E2a

Consommation d'Eau et Croissance de la Productivité Agricole en Afrique Subsaharienne

DJOUMESSI FOSSO Yannick*
Doctorant, Dschang School of Economics and Managment, Universite de Dschang
T: (237) 674770704 E: djoumessiyannick@gmail.com

KAMDEM Cyrille Bergaly
Maitre de conférence, Faculté des Sciences Economiques et de Gestion, Université de Yaoundé II-soa
Bp: 1365, Yaoundé-Cameroun, Tel.: (237) 677925736/697279051
E-mail : bergaly@yahoo.fr

''Final Report'' à envoyer au Consortium pour la Recherche Économique en Afrique (CREA)

Decembre 2020

Résumé

À l'avenir, nous faisons face à l'un des plus grands défis du XXIe siècle: répondre aux besoins alimentaires croissants de la population tout en réduisant les dommages causés par l'agriculture sur les ressources naturelles (l'eau et la terre). L'eau est une ressource très complexe, contrairement à une ressource stable dans le temps telle que la terre. Une solide littérature empirique évaluant la productivité agricole a fait abstraction de l'utilisation de l'eau en agriculture. Sachant qu'il constitue un intrant nécessaire et que son utilisation efficace devient une condition pour une agriculture durable. L'objectif principal de ce travail est d'analyser la croissance de la productivité agricole en tenant compte de la dotation en eau en agriculture en ASS. La méthode SFA est utilisée pour estimer la fonction de production agricole intégrant la «dotation en eau» comme input, et la productivité totale des facteurs pour un échantillon de 28 pays sur la période 1991-2014. Le taux de croissance moyen de la TFP avec «dotation en eau» est estimé à 1,14% par an, sur toute la période. Entre 1991-2001, ce taux est estimé à 0.36% et de 0.80% sur la période allant de 2002-2012. Cette amélioration plus importante de cette dernière décennie, viendrait d'une adoption importante des avancées technologiques qui ont par ailleurs permis des économies d'eau (soit de -0.08% à -0.05% en moyenne par an). D'où un intérêt plus accentué doit être mis sur des programmes de gestion des systèmes d'irrigation favorable aux économies d'eau pour une agriculture durable.

Mots clés : productivité agricole, dotation en eau, indice de Malmquist, SFA, ASS

1. Introduction

La productivité agricole est largement reconnue en tant que déterminant essentiel du bien-être rural, en particulier en Afrique du Sud du Sahara. Malgré cette reconnaissance, on en sait peu sur le problème. Block (1994) définit la productivité comme la relation entre les inputs physiques et les outputs physiques, faisant ainsi abstraction des mouvements de prix intrinsèques dans le calcul de la valeur ajoutée agricole. La productivité est généralement définie comme étant l'output par unité d'input, la production totale par hectare, le rendement par culture et la production par travailleur. La valeur de ce concept a été plusieurs fois justifiée dans les études d'analyse de la croissance économique et transformation structurelle. Sans contrainte sur la méthode utilisée pour mesurer la productivité, plusieurs travaux empiriques ont montré que l'accroissement de la productivité agricole est une condition ciné qua none pour la réduction de la pauvreté (Thirtle et al, 2003, Jayne et al, 2017). Mellor (1995, 1996) a formulé un ensemble d'hypothèses pouvant résulter de la croissance de la productivité agricole incluant l'expansion du secteur industriel, qui reste le défis le plus actuel des économies africaines. Cependant, La faible performance du secteur agricole résulte de diverses entraves, en particulier la raréfaction et la mauvaise gestion de l'eau.

