

Impact des changements climatiques sur les revenus agricoles au Burkina Faso

MATHIEU OUÉDRAOGO

Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA). Station de Farako-Bâ, Programme GRN / SP-Ouest, 01 BP 910 Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso.

Courrier électronique : oued_mathieu@yahoo.fr

Présenté le 11 Janvier 2012, accepté le 28 Mars 2012

Résumé. Cette étude évalue l'impact des changements climatiques sur les revenus agricoles des agriculteurs au Burkina Faso, en utilisant l'approche *Ricardienne*. Cette méthode permet de modéliser les revenus agricoles en fonction des variables climatiques, édaphiques, hydrologiques et socio-économiques. Plusieurs modèles économétriques ont été testés sur la base des données primaires de la campagne agricole 2002-2003. Ces modèles ont permis d'établir d'une part la relation qui existe entre le revenu agricole et les variables climatiques (température et précipitation) et d'autre part, d'analyser la sensibilité des revenus agricoles par rapport à ces variables climatiques. Des simulations ont été faites sur la base des prévisions du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC).

Les résultats de l'étude ont montré que la relation entre le revenu et le climat est non linéaire. L'impact marginal de la température sur le revenu agricole est de -19,9 dollars US par hectare tandis que celui de la précipitation est de +2,7 dollars US par hectare. L'analyse des élasticités montre que l'agriculture est très sensible à la précipitation au Burkina. L'augmentation des précipitations de 1% entraîne une hausse des revenus agricoles de 14,7%. Cependant, une augmentation des températures de 1% entraîne une baisse des revenus agricoles de 3,6%. Les analyses de sensibilité ont montré que les paysans perdront 93% de leurs revenus suite à une augmentation de la température de 5°C. Ils perdront tout leur revenu suite à une diminution des précipitations de 14% (*ceteris paribus*). Du fait des conditions climatiques déjà difficiles, les *Scenarios* de diminution des précipitations ou/et d'augmentation des températures sont très dommageables à l'agriculture au Burkina.

Par ailleurs, l'étude a montré que la pratique de l'irrigation et l'accès à la vulgarisation ont un effet positif sur le revenu agricole et peuvent servir d'options viables pour l'adaptation au changement climatique en agriculture au Burkina.

Mots clés : Changements climatiques, revenus agricoles, modèle ricardien, Burkina Faso.

Introduction

Le réchauffement climatique est sans équivoque (GIEC, 2001 ; GIEC, 2007) et aura des incidences certaines sur l'agriculture. Ces incidences peuvent être plus accusées dans certains pays que dans d'autres, du fait de la grande variabilité spatiale du climat et du développement socio-économique du pays.

Le Burkina Faso, dont l'économie repose essentiellement sur le secteur rural pourrait être particulièrement affecté par les changements climatiques. En effet, les performances de l'économie du pays sont étroitement liées à celles du secteur agricole qui du reste sont tributaires du climat. Le climat burkinabé est caractérisé par un important déficit pluviométrique, une rigueur de la nature et un environnement naturel fragile à risque. La pluviométrie est caractérisée par de fortes irrégularités interannuelles et spatio-temporelles (Ouédraogo *et al.*, 2010). Ce qui a un impact direct sur les rendements et la production agro-pastorale. Les aléas climatiques qui affectent la stabilité de la production agro-pastorale et celle des recettes d'exportation fragilisent l'économie du pays. Cette situation sera exacerbée dans une perspective de changement climatique global, d'où l'intérêt pour le Burkina Faso de connaître l'impact des éventuels changements climatiques sur la production agricole.

Cette étude a pour objectif général d'évaluer l'impact des changements climatiques sur les revenus agricoles au Burkina. De façon spécifique, l'étude vise à établir la relation entre le revenu agricole et les variables climatiques (température et précipitation), à déterminer les impacts marginaux et les élasticités de la température et de la précipitation sur le revenu agricole et à simuler l'impact des changements climatiques sur le revenu agricole sur la base des scénarios de changements climatiques.

Le présent article présente d'abord le contexte climatique et agricole du Burkina Faso, puis la méthodologie de recherche suivi des résultats et discussion de l'étude et ensuite la conclusion.

Climat et agriculture au Burkina Faso

Le Burkina Faso a un climat de type soudano-sahélien caractérisé par l'alternance d'une saison sèche et d'une saison des pluies qui dure trois à six mois selon les zones. Le rythme des saisons est déterminé par le déplacement du front intertropical (FIT). Les pluies commencent de façon sporadique, par le Sud-Ouest dès le mois d'avril et s'installent progressivement sur tout le pays à partir de juin. Elles cessent à partir de la fin du mois de septembre. Le mois d'août est le plus pluvieux dans tout le pays. La pluviométrie saisonnière est unimodale. La pluviométrie moyenne annuelle décroît du Sud-Ouest au Nord, allant de 1.200 mm à moins de 400 mm avec un nombre de jours pluvieux variant respectivement de 80 jours à 40 jours (SP/CONAGESE, 2001).

On distingue trois zones agro-climatiques (Figure 1) qui sont :

- une zone soudanienne, située au sud du parallèle 11°30' avec une pluviométrie annuelle moyenne comprise entre 900 et 1 200 mm et une saison des pluies de six mois.
- une zone soudano-sahélienne, située entre les parallèles 11°30' et 14°00'N, avec une pluviométrie annuelle moyenne comprise entre 600 et 900 mm, répartie sur quatre à cinq mois.
- une zone sahélienne située au nord de 14°00'N, avec une pluviométrie annuelle moyenne comprise entre 300 et 600 mm et concentrée sur trois mois.

Les limites géographiques des zones agro-climatiques définies dans la Figure 1 fluctuent avec la dérive climatique que connaît le Burkina Faso. En effet, on assiste à une migration des isohyètes du nord vers le sud avec une diminution de la période de croissance végétale de 20 à 30 jours par rapport aux années 1960 (PANA, 2003).

