiques sur la sécurité alimentaire. En outre, des variables de contrôle ont été introduites dans le modèle à l'image de la superficie emblavée ainsi que du revenu agricole et du revenu issu de l'élevage. Celles-ci, en relation directement avec les activités des ménages générant des revenus et des ressources alimentaires, sont supposées avoir un effet sur le niveau de sécurité alimentaire au Sénégal.

La plupart des études qui ont été faites par la méthode ricardienne se présentent en pooling (Ouedraogo (2008), Kurukulasuriya et Mendelsohn (2008), Mariara et Karanja (2006)). En effet, ces études font leurs régressions uniquement suivant une période fixe précise, ou comparent plusieurs régressions à des instants différents. Elles ne prennent pas en compte l'effet la dynamique temporelle qui peut donner des renseignements fort importants. Les modèles ricardiens se déclinant en données de

panel commencent cependant à être utilisés (Massetti et Mendelsohn (2012)) et semblent particulièrement intéressants dans la mesure où la double dimension temporelle et individuelle est prise en compte. A ce titre, le modèle économétrique de ce travail se présente sous forme de données de panel avec 384 ménages sur trois années.

Afin de mieux comprendre le modèle économétrique, il est nécessaire d'expliquer les différentes variables qui le composent.

Variables expliquées :

Dans le cadre de ce travail, trois variables dépendantes dans trois régressions différentes seront mises à profit.

La première variable expliquée (production) représente ici le volume de la production agricole. Elle est ici la somme des cinq principales cultures récoltées dans chaque ménage et est exprimée en kilogrammes.

La deuxième variable expliquée (calories équivalent) représente le nombre de calories-équivalent consommées et s'exprime en kilocalories. Pour faire son évaluation, il a été nécessaire d'interroger les ménages sur les différents produits ainsi que leur proportions consommés au cours de la semaine écoulée. Sur cette base, chaque produit suivant ces caractéristiques, le nombre de calories correspondant est calculé. Enfin, une équivalence est faite, suivant une grille de référence, qui prend en compte le sexe ainsi que l'âge de la personne interrogée.

La dernière variable dépendante qui sera prise en compte est la durée de la période de soudure et correspond au temps compris entre la fin de la consommation de la récolte de l'année précédente et la récolte de l'année suivante. Cette période est particulièrement difficile dans la mesure où il s'agit pour les ménages de trouver des alternatives afin d'obtenir des biens de subsistance qui leur permettront de tenir jusqu'aux prochaines récoltes. Cette période est relative aux saisons mais aussi à la

zone géographique. En moyenne, elle dure dans la zone rurale au Sénégal 4 mois et 11 jours¹³.

Variables explicatives :

Les variables expliquées concernent des variables climatiques ainsi que des variables d'ordre économique.

- **pluviometrie** représente l'évaluation du niveau moyen des pluies (en millimètres) qui a été recensé dans le centre météorologique le plus proche du village auquel le ménage se rattache. Dès qu'un ménage est identifié, il lui est affecté une valeur pluviométrique correspondant au centre météorologique qui est le plus proche de son village. Si cette distance est par contre considérable (plus de 50 Kilomètres), ce ménage n'est alors pas pris en compte dans l'estimation. Le signe attendu ici est positif puisque la pluviométrie est censée affecter positivement les cultures (qui sont ici pour la plupart pluviales), permettant d'impacter positivement la production.
- **tempseche** représente la température moyenne (durant la saison sèche) en degrés Celsius qui a été recensée dans le centre météorologique le plus proche du ménage auquel le village est rattaché. En effet, c'est suivant la même logique d'affectation des valeurs pour la pluviométrie qui a été faite pour toutes les variables climatiques. Les températures de base provenant de l'ANACIM sont déclinées par mois. Dans l'optique de calculer la température moyenne en saison sèche, il a été considéré les mois d'Octobre à Juin (constituant principalement la saison sèche) pour calculer leur moyenne suivant l'année considérée.
- **temphiver** représente la température moyenne (durant la saison hivernale) en degrés Celsius du village où est localisé le ménage. La température moyenne en saison a été calculée en faisant la moyenne des températures de Juillet à Septembre (caractérisant principalement la saison des pluies).

¹³ Evaluation faite par l'étude de référence du PSAOP d'où proviennent les données qui ont permis de faire l'estimation économétrique. D'autres régions tels Kaolack ou Saint-Louis subissent une période de soudure relativement plus longue avec 5 mois.