À l'avenir, l'Afrique du Sud du Sahara en particulier, fait face à l'un des plus grands défis du XXIe siècle: répondre aux besoins alimentaires croissants de la population tout en réduisant les dommages causés par l'agriculture sur les ressources naturelles (l'eau et la terre). Le continent doit faire face à plusieurs défis dont les plus importants sont la persistance de la pollution, la dégradation de l'environnement et le changement climatique. Le modèle de croissance vert offre une voie permettant de rendre l'agriculture plus résiliente aux effets du changement climatique et de la croissance démographique. La demande globale des ressources naturelles a augmentée de 240% entre 1961 et 2008. La déforestation et les mauvaises pratiques agricoles représentent environ 65% des émissions de carbone de l'Afrique (BAD et WWF, 2012). D'après le GIEC (2007) le continent africain fait partie des régions du monde les plus vulnérables au changement climatique, à l' origine des incertitudes sur la disponibilité des eaux.

Au cours des 20 dernières années, les prélèvements en eau ont considérablement augmenté sur l'ensemble du continent au fur et à mesure de l'expansion des populations et de l'agriculture irriguée. La consommation d'eau douce pour l'agriculture représente plus de 70% de la consommation des réserves d'eau de la planète. En Afrique, les prélèvements pour l'agriculture ont augmenté de plus de 90% en moyenne. Et dans les pays du Sahel en particulier, selon les statistiques de la FAO, les prélèvements sur les ressources en eau à des fins agricoles s'élèvent même jusqu'à 93% de l'eau douce disponible.

Les eaux utilisées à des fins agricoles proviennent principalement, des pluies et des sources d'eau superficielles et souterraines. L'agriculture pluviale, c'est-à-dire non irriguée, dépend entièrement de l'eau de pluie stockée dans le sol. Ce type d'agriculture n'est possible que dans les régions où la répartition des pluies permet au sol de garder suffisamment d'humidité pendant les périodes critiques de la croissance des cultures. Selon les statistiques de la FAO (2013), l'agriculture

pluviale représente environ 60% de la production totale en Afrique Sub-Saharien. Dans ce type d'agriculture, la gestion des terres conditionne considérablement la croissance de la productivité agricole: « une bonne préparation des terres qui amène le ruissellement de surface à s'infiltrer près des racines préserve davantage l'humidité du sol ». Cependant, les voies d'amélioration de la productivité de l'agriculture pluviale sont limitées dans la mesure où les précipitations sont soumises à d'importantes variations saisonnières auxquelles s'ajoute l'épineux problème du changement climatique. Les principaux changements climatiques liés à l'eau comprennent les changements de volume, d'intensité et de variabilité des précipitations. Les changements dans le calendrier et la répartition des précipitations sont associés aux problèmes d'inondations et sécheresses plus fréquentes et plus graves suivant les sous-régions. Les zones où les précipitations devraient augmenter font face à des inondations plus fréquentes et plus graves ainsi qu'à une érosion accrue et à la sédimentation des réservoirs, tandis que les zones où les précipitations diminuent sont confrontées à une diminution de la disponibilité en eau et à une sécheresse accrue (Bates et al, 2008; Arnell, 1999). Bien qu'il existe un degré élevé d'incertitude dans les prévisions de précipitations futures, des augmentations de précipitations sont principalement attendues dans les hautes latitudes et des diminutions sont attendues dans les régions sous-tropicales et sous les latitudes inférieures. Egalement, les préoccupations environnementales causées par l'irrigation soulèvent de graves questions et posent des problèmes difficiles dans de nombreuses régions du monde en ce qui concerne la durabilité de l'irrigation.