Les températures présentent de grandes variations saisonnières et de fortes amplitudes diurnes. Les températures moyennes atteignent leurs fortes valeurs en mars, avril puis en octobre, leurs faibles valeurs (au-dessous de 25°C) en novembre, décembre, janvier et en février. Les valeurs les plus élevées ainsi que les plus faibles se rencontrent dans la partie Nord du pays donnant des amplitudes thermiques diurnes, mensuelles et annuelles élevées. Les températures maximales ont une évolution

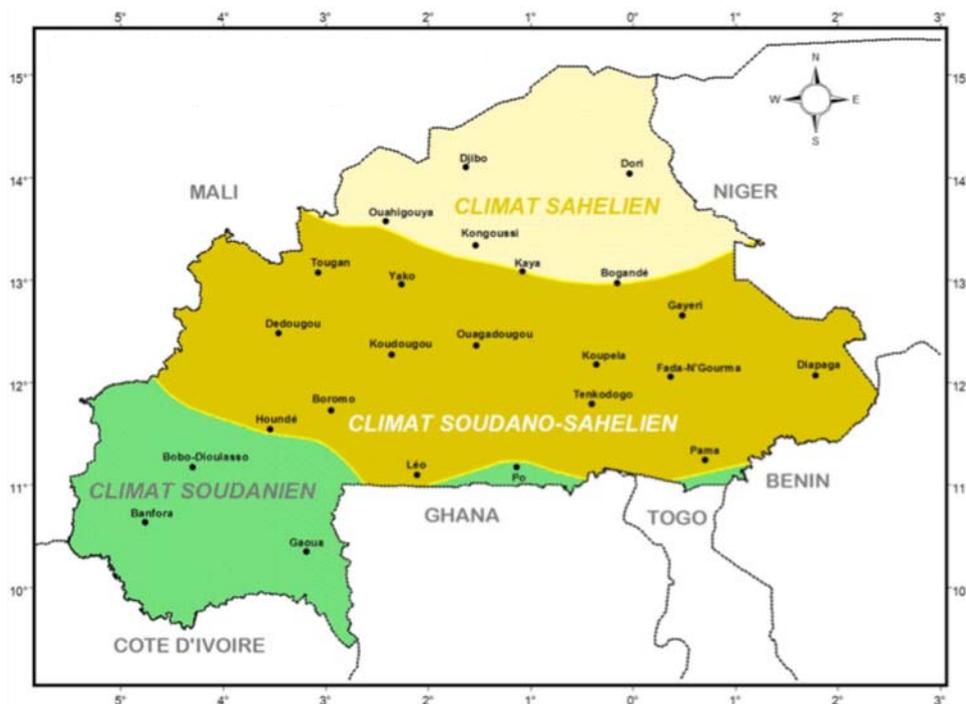


Figure 1 - Les zones agro-climatiques du Burkina Faso (1971-2000)

annuelle similaire à celle des moyennes, mais restent comprises entre 28°C et 42°C. Les températures minimales moyennes, à l'exception de la pointe nord du pays, restent comprises entre 16°C et 27°C (SP/CONAGESE, 2001).

Le secteur rural demeure le moteur du développement économique et social du Burkina Faso. Il occupe près de 86 % de la population active, contribue pour près de 40% au PIB (dont 25% pour l'agriculture, 12% pour l'élevage et 3% pour la foresterie) et assure environ 80 % des exportations totales du Burkina Faso (MAHRH b, 2004). Le coton a été le premier produit d'exportation du pays jusqu'en 2008 où il a été dépassé par l'or depuis 2009. Il a représenté 29% des recettes en devises en 2009 contre 40% en 2008 (MEF, 2010).

L'agriculture est quasi exclusivement extensive et se pratique essentiellement dans des exploitations familiales, dominée par de petites exploitations de 3 à 6 ha maximum.

L'agriculture *stricto sensu* contribue pour près de 25% au PIB du Burkina Faso. Elle est quasi exclusivement extensive et se pratique essentiellement dans des exploitations familiales, dominées par de petites exploitations de 3 à 6 ha maximum. Le recensement général de l'agriculture de 2006 a dénombré 1 444 795 ménages agricoles au Burkina Faso, représentant 81,6% de l'ensemble des ménages du pays (MAHRH, 2009). Les superficies cultivables sont estimées à 9 millions d'hectares (soit environ 30% de la superficie totale du pays). Seulement 4,5 à 5 millions d'hectares sont effectivement cultivées chaque année. Les céréales (sorgho, mil, maïs, riz et fonio) qui occupent près de 77% des superficies annuelles cultivées entre 2001 et 2010 et constituent l'alimentation de base de la majorité de la population. Les légumineuses et les tubercules dont les principales cultures sont le niébé, le voandzou, la patate douce, l'igname et dans une moindre mesure le manioc, occupent de très faibles superficies (environ 3% des superficies cultivées entre 2001 et 2010). Les cultures de rente (coton, sésame, arachide, soja) qui constituent des cultures d'exportation représentent environ 20% des superficies annuelles emblavées entre 2001 et 2010. Les principales cultures maraîchères et fruitières sont l'oignon, la tomate et la mangue. Seuls le haricot vert et la mangue (principale culture fruitière) sont exportés vers l'Union Européenne.

L'agriculture est dominée par le système pluvial. Seulement 24 000 ha environ de terres sont irrigués pour un potentiel irrigable de 233 500 ha (MAHRH a, 2004). Les cultures irriguées sont le riz, la canne à sucre et les cultures maraîchères. Ces dernières années, on assiste à la promotion de la culture de maïs irrigué (en saison sèche) à travers la petite irrigation et à l'émergence de nouveaux acteurs ayant des objectifs d'agriculture marchande et particulièrement orientées vers l'agro-business.

En somme, c'est une agriculture de subsistance, peu productive et tributaire du climat. Elle parvient difficilement à satisfaire les besoins alimentaires et à garantir toujours la sécurité alimentaire du pays.

Méthodologie de l'étude

Cadre théorique

Plusieurs méthodes ont été utilisées dans la littérature pour évaluer l'impact des changements climatiques sur l'agriculture (Bazzaz et Sombroek, 1997). Parmi ces approches, on peut distinguer l'approche par la fonction de production et l'approche *Ricardienne*.