- ***pluviometriesq, tempsechesq, temphivernsq*** sont respectivement les termes quadratiques de la pluviométrie, de la température en saison sèche, de la température en saison hivernale. Les observations des variables climatiques ont de fait été élevées au carré afin de voir si l'effet des variables climatiques est linéaire ou quadratique. Lorsque la variable quadratique est significative et de signe opposé à son terme linéaire, il est possible de conclure que cette variable aura un effet de seuil sur la sécurité alimentaire. Cet effet est positif si sa courbe est en forme de U et négatif lorsqu'elle a la forme d'un U renversé. En effet, l'analyse de la courbe renseigne l'existence d'un point d'inflexion qui, arrivé à ce point change brusquement de tendance.
- ***revelevage*** est le revenu tiré des activités d'élevage et s'exprime en francs CFA.
- ***revagricole*** est le revenu tiré des activités agricoles et s'exprime en francs CFA
- ***superficie*** représente la superficie totale occupée par les cinq principales cultures de chaque ménage et est exprimée en hectares.
- ***revtotmen*** correspond au revenu total du ménage provenant notamment des activités agricoles, d'élevage et diverses autres activités. Il s'exprime en francs CFA.

III.2. Estimation du modèle et résultats

La série de tests opérés a permis d'opter pour un modèle en données de panel à effets fixes. La régression a été faite par séquences à l'image de la méthode ricardienne, dans le but de voir comment se modifient les différentes composantes de la modélisation. Dans une première étape, il a été fait une régression en tenant compte des variables climatiques uniquement. Dans un second temps les variables quadratiques relatives au climat ont été introduites alors que dans les troisième et quatrième étape, la superficie et le revenu tiré de l'élevage ont été respectivement introduits dans le modèle. Une dernière étape a consisté à mettre en place des « *clusters village* » afin de prendre en compte les spécificités propres à chaque village.

Dans le tableau 4, il est important de remarquer que la prise en compte des variables climatiques linéaires induit la significativité de la pluviométrie au seuil de 5%. Par contre, en intégrant les termes quadratiques des variables climatiques dans la régression, il s'avère que toutes les variables climatiques sont significatives. Ainsi, la pluviométrie a un impact positif de 11 points sur la production agricole avec un seuil de significativité de 5%. Les températures, en saison sèche et en saison hivernale, sont significatives au seuil de 1% aussi bien pour ses termes linéaires que pour ses termes quadratiques. Dans cet ordre d'idées, il est important d'ajouter que les températures, aussi bien en saison sèche qu'en saison des pluies, ont un impact négatif sur la production respectivement de 13 points et de 104 points pour une significativité au seuil de 1%. Cependant, leurs termes quadratiques ont des impacts positifs sur cette variable dépendante. Lorsque des variables de contrôle telles la superficie, les revenus agricole et d'élevage sont intégrées dans la régression, les températures ont toujours un effet négatif sur la production. Cet effet est de -11.5 points en saison sèche et de -103 points en saison des pluies lorsque le contrôle s'applique uniquement sur la superficie et une sensible baisse de cet effet négatif lorsque les revenus agricole et d'élevage sont pris en compte. Par contre, les termes quadratiques des températures affectent positivement la production pour une significativité au seuil de 1%. Quant à la pluviométrie, elle est significative au seuil de 5% lorsqu'est pris en compte uniquement la superficie pour les variables de contrôle. Elle n'est plus significative avec les variables de contrôle du revenu agricole et de l'élevage. En faisant un contrôle sur les effets fixes des villages, il peut être remarqué, relativement au cas sans effets fixes des villages, qu'il subsiste quelques différences. Les effets négatifs des températures sur la production agricole ont sensiblement diminué. En outre, le seuil de significativité des températures en saison sèche est passé de 1% à 5% lorsque le contrôle sur les effets fixes des villages est pris en compte.

Dans le tableau 5, la prise en compte des variables climatiques uniquement montre que seules les températures en saison hivernale sont significatives au seuil de 1%. Elles ont à ce titre un impact négatif de 3 points sur les calories consommées. En ajoutant les termes quadratiques des variables climatiques, il est remarqué que seule la pluviométrie pour ses termes linéaire et quadratique est significative au seuil de 5%. Le niveau de pluviométrie, pour son terme linéaire, a dans ce cas un impact positif de 13 points alors que son terme quadratique a un impact négatif, très faible cependant,

de 0.007 sur le nombre de calories consommées. En introduisant les variables de contrôle, la pluviométrie, pour ses termes linéaire et quadratique, reste encore la seule variable significative avec un seuil de 10%. Son effet positif tend dans ce cas à légèrement baisser aussi bien pour son terme linéaire que quadratique. Par contre, en introduisant le contrôle sur les effets fixes des villages, la pluviométrie reste encore la seule significative avec un seuil qui passe de 10% à 5%. Cet effet augmente sensiblement et est positif de 12.3 points pour son terme linéaire et négatif de 0.007 pour son terme quadratique.