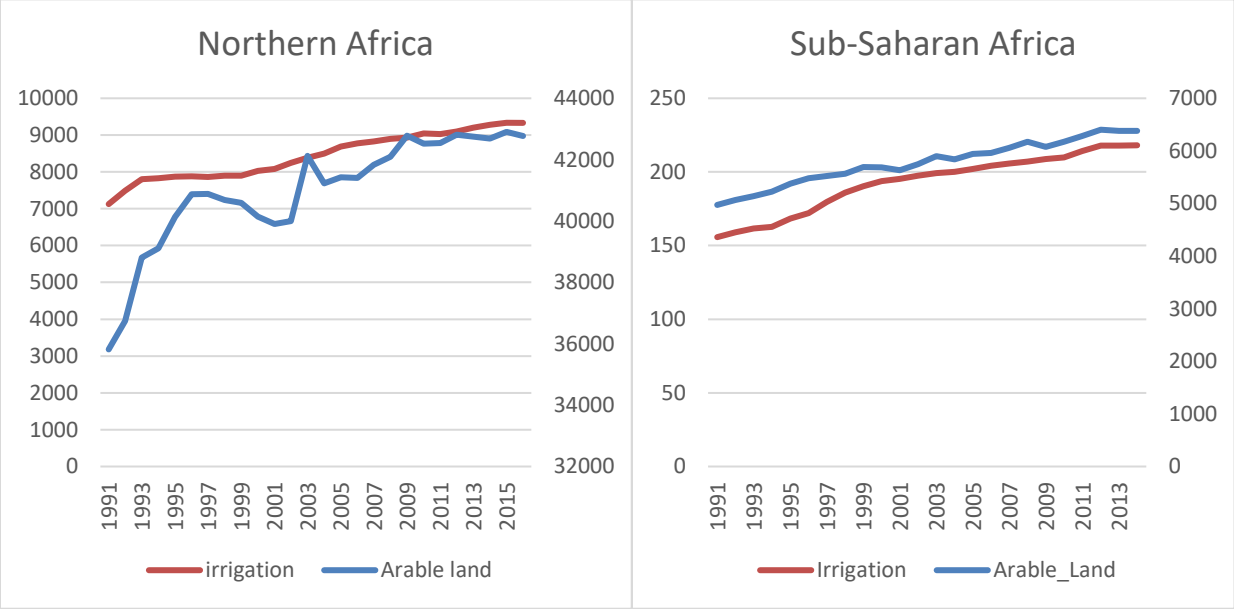
En agriculture irriguée (non pluviale), l'eau utilisée par les cultures est partiellement ou totalement fournie par l'homme. En effet pendant les saisons des pluies, plusieurs méthodes sont utilisées par les hommes pour stocker les eaux de ruissellement dans le sol ou dans des lacs ou barrages de retenue pour pouvoir les utiliser pendant les périodes sèches. En générale, l'eau d'irrigation est prélevée sur un point d'eau (rivière, lac ou nappe aquifère) et conduite jusqu'au champ grâce à une infrastructure de transport appropriée. Pour satisfaire leurs besoins en eau, les cultures irriguées bénéficient à la fois de l'apport d'eaux de pluie naturelles plus ou moins fiables et de celui d'eaux d'irrigation. L'irrigation constitue un outil de gestion efficace contre les aléas des précipitations. Selon Fox et Rockström (2003) et Pathak et al (2009), le recours à l'irrigation de complément pourrait devenir une intéressante solution pour réduire le déficit hydrique des cultures pluviales dans les zones semi-arides.

L'Afrique subsaharienne détient à elle seule 99% (soit 3884 km^3) de ressource renouvelable en eau du continent, toutefois avec un taux d'utilisation efficient faible (de 30%) comparé à l'Afrique du Nord (de 69%) qui ne détient que 1%. Uniquement 3% de cette eau sont consacrés à l'irrigation, a l'inverse de l'Afrique du Nord qui en consacre 170% (FAO, 2011). Historiquement, l'accroissement des terres agricoles irriguées s'est fait pratiquement au même rythme que l'accroissement des terres arables en ASS (Figure 1). Par contre en Afrique du Nord l'évolution des terres agricoles irriguées s'est faite plus rapidement, synonyme d'un besoin en eau plus important. Le fait que l'accroissement des terres agricoles irriguées se fait pratiquement au même rythme que les terres arables démontre l'importance du facteur ''eau'' dans le système de

production agricole. Les proportions importantes des terres agricoles irriguées démontrent la nécessité d'améliorer l'utilisation efficace de l'eau dans l'agriculture irriguée. Rhoades (1997) est arrivé à la conclusion selon laquelle l'augmentation de la production alimentaire nécessaire dans les pays en développement devait provenir essentiellement de terres irriguées.