L'approche par la fonction de production est fondée sur l'existence d'une fonction de production pour toute culture, qui relie la production (ou le rendement) de la culture à son environnement biophysique. Cette approche estime directement le changement du rendement à partir des modèles de réponse des cultures. Elle permet de mesurer l'impact des changements climatiques sur le rendement, en faisant varier les niveaux des stimuli climatiques. Cette approche a été utilisée par Reilly et al. (1994), Rosenzweig et Iglesias (1994), Rosenzweig et Parry (1994), pour estimer l'impact du climat sur la production végétale. Cependant, l'approche par la fonction de production présente un biais car il a tendance à surestimer les dommages du changement climatique sur la production en omettant les diverses possibilités d'adaptation des agriculteurs en réponse aux conditions socio-économiques et environnementales (Mendelsohn et al., 1994). Pour corriger ce biais, Mendelsohn et al. (1994) ont développé l'approche *Ricardienne* qui évalue l'impact direct du climat sur les revenus agricoles en tenant compte des adaptations potentielles aux changements climatiques (substitutions indirectes des intrants, introduction de nouvelles activités, etc.). Elle permet de comparer la sensibilité au changement climatique de différentes régions car elle relie les différences interrégionales du climat à la différence de la valeur de la terre. L'approche *Ricardienne* a été utilisée par Dinar et al. (1998) pour estimer l'impact du changement climatique sur l'agriculture indienne. De même, Gbetibouo G. and Hassan R. (2005), Kurukulasuriya et al. (2006), Ouédraogo et al. (2006) l'ont appliqué pour évaluer l'impact des changements climatiques sur l'agriculture respectivement en Afrique du Sud, en Afrique et au Burkina Faso.

L'approche *Ricardienne* est basée sur la rente foncière qui est considérée comme le revenu (ou produit net) de la meilleure utilisation de la terre. La rente foncière représente la production nette de la terre. Le revenu net agricole (V) représente la valeur actuelle de la productivité future de la terre. Le principe est traduit par l'équation suivante (Mendelsohn et Dinar, 2003).

Où : PLE = revenu net par hectare, P_i = prix de marché de la culture i ,

$$\begin{aligned} V &= \int P_{LE} e^{-\delta t} dt \\ &= \int \left[\sum P_i Q_i(X, F, Z, G) - \sum RX \right] e^{-\delta t} dt \end{aligned} \quad (1)$$

Q_i = quantité produite de la culture i ,
 F = vecteur des variables climatiques,
 Z = ensemble des variables édaphiques,
 G = ensemble des variables socio-économiques telles que l'accès au marché et au capital,
 X = vecteur des facteurs de production (autres que la terre),
 R = vecteur des prix des facteurs de production,
 t = temps et r = taux d'actualisation.

Les agriculteurs sont supposés maximiser leurs revenus nets en utilisant les facteurs de production (X) en fonction des caractéristiques de leur exploitation et en faisant face aux conditions climatiques (F), aux conditions des sols (Z), aux caractéristiques socio-économiques (G), et aux prix des facteurs (R). Le modèle ricardien examine comment l'ensemble des variables endogènes F , Z , et G , affectent la valeur de la ferme. Le modèle est basé sur les réponses observées des cultures et des fermiers aux conditions climatiques. Il utilise les observations actuelles des performances des exploitations agricoles selon les différentes zones climatiques (Mendelsohn et *al.*, 1994 ; Mendelsohn et Dinar, 1998). Il mesure comment la rentabilité agricole varie avec le climat local en contrôlant les autres facteurs.

Le modèle ricardien standard est un modèle quadratique sur le climat :

$$V = \beta_0 + \beta_1 F + \beta_2 F^2 + \beta_3 Z + \beta_4 G + u \quad (2)$$

Où : u = est le terme d'erreur,

F et F^2 = capture les termes linéaires et quadratiques pour les températures et les précipitations. L'introduction des termes quadratiques pour les variables climatiques reflète la non linéarité de la relation entre le revenu net et le climat.

De l'équation (2), nous pouvons dériver l'impact marginal des variables climatiques sur le revenu comme suit:

$$E[dV / df_i] = E[\beta_{1,i} + 2 * \beta_{2,i} * f_i] = \beta_{1,i} \quad (3)$$

Le coefficient du terme linéaire de chaque variable climatique représente l'impact marginal de cette variable sur la valeur de la ferme.

Le changement du bien être U , résultant du changement du climat de C_0 à C_1 peut être mesuré comme suit :

$$\Delta U = V(C_1) - V(C_0) \quad (4)$$

Collecte et analyse des données

Les données ont été collectées sur un échantillon de 1.530 exploitations agricoles répartis dans 51 départements du Burkina Faso.

Les départements ont été choisis à partir d'un échantillonnage stratifié et raisonné en fonction du découpage administratif et du zonage agro-climatique du pays afin de capter la variabilité spatiale du climat au Burkina. En effet, le pays est divisé administrativement en 45 provinces et 351 départements (INSD, 2000). Le tirage des départements dans chaque province s'est fait de manière aléatoire et simple. Il s'agit d'un tirage des provinces échantillons avec une probabilité de prélèvement proportionnelle à la superficie de la province. Ainsi, deux départements ont été retenus pour chacune des 7 plus vastes provinces du pays contre un seul département pour chacune des 37 autres provinces, d'où un nombre total de 51 départements. La province du Kadiogo n'a pas été prise en compte car, elle constitue la capitale du pays avec 75% de taux d'urbanisation (INSD, 2000). La Figure 2 présente la distribution des sites d'étude.