Suivant le tableau 6, il est à noter que lorsque les termes linéaires des variables climatiques sont uniquement pris en compte, seule la pluviométrie est significative avec un seuil de 1%. Elle a à cet effet un impact négatif de 0.0013 sur la durée de la période de soudure. Par contre, dès qu'il est introduit les termes quadratique de ces mêmes variables, elles deviennent toutes significatives aussi pour leurs termes linéaires que quadratiques (toutes sont significatives au seuil de 1% à l'exception de la variable températures en saison sèche qui l'est au seuil de 5%). Ces résultats sont assez similaires à ceux trouvés dans le premier modèle de production. En introduisant les variables de contrôle, les effets sont sensiblement identiques. Cependant, en contrôlant les effets spécifiques des villages, la pluviométrie ainsi que les températures en saison sèche (pour leurs termes linéaires et quadratiques) ne sont plus significatives. Quant aux températures hivernales, elles ont un effet positif sur la durée de la période de soudure pour un seuil de significativité de 1%. Par contre cet effet positif a nettement diminué s'il est comparé à la situation où le contrôle sur les effets spécifiques des villages n'est pas fait. Il passe ainsi d'un effet positif de 62 points à un effet de 36 points.

Les résultats des estimations montrent pour le premier modèle, au fil des régressions, que tout d'abord le R^2 varie entre 0.9% et 42% pour la dernière étape. En effet, lorsque les variables climatiques en termes linéaires sont uniquement prises en compte, il est très négligeable. Cependant, le coefficient de détermination tend à sensiblement augmenter avec l'intégration de la superficie. Il ne fait réellement un bond significatif qu'avec l'apparition du revenu agricole dans le modèle pour atteindre 42.3%.

III.3. Interprétation des résultats trouvés et recommandations pour améliorer la sécurité alimentaire au Sénégal

Au fil des trois modèles qui se sont succédés, les estimations dégagent des explications permettant de comprendre l'effet que peut avoir le changement climatique sur la sécurité alimentaire au Sénégal. Le modèle de production et le modèle de soudure montrent qu'il y a effectivement un impact non négligeable des variables climatiques sur la sécurité alimentaire au Sénégal. Par contre, le modèle calorifique suggère que seules les températures hivernales impactent le niveau de sécurité alimentaire. La pluviométrie est donc décisive pour appréhender le niveau de sécurité alimentaire au Sénégal. En outre de cet effet climatique, il est important de préciser que celui-ci est quadratique dans la mesure où la significativité est plus accentuée lorsque les termes quadratiques des variables climatiques sont introduits. Ainsi, le changement climatique affectera certes le niveau de sécurité alimentaire de manière graduelle, mais ses effets se feront plus sentir par paliers sur le long terme. A chaque seuil de modification du climat, des effets non négligeables seront perçus à travers les capacités des populations à se doter des ressources alimentaires en quantité suffisante et en qualité. A cet effet, la pluviométrie au-delà d'un certain niveau aura un apport négatif aussi bien sur la production que sur la consommation kilo-calorifique. Cette situation est compréhensible puisque les précipitations contribuent à répondre aux besoins des cultures (qui pour la plupart sont pluviales) et donc de la production agricole. De la même manière, lorsque la production agricole augmente, les ressources alimentaires augmentent nécessairement, accroissant toutes choses étant égales par ailleurs les niveaux de consommation kilo-calorifique des ménages. Par contre, un excès de cette pluviométrie est néfaste pour les cultures emblavées. Les températures, aussi bien en saison sèche qu'en saison des pluies, jouent un rôle prépondérant dans les modèles de production et de soudure. Cet effet est négatif sur la production alors qu'il est positif sur la durée de la période. Ces résultats expliquent que la production est sensible à certaines hausses du niveau des températures. Des cultures à l'image de l'oignon en sont le parfait exemple et peuvent rapidement pourrir si les températures sont élevées. De la même manière, la durée de la période de soudure tend sensiblement à augmenter avec la hausse de ces températures, car accroissant plus rapidement la réduction des ressources pouvant pourrir. Cependant, il

est à noter que ces températures vont exercer des effets de seuil qui renverseront la tendance.

Le revenu agricole quant à lui, montre qu'il n'est pas à négliger dans l'explication. Lorsque celui-ci s'accroît, il permet alors de réduire la durée de la période de soudure pour les ménages en permettant aux ménages de s'approvisionner en biens alimentaires au niveau des marchés locaux. Dans le même ordre d'idées, sa hausse favorise l'élévation du niveau de la production. L'accroissement des revenus permet aux ménages disposant d'exploitations agricoles de pouvoir améliorer les cultures pour la campagne suivante.

Lorsque les effets spécifiques à chaque village sont pris en compte, la différence remarquée est faible par rapport au cas où cela n'aurait pas été pris en compte. Mais il faut préciser que le revenu des ménages provenant de l'élevage n'est plus significatif dans le modèle de production (il passe d'une significativité d'un seuil de 1% à une non-significativité) lorsque les clusters village apparaissent. Certes, chaque village a ses propres spécificités et ses propres réalités, mais elles sont ici marginales dans l'explication du modèle.