En fait, l'eau est une ressource très complexe, contrairement à une ressource stable dans le temps comme la terre. L'eau se produit dans un cycle très dynamique de pluie, de ruissellement et d'évaporation, avec d'énormes variations temporelles et spatiales ainsi que des variations de qualité qui régissent totalement les systèmes de production agricole africains. Bien que cela puisse être une nuisance (en cas d'inondation) pour certaines cultures, l'utilisation efficace de l'eau reste un défi pour une agriculture durable en Afrique. Une grande revue empirique évaluant la croissance de la productivité agricole (Timmer, 1997; Irz et al, 2001; Nin-Pratt et Yu, 2009; Devkota et Upadhyay, 2013; Djoumessi, 2020) a fait le abstraction de l'utilisation de l'eau dans l'agriculture. Très peu (Wallace, 2000; Howell, 2001; Zwart et Bastiaanssen, 2004; Fereres et Soriano, 2006) ont tenté d'analyser le rôle de l'utilisation de l'eau dans l'agriculture. A notre connaissance, aucune étude ne tente d'analyser la croissance de la productivité agricole qui inclut l'utilisation de l'eau comme intrant, ce qui constitue l'objectif principal de ce travail.

Figure 1: Evolution des terres agricoles irriguées et terres arables



Source: FAO data (2019)

.

2. Revue de la littérature

La productivité est un indicateur important de l'amélioration économique d'un pays (ou région). La littérature distingue deux mesures principales de croissance de la productivité : les mesures de

la productivité partielle de facteurs et les mesures de la productivité totale de facteurs. Plusieurs travaux illustrant une variété d'approches ont significativement souligné l'importance de la productivité agricole come facteur essentiel de réduction de la pauvreté. Datt et Ravallion (1998) ont trouvé le rendement par unité de terre statistiquement significatif comme cause déterminante de la baisse de la pauvreté en Inde. Timmer (1997), Devkota et Upadhyay (2013) ont utilisé la productivité du travail comme mesure, que Mellor (1999) convient comme une meilleure mesure de la productivité. Irz et al. (2001) trouvent que la contribution plus directe de la croissance du secteur agricole génère de plus haut revenu aux agriculteurs. Gallup et al (1997) trouvent qu'un accroissement du PIB agricole de 1% conduit à un accroissement des revenus de 1,61% du quintile le plus pauvre. Nin-Pratt et Yu (2009) analysent l'évolution de la productivité totale de facteurs (TFP) agricole en ASS au cours des 40 dernières années. Ils en dégagent un rétablissement remarquable dans la performance agricole d'ASS entre 1984 et 2003 après une longue période de moindre performance et de déclin. D'après les auteurs ce rétablissement était la conséquence de l'amélioration de l'efficacité de la production résultant des changements dans la structure de l'output et des ajustements dans l'utilisation des inputs.

En effet un nombre important de travaux s'est intéressé à analyser la productivité agricole, mais très peu y ont concilié les objectifs environnementaux avec un accent particulier sur l'utilisation de l'eau. McArthur et McCord (2017), estiment le rôle des intrants agronomiques sur l'accroissement du rendement des céréales. Ils trouvent l'engrais, les semences améliorées et l'eau comme principaux facteurs d'accroissement des rendements. Leur analyse empirique du lien entre les rendements agricoles et la croissance, montre qu'un accroissement de moitié des rendements génère une augmentation de 14 à 19% du PIB par tête. Fereres et Soriano (2006) parviennent à la conclusion qu'en réduisant la consommation d'eau d'irrigation, elle aide à faire face aux situations où l'approvisionnement en eau est restreint. Selon Howell (2001), les terres agricoles irriguées peuvent nuire à l'environnement et mettre en péril la durabilité, sans pratiques spécifiques de gestion de l'eau.