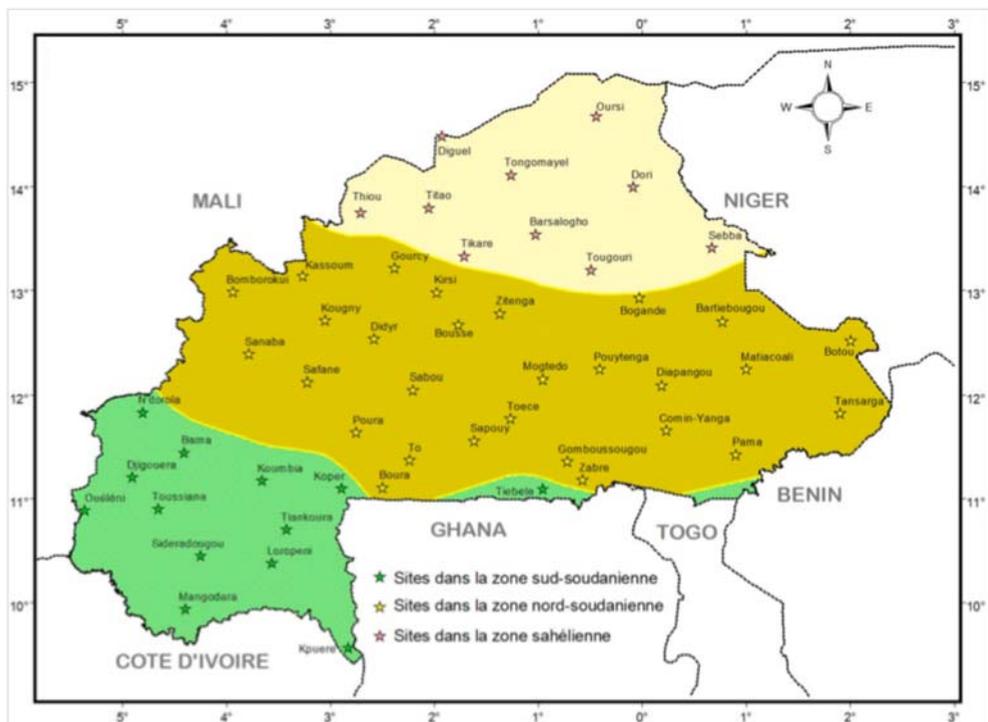


Figure 2 - Distribution des sites d'enquête

Le choix de la taille de l'échantillon a été guidé par la méthodologie uniformisée du projet. Un échantillon de 30 exploitations par département a été retenu soit un total 1530 exploitations agricoles pour les enquêtes. Notons que l'étude a été menée dans le cadre du projet « GEF/World Bank Regional Climate, Water and Agriculture: Impacts on and Adaptation of Agro-ecological Systems in Africa » coordonné par le Centre for Environmental Economics and Policy in Africa (CEEPA) en Afrique du Sud (Ouédraogo et al., 2006).

Deux types de données ont été utilisés pour cette étude : des données primaires et des données secondaires.

Les données primaires ont été obtenues à partir d'une enquête auprès de l'échantillon des exploitations agricoles retenues. Elles ont concerné les caractéristiques socio-économiques des exploitations (âge, niveau d'instruction, activité principale du chef de ménage, taille du ménage, superficie de l'exploitation, etc.), les productions (végétale et animale), les facteurs de production (intrants agricoles, équipements, et main d'œuvre utilisée), l'environnement socio-institutionnel des exploitations (accès au crédit, accès au service de vulgarisation, etc.) Ces données ont été collectées de juillet à septembre 2003 et se rapportent à une année (mai 2002 à avril 2003).

Les données secondaires ont été collectées à l'échelle du département. Il s'agit des données sur le climat (températures moyennes mensuelles et précipitations totales mensuelles), l'hydrologie (ruissellement) et les types de sols. Les températures utilisées sont des données satellitaires qui proviennent du Department of Defense des USA et les précipitations, du National Oceanic Atmospheric Association's (NOAA) Climate Prediction Centre of the USA (NOAA) (World Bank, 2003). Les données sur les sols proviennent du Food and Agriculture Organization (FAO) (FAO, 2003). Les données hydrologiques proviennent de l'International Water Management Institute (IWMI) et de l'université de Colorado. Le choix de ces données secondaires relève de la méthodologie uniformisée du projet pour permettre la comparaison des résultats entre les pays participants au projet, d'une part, et l'agrégation des données pour une analyse régionale d'autre part (Ouédraogo et al., 2006).

Les données ont été traitées et analysées à partir des statistiques descriptives et de la modélisation économétrique à l'aide du logiciel Stata 8.

Spécification du modèle

Forme fonctionnelle

Partant du modèle ricardien standard développé par Mendelsohn et Dinar (2003), le modèle ricardien appliqué au Burkina Faso intègre le ruissellement (W) comme une source additionnelle d'eau, en plus de la précipitation qui est pris en compte dans les variables climatiques.

Le nouveau modèle ricardien se présente comme suit :

$$V = \beta_0 + \beta_1 F + \beta_2 F^2 + \beta_3 Z + \beta_4 G + \beta_5 W + u \quad (5)$$

Partant de l'évidence des résultats obtenus par Mendelsohn *et al.* (1994) dans leur étude et prenant en compte les caractéristiques du climat du Burkina, nous avons retenu la forme fonctionnelle suivante :

$$\begin{aligned} RN_{ha} = & \beta_1 temp_sh + \beta_2 temp_sh^2 + \beta_3 temp_ss + \beta_4 temp_ss^2 + \\ & \beta_5 precip_sh + \beta_6 precip_sh^2 + \beta_7 precip_ss + \beta_8 precip_ss^2 + \\ & \beta_9 ruiss + \beta_{10} ruiss^2 + \sum_{i=1}^n \alpha_i Sol_i + \sum_{j=1}^m \mu_j Z_j + C^{te} \end{aligned} \quad (6)$$

Où : temp_sh et temp_ss = sont respectivement la température satellitaire moyenne respectivement pour la saison humide et la saison sèche ;
 precip_sh et precip_ss = représente la pluviométrie totale moyenne respectivement pour la saison humide et la saison sèche,
 ruiss = représente le ruissellement,
 Z_j = est l'ensemble des caractéristiques des exploitations;
 j , j , μ_j = sont des coefficients des variables et
 C_{te} = est une constante.

Les variables indépendantes incluent les termes linéaires et quadratiques de la température, de la précipitation, du ruissellement et seulement les termes linéaires des sols et des caractéristiques des exploitations.

Définition des variables

La variable dépendante

La variable dépendante est le revenu net agricole. Il est calculé pour chaque ménage agricole et se définit comme étant la valeur de la production végétale moins les coûts de production associés (coûts des semences, des fertilisants et des pesticides, coûts de l'utilisation de l'équipement et du matériel agricoles, coûts de stockage, pertes). Le coût de la main d'œuvre familiale et de l'utilisation de la terre, ne sont pas pris en compte dans le calcul du revenu agricole. Le revenu moyen de l'échantillon est de 146 USD/ha et par an. Il varie en fonction de la zone agro-climatique. Il est de 176 USD/ha en zone nord-soudanienne, de 141 USD/ha en zone soudano-sahélienne et de 100 USD/ha en zone sahélienne. Le revenu moyen pour les exploitants pratiquant l'irrigation est de 315 USD/ha contre 134 USD/ha pour le pluvial strict.

Les variables indépendantes

Les variables explicatives sont : les variables climatiques, hydrologiques, les sols, les caractéristiques des exploitations et leur environnement socio-institutionnel.