Les trois modèles, au delà de tester l'impact du changement climatique sur les variables dépendantes, présentent un intérêt fort considérable. En effet, le choix de prendre en compte la production, le niveau de consommation calorifique, la durée de la période de soudure permet de faire des analyses plus conséquentes. Si la production peut expliquer le niveau de sécurité alimentaire, la consommation kilo-calorique l'est aussi et les mettre en exergue l'est encore plus. Entre ces deux variables dépendantes, les problèmes liés à l'accessibilité ou encore à la stabilité des ressources alimentaires peuvent être distingués. Ainsi le niveau de consommation kilo-calorique est positivement corrélé avec celui de la production. En effet, une augmentation de cette dernière pousse les ménages à consommer plus de ressources alimentaires et donc de leurs calories. De la même manière, la durée de la période de soudure est négativement corrélée avec la consommation kilo-calorique, mais aussi avec la production. Cependant, ce sont des seuils de corrélation inférieurs à 25% montrant de ce fait que la production à elle seule, ne peut expliquer l'accessibilité des biens alimentaires par les ménages.

Les résultats suggérés par le modèle montrent que les variables climatiques affectent nettement la sécurité alimentaire dans ce pays de l'Afrique de l'Ouest. De plus, cet effet se présente par des niveaux et non graduellement. A chaque palier de modification de la pluviométrie, des effets significativement négatifs sur le bien-être alimentaire des ménages vont être observés à travers différents canaux, notamment celui agricole. Les effets se font déjà sentir sur les rendements des cultures qui nécessitent un important approvisionnement en eau et qui lui-même est soumis à une forte pression face à la demande alimentaire sans cesse croissante. Les températures quant à elles semblent avoir des effets de seuil positifs, mais sur le court terme affectent négativement la production agricole.

Le climat étant toujours dans un processus de mutation, le véritable défi est aujourd'hui de trouver des voies et moyens pour renverser la tendance afin d'améliorer ce niveau de bien-être. A cet effet, il est primordial qu'un véritable programme environnemental soit mis en œuvre afin de limiter au pire des cas ce changement climatique. Il doit passer alors par une révolution verte qui doit insuffler un nouveau vent de préservation et de régénération du couvert végétal. Les différents traités ratifiés par le Sénégal en faveur de la protection de l'environnement doivent être respectés dans leur application. Sans quoi, le changement climatique continuera à imposer ses effets néfastes sur les populations et leurs activités, notamment agricoles et qui sont largement tributaires des conditions climatiques. En outre, la recherche agricole devrait être axée vers de nouvelles cultures qui sont plus résistantes et plus adaptatives aux nouvelles modifications climatiques. Des centres de recherche tels l'ISRA ou les universités en devront être les réceptacles. A ce titre, des avancées non négligeables ont été opérées par l'ISRA qui a mis en place en 2009 onze variétés de riz irrigué adaptées à la sécheresse. En outre, les cultures irriguées doivent être mises en avant afin de réduire la dépendance à une pluviométrie sans cesse décroissante. L'agriculture rurale au Sénégal est particulièrement vulnérable et susceptible de subir de multiples chocs (sur les prix, les terres,...) due principalement aux faiblesses des exploitations des ménages. En effet, ce sont généralement des populations assez démunies ne disposant pas de moyens ni pour accroître leur production, ni pour s'adapter aux changements de conjoncture. De ce fait l'Etat, dans la formulation de ses politiques se doit d'accompagner les ruraux dans la gestion de leurs terres par des subventions, des sessions de formations. Ceci dans un but de permettre aux

principaux concernés d'être moins vulnérables. En outre, la rotation des sols doit être un préalable significatif car ces derniers ont tendance à voir leurs rendements baisser à mesure que leur intensité d'utilisation s'accroît. Certes les conséquences du changement climatique sur la sécurité alimentaire sont visibles, mais leurs causes et leurs origines sont diverses. Aujourd'hui, les rejets dans l'atmosphère de gaz à effet de serre, les pollutions des eaux par les industries participent à amplifier le changement climatique et ses effets. Des stratégies de réduction de ces produits doivent être opérationnels pour atténuer les effets du changement climatique.