Sinclair et al. (1984) ont décrit l'efficacité d'utilisation de l'eau (WUE) à différentes échelles, de la feuille à la terre. En termes simples, il s'agit du rendement des récoltes par unité d'utilisation d'eau. Brown (1999) a proposé une référence pour exprimer la productivité de l'eau comme étant la quantité d'eau nécessaire pour produire une unité de rendement de la culture, qui est simplement le taux de transpiration de long terme, ou l'inverse de WUE. Cependant ces initiatives sont attrayantes mais difficiles à mettre en pratique car de nombreux facteurs de gestion peuvent affecter le rendement ou varier considérablement entre l'agriculture irriguée et les terres arides (Howell, 2001).

À l'échelle mondiale, dans l'agriculture irriguée et pluviale, seulement 10 à 30% environ de l'eau disponible (pluie, eau de surface ou souterraine) est utilisée par les plantes dans le processus de transpiration. Dans les zones arides et semi-arides, où l'eau est rare et la croissance démographique est élevée, ce chiffre est proche de 5% dans les cultures pluviales. Wallace (2000) examine

l'efficacité de l'utilisation de l'eau en agriculture. Il conclut qu'il existe de nombreuses possibilités d'améliorer l'utilisation de l'eau dans l'agriculture.

Zwart et Bastiaanssen (2004) évaluent une mesure moyenne de la valeur de la productivité des cultures pluviales à partir d'une revue de 85 sources documentaires. L'analyse montre qu'il existe encore d'énormes possibilités de maintenir ou d'augmenter la production agricole avec 20 à 40% de ressources en eau en moins. La variabilité de la productivité de l'eau des cultures est attribuée: (i) au climat; (ii) la gestion de l'eau d'irrigation et (iii) la gestion des sols (nutriments). Ils concluent que la productivité de l'eau des cultures peut être considérablement augmentée si l'irrigation est réduite et que le déficit en eau des cultures est induit de manière intentionnelle.

La Chine et l'Inde, les deux plus grands producteurs et consommateurs mondiaux de nombreux produits agricoles, sont déjà confrontés à de graves limitations en eau dans la production agricole, mais tous deux ont lancé des programmes pour stimuler la production de biocarburants. De Fraiture et al (2007) explore les implications sur la terre et l'eau d'une augmentation de la production de biocarburants à l'échelle mondiale et en se concentrant particulièrement sur ces deux pays importants, en utilisant le modèle WATERSIM. Ils concluent que la pression sur les ressources en eau serait telle en Chine et en Inde qu'il est peu probable que les décideurs politiques envisagent des options de biocarburants, du moins celles basées sur les grandes cultures traditionnelles.

En résumé, ces travaux aboutissent à la conclusion qu'il faut: (i) soit réduire les espaces agricoles irrigués, (ii) soit limiter la culture de plantes très exigeantes en eau. Cependant, aucun travail n'a considéré la dotation en eau comme un facteur d'intrant qui devrait être pris en compte pour estimer la croissance de la productivité totale des facteurs dans l'agriculture. Dans ce contexte, cette étude fournira sans aucun doute une meilleure mesure des niveaux de productivité agricole et en même temps, une implication pour une utilisation efficace du facteur eau en agriculture.

3. Méthodologie

Il est naturel en économie de s'interroger sur l'évolution de la productivité au cours du temps. Ainsi, une unité de décision (secteur /pays) pourra déterminer si sa performance s'est améliorée ou non entre deux périodes. L'origine des mesures de la productivité totale des facteurs (TFP) est attribuée au papier séminal de Solow (1957), qui a démontré que la croissance de l'output était la conséquence de la croissance de la productivité des facteurs travail et capital avec le résidu qui pouvait être considéré comme une mesure du changement technologique ou technique. Caves et al. (1982) ont montré que la croissance de la TFP pouvait être mesurée à partir de la formule des indices de Tornqvist. Sous certaines conditions notamment lorsque la technologie de production de type Cobb-Douglas est appropriée, l'indice de Tornqvist se rapproche de la mesure usuelle du résidus de Solow (Headey et al., 2010). Nous retenons l'indice de productivité de Malmquist, que nous modélisons à partir d'une approche paramétrique (4.1); ensuite le modèle ACP est utilisé pour construire notre indicateur du capital naturel (dotation en eau en agriculture) (4.2); et enfin nous présentons les données utilisées pour effectuer les évidences empiriques (4.2).