Les variables climatiques sont constituées de la température et de la précipitation pour lesquelles nous avons défini deux variables saisonnières. Une variable saison sèche et une variable saison humide. La variable température saison sèche correspond à la moyenne des températures de la saison sèche (du mois de novembre à avril), et la variable température saison humide correspond à la moyenne des températures de la saison des pluies (du mois de mai à octobre). La variable précipitation saison sèche correspond au cumul des précipitations de la saison sèche et la variable précipitation saison humide correspond à celui de la saison des pluies. La température est exprimée en degré Celsius tandis que la précipitation est exprimée en mm. La variable hydrologique est représentée par les eaux de ruissellement et est exprimée en mm.

Les variables édaphiques se rapportent aux 11 groupes de sols représentés au Burkina. Il s'agit des sols Luvic Arenosols (Ql), Eutric Gleysols (Re), Solodic Planosols (Ws), Gleyic Luvisols (Lg), Ferric Luvisols (Lf), Phinthic Luvisols (Lp), Vertic Cambisols (Bv), Chromic Cambisols (Vc), Euric Cambisols (Be), Dystric Nitosols (Nd), Lithosols (I). Elles sont exprimées en pourcentage du type de sol (selon la classification FAO), par rapport à la superficie du département. L'effet attendu des variables édaphiques dépend des propriétés du sol.

Les caractéristiques des exploitations se rapportent au niveau d'utilisation des facteurs de production (traction animale, superficie de l'exploitation, taille du ménage, utilisation de la main d'œuvre salariée, pratique de l'irrigation). La traction animale, l'utilisation de la main d'œuvre salariée et la pratique de l'irrigation sont des variables dichotomiques qui prennent la valeur (1) si l'individu a recours à cette pratique et (0) si non. Les effets attendus de ces variables sont positifs.

Les variables socio-institutionnelles sont : l'accès au crédit et l'accès à la vulgarisation dont les effets attendus sont positifs. Ce sont des variables dichotomiques qui prennent la valeur (1) si l'individu a accès au crédit ou à la vulgarisation et (0) dans le cas contraire.

Procédure d'estimation et validation des modèles

Les régressions ont été effectuées étape par étape en utilisant le logiciel STATA. Nous avons intégré d'abord les variables climatiques, puis les variables hydrologiques et enfin les variables édaphiques. Cette première séquence de variables a permis de définir un modèle reposant uniquement sur des facteurs physiques que nous avons appelé modèle sans adaptation. Il s'agit d'un modèle qui régresse le revenu net agricole par hectare en fonction de la température, de la précipitation, du ruissellement, et des types de sols. Ensuite, nous avons intégré au premier modèle des variables relatives

aux caractéristiques des exploitations et à leur environnement socio-institutionnel pour prendre en compte les adaptations mises en œuvre par les agriculteurs et, apprécier leur effet sur le revenu agricole. Il s'agit de la superficie de l'exploitation, de la taille du ménage, de l'utilisation de la traction animale, de la main d'œuvre salariée et de la pratique de l'irrigation. Ce deuxième modèle est dit modèle avec adaptation.

Pour chacun de ces modèles, nous avons testés un modèle conditionnel portant sur les exploitations en pluvial strict.

Les paramètres des modèle ont été estimés par la méthode des moindres carrées ordinaires (MCO). L'évaluation globale des régressions est faite avec l'analyse de la variance et le coefficient de détermination (R^2). La signification individuelle des paramètres est évaluée avec le test de Student.

Résultats et discussion

Résultats des modèles de régression

Les résultats des régressions sont donnés par le tableau 1. Le test de Fisher-Snedcor montre que les régressions sont globalement significatives. Le coefficient de détermination (R^2) du modèle sans adaptation est de 0,15. L'intégration de variables d'adaptation améliore la qualité de l'ajustement (avec $R^2=0,19$). Les modèles portant sur le système pluvial strict ont des R^2 plus faibles (environ 0,17). Quelque soit le modèle de régression estimé, une grande part de la variation du revenu agricole reste inexpliquée par les variables prises en compte. Néanmoins, ces modèles restent satisfaisants au regard des résultats obtenus dans le cadre d'études similaires (Gbetibouo G. and Hassan R., 2005 ; Kurukulasuriya et al., 2006).

Le test de Student montre que les termes quadratiques de la température, de la précipitation sont significatifs au seuil de 1%. Ceci signifie que la relation entre le revenu et climat est non linéaire. De même la relation entre le revenu et le ruissellement est non linéaire. Les signes des termes linéaires et quadratiques sont opposés. Ce qui signifie que la température et la précipitation affectent positivement le revenu jusqu'à un certain niveau au delà duquel chacune de ces variables devient néfaste pour les cultures. La relation entre le revenu agricole et la précipitation de la saison humide est en forme de U. Il en est de même pour les relations entre le revenu agricole et la température de la saison humide et de celle entre le revenu agricole et le ruissellement. La relation entre le revenu et la température et la précipitation de la saison sèche est du type U inversé.

Les effets des sols sur le revenu agricole sont négatifs dans tous les modèles. Les caractéristiques générales des sols au Burkina Faso qui sont d'un faible niveau de fertilité et d'une faible capacité de rétention en eau expliquent cette situation (Somé et Dembélé, 1996).

Tableau 1 - Résultats des modèles de régression (variable dépendante = revenu net agricole)