CONCLUSION

Le changement climatique est devenu un fait majeur qui implique de nos jours une large préoccupation de toutes les strates de la population. De par ses effets, il impose de lourdes mutations dans le champ social, économique, technologique... Au Sénégal, les nombreux cycles de sécheresse ont installé une véritable fragilisation de l'équilibre environnemental et des conditions socio-économiques du pays, particulièrement du monde rural. Le Sénégal, comme la plupart des pays d'Afrique sub-saharienne, est confronté depuis longtemps à des problèmes d'accès (financier, physique,...) à des ressources alimentaires en quantité suffisante et en qualité pour ses populations. La sécurité alimentaire, depuis sa vision quantitativiste d'avant les années 1970 à son acception multidimensionnelle de nos jours, reste un problème majeur pour des pays comme le Sénégal. Avec le changement climatique et les mutations profondes qui se sont opérées, cette question de la sécurité alimentaire se pose avec beaucoup plus d'acuité. Les capacités et stratégies des populations à avoir accès à une nourriture saine et suffisante se sont transformées avec les conditions climatiques qui imposent aux populations à s'adapter ou à se trouver dans des conditions relativement précaires. Suivant une longue période, il a été remarqué que les températures ont nettement augmenté alors que les niveaux de pluviométrie ont diminué. Cette période est aussi teintée de cycles de sécheresse qui ont plombé les niveaux de production agricole augmentant de fait le degré de vulnérabilité des ménages, ruraux principalement, fortement tributaires de l'agriculture. Au terme de ce papier, l'objectif qui était d'évaluer l'impact du changement climatique sur la sécurité

alimentaire au Sénégal a donné des résultats fort significatifs. Il est possible maintenant de dire que cet impact est avéré et non négligeable. En effet, ce changement climatique a des effets aussi bien sur la production agricole, la consommation kilo-calorique, que sur la durée de la période de soudure. Sur le long terme, des effets de seuil qui seront négatifs pour la sécurité alimentaire seront observés au Sénégal si la tendance n'est pas renversée. L'appui manifeste et durable pour déployer des mesures de soutien et d'adaptation des ménages ruraux est de mise. En outre, les questions de recherche doivent pouvoir être mis en œuvre afin de mieux connaître et mieux maîtriser les problèmes liés à la sécurité alimentaire et le changement climatique toujours dans la dynamique de renverser la tendance.

ANNEXES

Tableau 4: Estimation de l'impact du climat sur la production agricole

VARIABLES	Variable dépendante : Production agricole				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Pluviométrie	2.401** (0.953)	11.24** (4.896)	10.72** (4.724)	2.185 (3.809)	-1.268 (3.569)
Température saison sèche	-357.3 (246.6)	-13,087*** (4,311)	-11,534*** (4,164)	-9,840*** (3,338)	-7,006** (3,147)
Températures hivernales	264.8 (590.3)	-104,348*** (28,433)	-103,049*** (27,428)	-80,619*** (22,017)	-64,236*** (19,653)
Pluviométrie au carré		-0.00576** (0.00284)	-0.00549** (0.00274)	-0.000988 (0.00221)	0.00105 (0.00201)
Temp. sèche au carré		240.3*** (78.83)	213.9*** (76.12)	174.8*** (61.03)	121.4** (56.74)
Temp. hivern. au carré		1,823*** (492.7)	1,802*** (475.3)	1,410*** (381.5)	1,121*** (338.3)
Superficie			227.7*** (30.44)	177.6*** (24.54)	206.7*** (20.06)
Revenu agricole				0.00575*** (0.000286)	0.00632*** (0.000279)
Revenu de l'élevage				0.00144*** (0.000406)	0.00210*** (0.000332)
Effets fixes Village	NON	NON	NON	NON	OUI
Constante	3,853 (19,670)	1.667e+06*** (439,922)	1.622e+06*** (424,404)	1.289e+06*** (340,628)	1.020e+06*** (305,129)
Observations	1,116	1,116	1,116	1,116	1,116
R-carré	0.009	0.031	0.100	0.423	

Standard errors in parentheses
 *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

La colonne 1 est l'estimation qui prend uniquement en compte les variables climatiques dans leurs termes linéaires. La colonne 2 représente l'estimation lorsque les termes quadratiques sont pris en compte. La colonne 3 montre l'estimation qui, en plus des variables citées ci-dessus, prend en compte les superficies emblavées pour chaque ménage. La colonne 4 intègre en outre les revenus agricoles et ceux issus de l'élevage. La colonne 5 représente une estimation identique à la quatrième, mais avec un contrôle pour les effets fixes village.