4.1 Modèle Econométrique

Deux approches sont couramment utilisées pour mesurer la croissance de la productivité, l'approche par enveloppement des données DEA (*data envelopment analyzis*) et l'analyse par frontière stochastique SFA (*stochastic frontier analyzis*). Toutefois l'approche DEA reste la plus utilisée, principalement due à des facilités de calcul et simplicités informatiques qu'elle offre. La clé de l'analyse par frontière stochastique (SFA) réside sur le faite qu'elle permet de séparer le bruit statistique[1] des effets de l'inefficacité. Contrairement à l'approche DEA qui attribue tout écart par rapport à la frontière à l'inefficacité. De même que Coelli et al. (2004), Headay et al. (2010) ont comparé la volatilité des méthodes DEA et SFA d'évaluation de la croissance de la TFP en agriculture pour 88 pays sur la période 1970-2001. Ils trouvent les résultats avec la SFA plus plausibles qu'avec l'analyse généralement utilisée DEA. En somme, nous appliquons la méthode SFA dans ce chapitre pour estimer la croissance de la TFP intégrant le capital naturel.

De prime abord, considérons une fonction de type Cobb-Douglas dans laquelle l'output agricole y_{jt} est obtenu à partir du capital k_{jt} et travail en agriculture l_{jt} pour chaque pays j sur la période t. Pour introduire notre ''capital naturel'' dans la mesure de la productivité totale des facteurs. Considérons H_t la dotation en eau en agriculture de la période t, notre fonction de production peut s'écrire comme suite:

$$y_{jt} = e^{\pi+\alpha_0 t} k_{jt}^{\alpha_1} l_{jt}^{\alpha_2} h_{jt}^{\alpha_3} \qquad (1)$$

Où $\sum_{i=1}^{3} \alpha_i = 1$, cette spécification permet de considérer la dotation en eau pour l'agriculture comme une variable input, dans le cas spécifique des fonctions de type Cobb-Douglas. En introduisant le logarithme sur (1) :

$$\ln y_{jt} = \pi + \alpha_0 t + \alpha_1 \ln k_{jt} + \alpha_2 \ln l_{jt} + \alpha_3 \ln h_{jt} \qquad (2)$$

De plus, on a:

$$\frac{\partial y}{\partial h} = \alpha_3 \frac{e^{\pi+\alpha_0 t} k_{jt}^{\alpha_1} l_{jt}^{\alpha_2} h_{jt}^{\alpha_3}}{h_{jt}} = \alpha_3 \frac{y_{jt}}{h_{jt}}$$

$$\alpha_3 = \frac{\partial y}{\partial h} \frac{h_{jt}}{y_{jt}}$$

En suivant le même raisonnement pour α_1 et α_2, et en estimant notre équation (2) en taux croissance[2] nous avons:

[1] Notamment les erreurs de mesure des données ou l'omission des variables.

[2] Dans une économie où règne la concurrence pure et parfait, les facteurs de production sont rémunères au niveau de leur productivité marginale. Mais, cette pratique a pour effet, selon Ten Raa et Mohnen (2002), de faire apparaître

$$\frac{\dot{y_{jt}}}{y_{jt}} = \pi + \gamma_t + \left(\frac{\partial y}{\partial k}\frac{k_{jt}}{y_{jt}}\right)\frac{\dot{k_{jt}}}{k_{jt}} + \left(\frac{\partial y}{\partial l}\frac{l_{jt}}{y_{jt}}\right)\frac{\dot{l_{jt}}}{l_{jt}} + \left(\frac{\partial y}{\partial h}\frac{h_{jt}}{y_{jt}}\right)\frac{\dot{h_{jt}}}{h_{jt}} \qquad (3)$$