Variables	Modèle sans adaptation		Modèle avec Adaptation			
	Ensemble des exploitations		Ensemble des Exploitations		Pluvial strict	
	Coef.	t	Coef.	T	Coef.	T
Variabiles climatiques						
Température SH	-426,9***	-2,66	-522,6***	-2,62	-605,5***	-3,04
Température SH au carré	7,907***	2,62	9,910***	2,64	11,61***	3,1
Température SS	722,8 *	1,71	892,4**	2,08	1125***	2,75
Température SS au carré	-13,98*	-1,72	-17,61**	-2,12	-22,12***	-2,8
Précipitation SH	-2,415 *	-1,76	-1,465	-0,82	-2,43	-1,42
Précipitation SH au carré	0,001	1,11	0,001	0,52	0,001	1,29
Précipitation SS	15,12***	4,32	12,30***	3,52	12,58***	3,67
Précipitation SS au carré	-0,066***	-4,62	-0,056***	-3,89	-0,060***	-4,14
Variabiles hydrologiques						
Ruissellement	-15,72**	-2,25	-12,19*	-1,94	-1,553	-0,33
Ruissellement au carré	0,632***	3,38	0,536***	3,18	0,273*	1,89
Variabiles édaphiques						
Sol 1 : Luvic Arenosols (Ql)	-192,1	-0,94	-133,3	-0,66	-18,19	-0,11
Sol 2 : Eutric Gleysols (Re)	-144,7	-0,75	-133,8	-0,71	-29,87	-0,19
Sol 3 : Solodic Planosols (Ws)	-520,0**	-2,34	-477,4**	-2,3	-314,9*	-1,77
Sol 4 : Gleyic Luvisols (Lg)	-183,5	-0,96	-183,5	-0,97	-95,12	-0,6
Sol 5 : Ferric Luvisols (Lf)	-322,7 *	-1,7	-311,6*	-1,66	-226,8	-1,42
Sol 6 : Phinthic Luvisols (Lp)	-357,3*	-1,72	-318,4	-1,58	-219,5	-1,27
Sol 7 : Vertic Cambisols (Bv)	-418,1**	-2,04	-406,4*	-2,03	-312,7*	-1,89
Sol 8 : Chromic Cambisols (Vc)	-284,8	-1,5	-264,0	-1,41	-209,3	-1,26
Sol 9 : Euric Cambisols (Be)	-735,8***	-3,38	-628,9***	-3	-544,1***	-2,84
Sol 10 : Dystric Nitosols (Nd)	-945,2***	-3,63	-896,1***	-3,52	-765,7***	-3,14
Sol 11 : Lithosols (I)	-289,9	-0,99	-276,0	-0,98	-126,1	-0,48
Variabiles socio-économiques						
Superficie de l'exploitation			-3,429*	-1,83	-3,266*	-1,68
Log (taille du ménage)			-3,447	-0,19	6,704	0,36
Pratique de l'élevage (1/0)			-50,44	-1,2	-53,25	-1,27
Accès à la vulgarisation (1/0)			6,182	0,26	14,32	0,58
Irrigation (1/0)			150,8***	3,63		
Utilisation MO salariée (1/0)			-33,6**	-2,01	-23,49	-1,41
Traction animale (1/0)			-28,3	-1,58	-31,24*	-1,73
Constante	-2625	-0,55	-3739	-0,82	-5690	-1,30
Nombre d'observations	861		843		787	
F	9,34		7,25		6,88	
R ²	0,1542		0,1942		0,1687	

* Significatif au seuil de 10%; ** Significatif au seuil de 5%; *** Significatif au seuil de 1%.

L'effet de la superficie sur le revenu agricole est négatif. Pour compenser la faible productivité de terre, les agriculteurs ont tendance à accroître les superficies cultivées. Cette stratégie permet certes d'augmenter la production, mais n'améliore généralement pas la productivité de la terre. Elle entraîne des baisses de rendement par manque de moyens pour l'entretien de grandes superficies (Ouédraogo et *al.*, 2010).

La taille du ménage a un effet positif sur le revenu net agricole. Elle contribue à la satisfaction des besoins en main d'œuvre qui constitue une contrainte dans le système d'agriculture extensive.

L'accès à la vulgarisation contribue à améliorer les revenus nets agricoles. L'irrigation a un effet positif sur le revenu agricole. Elle apparaît comme une option d'adaptation au changement climatique. L'irrigation est pratiquée en saison sèche et procure des revenus additionnels aux exploitations.

L'élevage influe négativement sur le revenu net agricole. Cependant, l'intégration agriculture/ élevage devrait permettre d'améliorer la productivité des terres par le fumier de l'élevage et le développement de la traction animale.

Sensibilité des revenus agricoles par rapport au climat

Les indicateurs utilisés pour évaluer la sensibilité des revenus agricoles par rapport au climat sont : l'impact marginal de la température et de la précipitation et l'élasticité du revenu par rapport à la température et à la précipitation. L'effet marginal de la température est calculé sur la base de la température moyenne de l'échantillon et l'effet marginal de la précipitation est calculé sur la base de la moyenne des précipitations annuelles de l'échantillon d'étude (Ouédraogo et *al.*, 2006 ; Ouédraogo, 2008).

Le tableau 2 présente les effets marginaux des variables climatiques. L'effet marginal de la précipitation est significatif au seuil de 1% tandis que celui de la température est significatif au seuil de 10% pour le modèle avec adaptation.

Si la moyenne des précipitations annuelles augmente de 1 mm, les revenus agricoles augmenteront de 2,70 \$US/hectare en moyenne pour l'ensemble des agriculteurs de l'échantillon. Cette augmentation de revenu sera de 2,56 \$US /ha pour les agriculteurs qui sont en pluvial strict. Ce gain atteindra 3,51 USD/ha si les agriculteurs n'avaient pas déjà adopté certaines stratégies d'adaptation. Ce qui veut dire que les pratiques actuelles des agriculteurs atténuent l'effet de la variabilité climatique.

Par ailleurs, si les températures moyennes augmentent de 1°C, les revenus nets agricoles baisseront de 19,90 \$US par hectare pour le modèle avec adaptation. Cette baisse de revenu est plus faible pour le modèle sans adaptation (11,5 \$US /ha), mais reste non significatif. Les effets climatiques sur le revenu agricole sont légèrement atténués chez les exploitants strictement pluviaux. Les exploitations en système pluvial intègrent mieux les risques climatiques et prennent suffisamment de précautions pour

sécuriser leurs revenus. Ils ont déjà adopté des stratégies d'adaptation au changement du climat.

Les élasticités des variables climatiques montrent que les revenus agricoles sont très sensibles aux variations des précipitations au Burkina. Il ressort donc du Tableau 2 que l'augmentation des précipitations de 1% entraîne une hausse des revenus agricoles de 14,7%. Cependant, une augmentation des températures de 1% entraîne une baisse des revenus agricoles de 3,6%. Cette sensibilité est plus grande en système pluvial que pour l'ensemble des exploitations.

Tableau 2 - Impact marginal et élasticité du climat sur le revenu net agricole (\$US /ha) au Burkina Faso

Variables	Sans adaptation		Avec adaptation	
	Ensemble des exploitations	Pluvial strict	Ensemble des Exploitations	Pluvial strict
Température	-11,5 (-2,08)	-12,2 (-2,39)	-19,9* (-3,60)	-15,62 (-3,07)
Précipitation	3,51*** (19,21)	3,43*** (20,39)	2,7*** (14,75)	2,56*** (15,23)

* Significatif au seuil de 10% ; ** Significatif au seuil de 5% ; *** Significatif au seuil de 1%
() le nombre entre parenthèse représente l'élasticité du climat.