Tableau 5: Estimation de l'impact du climat sur la consommation kilocalorique

VARIABLES	Variable dépendante : Calories-équivalent				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Pluviométrie	-0.0113 (1.284)	13.16** (6.647)	12.77* (6.579)	10.93* (6.596)	12.31** (6.248)
Température saison sèche	-235.4 (332.1)	-2,372 (5,853)	-1,196 (5,799)	-808.1 (5,780)	-2,077 (5,510)
Températures hivernales	-3,013*** (794.9)	-44,932 (38,600)	-43,948 (38,199)	-37,954 (38,128)	-44,048 (34,489)
Pluviométrie au carré		-0.00776** (0.00385)	-0.00755** (0.00381)	-0.00655* (0.00382)	-0.00744** (0.00353)
Temp. sèche au carré		46.17 (107.0)	26.22 (106.0)	17.20 (105.7)	42.04 (99.40)
Temp. hivern. au carré		739.4 (668.9)	723.5 (662.0)	619.0 (660.7)	731.5 (593.9)
Superficie			172.4*** (42.39)	164.7*** (42.49)	128.1*** (35.52)
Revenu agricole				0.00121* (0.000704)	0.00138** (0.000589)
Revenu de l'élevage				0.00107** (0.000495)	0.00101** (0.000488)
Constante	98,800*** (26,489)	709,967 (597,219)	676,449 (591,069)	587,313 (589,886)	685,069 (535,435)
Effets fixes Village	NON	NON	NON	NON	OUI
Observations	1,116	1,116	1,116	1,116	1,116
R-carré	0.019	0.025	0.047	0.056	

Standard errors in parentheses
 *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Tableau 6: Estimation de l'impact du climat sur la durée de la période de soudure

VARIABLES	Variable dépendante : Durée de la période de soudure				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Pluviométrie	-0.00129*** (0.000450)	-0.00696*** (0.00229)	-0.00695*** (0.00230)	-0.00641*** (0.00231)	-0.00264 (0.00213)
Température saison sèche	-0.174 (0.116)	5.131** (2.021)	5.121** (2.025)	5.015** (2.022)	2.057 (1.877)
Températures hivernales	-0.421 (0.278)	63.01*** (13.33)	63.01*** (13.34)	61.66*** (13.33)	36.44*** (11.66)
Pluviométrie au carré		3.53e-06*** (1.33e-06)	3.53e-06*** (1.33e-06)	3.24e-06** (1.34e-06)	8.04e-07 (1.20e-06)
Temp. sèche au carré		-0.102*** (0.0369)	-0.102*** (0.0370)	-0.0997*** (0.0370)	-0.0411 (0.0338)
Temp. hivern. au carré		-1.104*** (0.231)	-1.104*** (0.231)	-1.081*** (0.231)	-0.631*** (0.201)
Superficie			-0.00137 (0.0148)	0.00205 (0.0149)	-0.0117 (0.0117)
Revenu agricole				-2.76e-08 (2.46e-07)	-3.01e-07 (1.93e-07)
Revenu de l'élevage				-3.80e-07** (1.73e-07)	-5.47e-07*** (1.66e-07)
Constante	21.49** (9.276)	-954.1*** (206.2)	-953.9*** (206.4)	-933.8*** (206.3)	-546.2*** (181.1)
Effets fixes Village	NON	NON	NON	NON	OUI
Observations	1,116	1,116	1,116	1,116	1,116
R-carré	0.028	0.061	0.061	0.067	

Standard errors in parentheses
 *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Bibliographie

- Andersen, P. P., Lorch, R. P., & Rosegrant, M. W. (1997). *The world situation: Recent developments, emerging issues and long-term prospects*. Washington: IFPRI.
- ANSD. (2013). *Recensement General de la Population et de l'Habitat, de l'Agriculture et de l'Elevage*.
- Arcand, J. L., Diaw, A., & Mbaye, S. (2008). *Analyse de la situation de reference de l'etude d'impact du programme des services aux organisations de producteurs-Phase 2*. UGB/CERDI.
- Bigman, D., & Reutlinger, S. (1979). National and international policies toward food security and price stabilization. *The American Economic Review*, 69 (2), 159-163.
- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., & Wisner, B. (2003). *At risk: Natural hazards, people's vulnerability and disaster*.
- Boko, M., Niang, I., Nyong, A., Vogel, C., & al, e. (2007). Africa. Dans M. L. Parry, O. F. Canziani, & J. P. Palutikof, *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 433-467). Cambridge: Cambridge University Press.
- Bosello, F., & Zhang, J. (2005). *Assessing climate change: Agriculture*. Centro Euro-Mediterraneo per i cambiamenti climatici.
- Braun, J. v., Bouis, H., Kumar, S., & Lorch, R. P. (1992). *Improving food security of the poor: concept, policy and programs*. Washington: IFPRI.
- Broca, S., & Oram, P. (1991). Study on the location of the poor. *IFPRI*.
- Cabral, F. J. (2011). Aléas pluviométriques et pauvreté dans les économies du Sahel : le cas du Sénégal », *Mondes en développement*. *Mondes en developpement*, 156, 129-144.
- Cai, X., & Rosegrant, M. W. (2003). World water productivity: current situation and future options. Dans W. Kijne, R. Barker, & R. Molden, *Water Productivity in Agriculture: Limits and opportunities for improvement* (pp. 163-178).
- Carr, E. R. (2006). Postmodern conceptualization, modernist applications: Rethinking the role of society in food security. *Food Policy*, 31, 14-29.
- Chang, C. C. (2001). The potential impact of climate change on Taiwan's agriculture. *Agricultural Economics*, 51-64.
- CILSS. (2004). *Normes de consommation des principaux produits alimentaires dans les pays du CILSS*.
- Cline, R. W. (2007). *Climate change and agriculture: Impacts estimates by country*. Centre for Global Development and Peterson Institute for International Economics.
- Commissariat a la Securite Alimentaire. (2012). *Marchés et réponses au déficit de production agricole de la campagne 2011/2012 au Sénégal*.
- DAPS. (2011). *Dynamique de la consommation alimentaire et la hausse des prix des produits agricoles au Sénégal*.
- de Waal, A. (1991). Emergency food security in Western Sudan: what is it for? Dans S. Maxwell, *To cure all hunger: Food policy and food security in Sudan*. London.