$\frac{\partial y}{\partial h}\frac{h_{jt}}{y_{jt}}$ est le gain apporté par le taux de croissance de la dotation en eau en agriculture. $\pi + \gamma_t$ est le taux de croissance du progrès technique (γ_t étant un bruit blanc de moyenne nulle et de variance constante) et s'obtient comme suit:

$$\pi + \gamma_t = \frac{\dot{y_{jt}}}{y_{jt}} - \left[\left(\frac{\partial y}{\partial k}\frac{k_{jt}}{y_{jt}}\right)\frac{\dot{k_{jt}}}{k_{jt}} + \left(\frac{\partial y}{\partial l}\frac{l_{jt}}{y_{jt}}\right)\frac{\dot{l_{jt}}}{l_{jt}} + \left(\frac{\partial y}{\partial h}\frac{h_{jt}}{y_{jt}}\right)\frac{\dot{h_{jt}}}{h_{jt}}\right] \qquad (4)$$

Cette différence est très connu sous le nom de résidu de Solow. Ce résidu mesure des gains de production obtenus indépendamment de ceux obtenus par une plus grande utilisation des facteurs de production. Chambers (1988) explique qu'il s'agit dans les faits de la mesure de l'ignorance des facteurs exacts qui expliquent la croissance de la production. Ainsi, plusieurs auteurs viennent définir ce résidu de « productivité multifactorielle » de production ou encore « productivité totale des facteurs » (TFP).

Alors on a l'expression suivante:

$$tfp_{jt} = \frac{\dot{y_{jt}}}{y_{jt}} - \left[\alpha_1\frac{\dot{k_{jt}}}{k_{jt}} + \alpha_2\frac{\dot{l_{jt}}}{l_{jt}} + \alpha_3\frac{\dot{h_{jt}}}{h_{jt}}\right] \qquad (5)$$

Cependant l'hypothèse d'une élasticité de substitution unitaire entre les facteurs propre aux fonctions de type Cobb-Douglas limite significativement la portée de ces résultats. Il est possible de s'affranchir de ces hypothèses structurelles particulières et de représenter la combinaison productive en recourant à une fonction de production de type « flexible » permettant d'approximer toutes les technologies possibles. Celles-ci peuvent être considérées comme des approximations de second ordre, deux fois différentiables, de n'importe quelle technologie (Fuss et al, 1978; Chambers, 1988). Le concept de forme flexible linéaire et la mise en évidence de leur propriété d'approximation de second ordre ont été définis par Diewert (1971). La forme flexible la plus couramment utilisée, et que nous retiendrons par la suite, est la forme Translog définie comme suit:

$$\text{Ln}\, y_{jt} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln k_{jt} + \alpha_2 \ln l_{jt} + \alpha_3 \ln h_{jt} + \beta_1 \ln k_{jt} \ln l_{jt} + \beta_2 \ln k_{jt} \ln h_{jt} + \beta_3 \ln l_{jt} \ln h_{jt} + \beta_4 \ln k_{jt} \ln k_{jt} + \beta_5 \ln l_{jt} \ln l_{jt} + \beta_6 \ln h_{jt} \ln h_{jt} \qquad (6)$$

De façon générale, nous avons:

dans le résidu de Solow un élément supplémentaire qu'est la déviation de l'économie de cette situation d'équilibre. Une solution à ce problème serait d'estimer l'équation en taux de croissance (DiMaria et Ciccone, 2006).

$$\text{Ln}\, y_{jt} = \alpha_0 + \sum \alpha_k \ln x_{ikt} + \sum\sum \alpha_{kh} \ln x_{ikt} \ln x_{iht} \qquad (7)$$

Où $X_t = (K_{t,} L_t, H_t)$, représente le vecteur d'inputs de la période t intégrant la dotation en eau pour l'agriculture. Toute technologie explicitement représentée par une fonction de production, requière par la suite une analyse économétrique pour mesurer la croissance de la productivité totale des facteurs. Toutefois, si cette approche permet de mesurer la productivité totale des facteurs, elle ne permet pas de faire la distinction entre la croissance de la productivité due au changement technologique pur et au changement en efficience (technique et même d'échelle). Selon Boussemart et Ali (2003), la non prisse en compte de l'efficacité dans l'utilisation des facteurs de production peut conduire à une mesure erronée de la croissance de la productivité. Une solution à ce problème se trouve dans la définition d'un cadre d'application des fonctions de distance, introduites a l'origine par Shephard (1953).