Impacts prévisionnels des changements climatiques sur le revenus agricoles

Pour évaluer l'impact prévisionnel des changements climatiques sur le revenu agricole au Burkina Faso, nous avons fait des simulations en se basant sur les scénarii uniformes du GIEC. D'après les prévisions du GIEC (2001), la température moyenne mondiale de surface devrait augmenter de 1,4 à 5,8°C durant la période 1990-2100. Des estimations assez proches de celles du GIEC (2001) ont été proposées avec des marges d'incertitudes plus réduites par le rapport GIEC (2007). Ce rapport prévoit une augmentation des températures de 1,8 à 4°C en 2090-2099 par rapport à 1980-1999. Selon les projections, la vapeur d'eau, l'évaporation et les précipitations devraient augmenter en moyenne à l'échelle du globe. Cependant, à l'échelle régionale, on prévoit à la fois des augmentations et des diminutions des précipitations. Vue la baisse tendancielle des précipitations observée au cours de ces dernières années au Sahel, il est fort probable que les changements climatiques se manifesteront par une diminution de la moyenne des précipitations d'où la nécessité de faire des simulations de réduction des précipitations. Ainsi, nous avons examiné l'effet des changements climatiques à travers les scénarios suivants : une augmentation de la température de 2,5°C et de 5°C et une diminution de la pluviométrie moyenne de 7% et de 14%.

Les résultats des simulations sont présentés par le Tableau 3. Il ressort qu'un

réchauffement de 2,5°C va entraîner une baisse des revenus agricoles de 46% tandis qu'une hausse des températures moyennes de 5°C va engendrer une perte des revenus de 93% en moyenne pour l'ensemble des exploitations (voir tableau 3). Une baisse des précipitations moyenne annuelle des sites de l'étude ne serait-ce que de 7% va engendrer la perte totale des revenus pour l'ensemble des exploitations toute chose restant égale par ailleurs. L'adaptation faisant partie intégrante de la nature humaine, ces prévisions alarmistes seront certainement atténuées.

Tableau 3 : Impacts des scénarios climatiques GIEC sur les revenus agricoles au Burkina Faso

Scénarios	Ensemble des exploitations		Pluvial strict	
	Δ Revenu net		Δ Revenu net	
	(\$US /ha)	(%)	(\$US /ha)	(%)
Augmentation de la température (2,5°C)	-68	-46	-54	-40
Augmentation de la température (5°C)	-135	-93	-108	-80
Diminution des précipitations (7%)	-215	-148	-196	-146
Diminution des précipitations (14%)	-431	-296	-392	-293

Discussion

Cette étude a mis en exergue une grande sensibilité des revenus agricoles aux précipitations au Burkina Faso. Cette sensibilité s'explique d'une part par les caractéristiques du climat du pays et d'autre part par celles de son agriculture. Concernant le climat, il faut noter qu'à l'instar des pays sahéliens, le Burkina a été frappé par la crise climatique qui a sévi dans le Sahel depuis la fin des années 1960. Cette crise a été marquée par un déficit pluviométrique persistant (Albergel, 1987; Paturel et al., 1998) avec quelques années à pluviométrie normale ou excédentaire (Puech, 1983 ; Somé et Dembélé, 1996). Aussi, les modifications du régime des pluies qui sont intervenues au cours du XXe siècle dans certaines régions du monde, se sont caractérisées, au Sahel, par un assèchement (GIEC, 2007). La conjonction de ces facteurs a détérioré les conditions climatiques du pays. Le caractère extensif et pluvial de l'agriculture au Burkina fait que la principale composante du revenu agricole demeure le rendement agricole. Selon les prévisions du rapport GIEC (2007), dans certains pays africains, le rendement de l'agriculture pluviale pourrait chuter de 50 % d'ici 2020. Ainsi, toute baisse de rendement entrainera une baisse des revenus agricoles. L'agriculture du Burkina étant fortement tributaire d'un climat peu favorable, se trouve donc vulnérable au changement climatique. Les résultats de l'étude montrent que le Burkina est moins affecté par les changements de la température que l'ensemble des 11 pays africains (Afrique du Sud, Burkina Faso, Cameroun, Egypte, Ethiopie, Ghana, Kenya, Niger, Sénégal, Zambie, Zimbabwe) pour lesquels une augmentation de 1°C de température entraîne une diminution des revenus agricoles de 27 \$US

(Kurukulasuriya et *al.*, 2006). Cependant, le Burkina est plus sensible à la variation des précipitations que l'ensemble de ces pays pour lesquels une diminution de 1 mm en moyenne sur les précipitations entraîne une baisse des revenus de 1,6 \$US (Kurukulasuriya et *al.*, 2006).

Conclusion

Cette étude a permis de quantifier l'impact des changements climatiques sur les revenus agricoles au Burkina Faso. Elle a montré que le climat a un effet non linéaire sur le revenu agricole. Les résultats montrent que l'agriculture est très sensible au changement des précipitations qu'à celui de la température au Burkina. Les simulations montrent que les Scenarios de diminution des précipitations ou/et d'augmentation des températures seront très dommageables à l'agriculture car les conditions climatiques sont déjà difficiles au Burkina. Par ailleurs, l'étude a montré que la pratique de l'irrigation et l'accès à la vulgarisation ont un effet positif sur le revenu agricole et peuvent servir d'options viables pour l'adaptation au changement climatique en agriculture au Burkina.

Cette étude considère la technologie comme une constante et ne prend pas en compte les adaptations futures que pourront mettre en œuvre les agriculteurs. Ainsi, les impacts pourront être atténués, mais pour cela, il est impératif de renforcer les capacités d'adaptation des agriculteurs vis-à-vis des changements climatiques au Burkina.

Remerciements

Ces travaux ont été conduits dans le cadre du projet « GEF/World Bank Regional Climate, Water and Agriculture: Impacts on and Adaptation of Agro-Ecological Systems in Africa » coordonné par le Centre for Environmental Economics and Policy in Africa (CEEPA) de l'Université de Prétoria (Afrique du Sud) et financé par la Banque mondiale. Nous remercions l'équipe technique et les partenaires financiers du projet.