- Dieng, A. (2006). *Impacts des politiques agricole sur l'offre cerealiere au Senegal, de 1960 a 2003: Evaluation a partir d'un modele d'analyse statistique par zones agro-ecologiques*. These.
- Durufle, G. (1995, Mars). Bilan de la Nouvelle Politique Agricole au Sénégal . *Review of African Political Economy* , 22 (63), pp. 73-84.
- Fall, A., Mbaye, B. B., & Sy, H. (2013, Aout). Politique Agricole, Productivité et Croissance à Long Terme au Sénégal . *DPEE* .
- FAO. (1963). *Third world food survey*. Rome.
- Freud, C., Freud, E. H., Richard, J., & Thenevin, P. (2000). *L'arachide au Senegal, un moteur en panne*. Karthala-CIRAD.
- GECAFS. (2008). *Indo-Gangetic Plain Science Plan and Implementation Strategy*. . Oxford: GECAFS.
- Gladwin, C. H., Thomson, A. M., Peterson, J. S., & Anderson, A. S. (2001). Addressing food security in Africa via multiple livelihood strategies of women farmers. *Food Policy* , 26, 177-207.
- Hay, J. E. (2003). *Climate variability and change and sea-level rise in the pacific islands region. A resource book for policy and decision makers, educators and other stakeholders*. Apia, Samoa: South Pacific Environment regional Programme.
- Hulme, M., Doherty, R., Ngara, T., & New, M. (2005). Global warming and Africa climate change. Dans A. Low, *Climate change and Africa* (pp. 29-40). Cambridge: Cambridge University Press.
- Kang, Y., Khan, S., & Ma, X. (2009). Climate change impact on crop yield, crop water productivity and food security- A review. *Progress in Natural Science* , 1665-1674.
- Kijne, J., Bindraban, P., Hanjra, M. A., Molden, D., Oweis, T., & Steduto, P. (2010). Improving agricultural water management: Between optimism and caution. *Agricultural water management* , 528-535.
- Kotir, J. H. (2011). Climate change and variability in Sub-Saharan Africa: A review of current and future trends and impacts on agriculture and food security. 587-605.
- Kurukulasuriya, P., & Mendelsohn, R. (2008). A Ricardian analysis of the impact of climate change on African cropland. *AfJARE* , 2.
- Kurukulasuriya, P., & Mendelsohn, R. (2008b). *How Will Climate Change Shift Agro-Ecological Zones and Impact African Agriculture?* World Bank Development Research Group Sustainable Rural and Urban Development Team .
- Kurukulasuriya, P., Mendelsohn, R., Rashid, H., Benhin, J., Temesgen, D., Diop, M., et al. (2006). Will African Agriculture Survive Climate Change? *The World Bank Economic Review* , 367-388.
- Lesourd, M. (2001). Le coton au Senegal Oriental: crise environnementale ou crise sociale et institutionnelle. *Un produit, une filière, un territoire* . Toulouse.
- Ludi, E. (2009, March). Climate change, water and food security. *Overseas Development Institute Background Note* , pp. 1-8.

- Mariara, J. K., & Karanja, F. K. (2006). The Economic Impact of Climate Change on Kenyan Crop Agriculture: A Ricardian Approach. *Third World Congress of Environmental and Resource Economics* .
- Martin, F. (1988). Analyse de la situation alimentaire du Senegal a l'aide de l'exercice de modelisation effectue a l'ISRA-BAME. *La politique agricole au Senegal* (pp. 216-252). ISRA.
- Maxwell, S., & Smith, M. Household food security: A conceptual review. Dans *Household food security: Concepts, indicators, measurements* (pp. 1-72).
- Mearns, L. O., Hulme, M., Carter, T. R., Leemans, M., Lal, M., & Whetton, P. Climate Scenario Development.
- Millman, S. (1990). Hunger in the 1980s: Backdrop policy in the 1990s. *Food Policy* , 277-285.
- Ministere de l'Economie et des Finances. (2004). *La pauvreté au Sénégal: de la dévaluation de 1994 à 2001-2002*.
- Ministere de l'environnement et de la protection de la nature. (2006). *Plan d'action national pour l'adaptation aux changements climatiques*.
- Ministere de l'environnement et du developpement durable. (2012). *Evaluation des besoins en technologie (EBT) et plans d'action technologiques (PAT) aux fins d'attenuation aux effets du changement climatique*. Dakar.
- Ministere de l'environnement et du developpement durable. (2012). *Evaluation des besoins en technologie (EBT) et plans d'action technologiques (PAT) aux fins d'attenuation aux effets du changement climatique*.
- Molnar, J. J. (1999). Sound policies for food security: role of culture and social organization. *Agricultural Economics Review* , 489-498.
- Ndong, J. B. (1995). L'evolution de la pluviometrie au Senegal et les incidences de la secheresse recente sur l'environnement. *Revue de geographie de Lyon* , 193-198.
- Nelson, G. C., Rosegrant, M. W., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., et al. (2009). *Impact change impact on agriculture and costs of adaptation*. International Food Policy Research Institute. Washington D.C.: IFPRI.
- Oshaug. (1985). A basket of food, nutritionally adequate, culturally acceptable, procured in keeping human dignity and enduring over time. Dans E. e. al, *Introducing nutritional considerations into rural development programmes with focus on agriculture: towards practice*. Institute for nutrition research.
- Ouedraogo, M. (2012). Impact des changements climatiques sur les revenus agricoles au Burkina Faso. *Journal of Agriculture and Environment for International Development* , 3-21.
- Parry, M., Rosenzweig, A., Iglesias, C., Fisher, G., & Livermore, M. (1999). Climate change and world food security: a new assessment. *Global Environmental Change* , 51-67.
- République du Sénégal . (2006). *Document de Stratégie pour la croissance et la Réduction de la Pauvreté 2006-2010*.
- Reutlinger, S. (1985). Food security and poverty in LDCs. *Finance and Development* .

- Rosenzeig, C., Curry, B., Ritchie, J. T., Jones, J. W., Chou, T. Y., Goldberg, R., et al. (1994). The effects of potential climate change on simulated grain crops in the United States. Dans C. Rosenzweig, & A. Iglesias, *Implications of climate change for international agriculture: crop modeling study* (pp. 75-86). United States Environmental Protection Office of Policy and Planning Evaluation.
- Sahn, D. E. (1989). A conceptual framework for examining the seasonal aspects of household food security. Dans D. E. Sahn, *Seasonal variability in third world agriculture: the consequences for food security*. Baltimore: John Hopkins University Press.
- Seo, N., & Mendelsohn, R. (2008). *A Structural Ricardian Analysis of Climate Change Impacts and Adaptations in African Agriculture*. The World Bank Development Research Group Sustainable Rural and Urban Development Team .
- Shah, M. M., Fischer, G., & van Velthuisen, H. (2008). *Food security and sustainable agriculture. The challenges of climate change in Sub-Saharan African*. New York: Commission on Sustainable Development.
- Singh, R., van Dam, J. C., & Feddes, R. A. (2006). Water productivity analysis of irrigated crops in Sirsa district, India. *Agricultural Water Management* , 253-278.
- Smith, B. J., Schellnhuber, H. J., & Mirza, M. Q. (2001). Vulnerability to climate change and reasons for concern: A synthesis. Dans C. Hope, & S. K. Sinha, *Climate 2001: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of the Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 914-967). Cambridge: Cambridge University Press.
- Srinivasan, P. V., & Jha, S. (1999). Food security through price stabilisation: Buffer stock vs variable levies. *Economic and Political Weekly* , 34, 3299-3304.
- Sulo, T., & Chelangat, S. (2012). An econometrics assessment of food security estimation using fuzzy logics: A case in the arid and semi arid lands of Kenya. *Global journal of science frontier research agriculture and veterinary sciences* , 12 (9), 2012.
- Tanner, C. B., & Sinclair, T. R. (1983). Efficient water use in crop production: research or re-search? Dans H. M. Taylor, & W. A. Jordan, *Limitations to efficient water use in crop production*. Madison: American Society of Agronomy.
- Timmer, C. P. (2000). The macro dimensions of food security: economic growth, equitable distribution and food price stability. *Food Policy* , 25, 283-295.
- UNICEF. *Etude de faisabilite des forages manuels, identification des zones potentiellement favorables*.
- VAM/PAM. (2003). *La vulnérabilité structurelle à l'insécurité alimentaire en milieu rural au Sénégal*.
- Ziervogel, G., Nyong, A., Osman, B., Conde, C., Cortes, S., & Downing, T. (2006). *Climate variability and change: Implications for household food security*. Washington: AIACC working paper.