Références

- Albergel J. 1987. Sécheresse, désertification et ressources en eau de surface : Application aux petits bassins du Burkina Faso in *The Influence of Climate Change and Climatic Variability on the Hydrologic Regime and Water Resources (Proceedings of the Vancouver Symposium, August 1987)*. IAHS Publ. no. 168, 1987, 355-365.
- Bazzaz F. et Sombroek W. 1997. Changements du climat et production agricole : Effets directs et indirects du changement des processus hydrologiques, pédologiques et

- physiologiques des végétaux, Polytechnica, FAO, Rome, 406p
- Dinar A., Mendelsohn R., Evenson R., Parikh J., Sanghi A., Kumar K., Mckinsey J., Lonergan S. 1998. Measuring the Impact of Climate Change on Indian Agriculture, World Bank Technical Paper No. 402, Washington, D.C.
- FAO (Food and Agriculture Organization) 2003. The digital soil map of the world: Version 3.6 (January), Rome, Italy.
- Gbetibouo G. and Hassan R. 2005. Measuring the Economic Impact of Climate Change on Major South African Field Crops: A Ricardian Approach. *Global and Planetary Change* 47(2-4): 143-52.
- Giec 2001. Bilan 2001 des changements climatiques : les éléments scientifiques. Rapport du groupe de travail I du GIEC. Contribution du groupe de travail I au troisième rapport d'évaluation du GIEC. 97p (<http://www.ipcc.ch/pub/un/giecgt1.pdf>)
- Giec 2007. Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A. (publié sous la direction de)]. GIEC, Genève, Suisse, 103 pages.
- Insd (Institut de la statistique et de la démographie) 2000. Annuaire statistique du Burkina Faso 1999. Ouagadougou, INSD, décembre 2000, 218p.
- Kurukulasuriya P., Mendelsohn R., Hassan R., Benhin J., Deressa T., Diop M., Eid Helmy M., Fosu K. Y., Gbetibouo G., Jain S., Mahamadou A., Mano R., Kabubo-Mariara J., El-Marsafawy S., Molua E., Ouda S., Ouédraogo M., Sène I., Maddison D., Seo S. N. & Dinar A., 2006. Will African Agriculture Survive Climate Change?, *World Bank Economic Review*, 2006, vol. 20, issue 3, pages 367-388.
- Mahrh (Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques) Direction Générale de la Promotion de l'Economie Rurale, 2009. Recensement Général de l'Agriculture (RGA) : Phase 1 : Enumération des ménages agricoles. Version définitive, DGPSA, Ouagadougou, 80p.
- Mahrha (Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques) 2004. Politique nationale de développement durable de l'agriculture irriguée : stratégie, plan d'action, plan d'investissement à l'horizon 2015, Ouagadougou (Burkina Faso) 2004, 171p.
- Mahrhb (Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques) 2004. Document de stratégie de développement rural à l'horizon 2015, Ouagadougou (Burkina Faso), 143p.
- Mef (Ministère de l'Economie et des Finances) 2010. Situation du commerce extérieur du Burkina Faso en 2009. INSD, Ouagadougou (Burkina Faso), 39 pages, http://www.insd.bf/fr/IMG/pdf/comext2009_insd%5B1%5D.pdf

- Mendelsohn R. and Dinar A. 2003. Climate, Water, and Agriculture. *Land Economics* 79(3):328-41.
- Mendelsohn R. and Dinar A. 1998. The Impact of Climate Change on agriculture and developing countries: case studies of India and Brazil, *March* 3, 1998.
- Mendelsohn R., W. Nordhaus and Shaw D. 1994. "The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis." *American Economic Review* 84(4): 753-71.
- Ouédraogo M. 2008. Impacts des changements climatiques sur les revenus agricoles au Burkina Faso, Communication à l'atelier CTA sur « Implications des changements climatiques sur les systèmes de production agricoles », CTA, Ouagadougou, 26 au 31 octobre 2008.
<http://ctaseminar2008.cta.int/pdf/Tuesday/MathieuOuedraogo.pdf>
- Ouédraogo M., Dembélé Y., Somé L. 2010. Perceptions et stratégies d'adaptation aux changements des précipitations : cas des paysans du Burkina Faso, *Science et Changements planétaires/Sécheresse*. vol. 21, n°2, pp : 87-96, John Libbey Eurotext, 2010.
- Ouédraogo M. Somé L. & Dembele Y. 2006. Economic impact assessment of climate change on agriculture in Burkina Faso: A Ricardian Approach. CEEPA Discussion Paper No. 24, Centre for Environmental Economics and Policy in Africa, University of Pretoria. 40P. <http://www.ceepa.co.za/docs/CDPNo24.pdf>
- Pana 2003. Synthèse des études de vulnérabilité et d'adaptation aux changements climatiques : étude de cas du Burkina Faso. Atelier de formation sur les programmes d'Action Nationaux pour l'Adaptation. Ouagadougou (Burkina Faso).
- Paturel J. E., Servat E., Delattre M. O. 1998. Analyse de séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne dans un contexte de variabilité climatique, *Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques*, 43(6) Decembreer 1998, 937-946.
- Puech C. 1983. Persistance de la sécheresse au Sahel. Conséquences sur les normes hydrologiques et pluviométriques. CIEH, Ouagadougou, Burkina Faso, 1983.
- Reilly J., Hohmann N. and Kane S. 1994. Climate change and agricultural trade: who benefits, who loses? *Global Envir. Change* 4: 24-36.
- Rosenzweig C. and Iglesias A. 1994. Implications of Climate Change for International Agriculture: Crop Modeling Study. US Environmental Protection Agency. EPA 230-B-94-003. Washington DC.
- Rosenzweig C. and Parry M.L. 1994. Potential impacts of climate change on world food supply. *Nature* 367: 133-138.
- Somé L., Dembélé Y. 1996. Péjoration pluviométrique au Burkina Faso : impacts sur les productions agricoles, in *Actes de la 2è Édition du FRSIT*, 9-13 avril 1996, Ouagadougou, CNRST, pp 81-89.

Sp/conageese 2001. Convention cadre des nations unies sur les changements climatiques Communication du Burkina Faso, SP/CONAGESE, Ouagadougou, 126p.

World Bank, 2003. Africa rainfall and temperature evaluation system (ARTES). World Bank, Washington DC.