La fonction de distance est la principale notion sur laquelle des indices quantitatifs, des indices de productivité et des mesures de l'efficacité des unités de production sont établis. L'utilisation de l'indice de Malmquist[3] comme mesure de la productivité totale est devenu sans aucun doute l'une des mesures les plus répandues après les travaux pionniers de Fare et al (1989). Une fonction de distance est définie pour une technologie de production particulière et elle va permettre de mesurer à quel point le comportement d'un producteur s'écarte d'une situation de production optimale. Soit une technologie de production définie à partir de l'ensemble d'outputs, P(x), qui représente l'ensemble de tous les vecteurs d'outputs, y, qui sont obtenus en utilisant les vecteurs d'inputs, X, c'est-à-dire: P(x)= { $X \in R_+$: x peut produire y}, $y \in R_+$. S'il sagit d'une fonction de type translog avec 3 facteurs de production $X_t = (K_{t,} L_t, H_t)$ et un seul produit q, on a l'expression suivante:

$$P(x) = \{(K_{t,} L_t, H_t) \in R_+^3 : \alpha_0 + \alpha_1 \ln k_{jt} + \alpha_2 \ln l_{jt} + \alpha_3 \ln h_{jt} + \beta_1 \ln k_{jt} \ln l_{jt} + \beta_2 \ln k_{jt} \ln h_{jt} + \beta_3 \ln l_{jt} \ln h_{jt} + \beta_4 \ln k_{jt} \ln k_{jt} + \beta_5 \ln l_{jt} \ln l_{jt} + \beta_6 \ln h_{jt} \ln h_{jt} \geq \ln q_{jt}\}, q \in R_+. \qquad (8)$$

Alors, P(x) est l'ensemble des combinaisons de facteurs de production qui permettent de produire au moins la quantité q (q est une quantité fixée) pour une période de temps donné. La fonction distance est définie sur l'ensemble d'outputs, P(x), comme: $D_0(x, q)=\min \{ʒ : (q/ʒ) \in P(x)\}$. La fonction distance $D_0(X, q) \leq 1$ si et seulement si $q \in P(x)$, et $D_0(X, q) = 1$ si le vecteur d'outputs q est situé sur la frontière des possibilités de production. Ainsi, nous pouvons définir notre fonction distance de type translog comme suit:

[3] l'indice de productivité de Malmquist, inspirés des travaux du mathématicien Sten Malmquist (1953), permet d'identifier la part du changement de productivité imputable au changement technique sans toutefois avoir besoin d'information sur les prix qui constituent des données très souvent manquantes et discutables quand elles existent.

$$\ln D_0(q_{it}, x_{it}, t) = f(\alpha, X_{it}, t) + v_{it} - \ln q_{it}$$

$$= \alpha_0 + \sum_{k=1}^{n} \alpha_k \ln x_{ikt} + \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{n}\sum_{h=1}^{n} \alpha_{kh} \ln x_{ikt} \ln x_{iht} + \sum_{k=1}^{n} \alpha_{kt} t \ln x_{ikt} + \alpha_t t$$

$$+ \frac{1}{2}\alpha_{tt} t^2 - \ln q_{it} + v_{it} \qquad (9)$$

Où α est un vecteur de paramètre, le terme d'erreur aléatoire $v_{it} \sim iid\ N(0, \sigma_i^2)$.

Le modèle stochastique :

$$\ln q_{it} = f(\alpha, x_{it}, t) + v_{it} - u_{it} \qquad (10)$$

Où u_{it} est une variable aléatoire non-négative obtenue à partir d'une distribution normale tronquée (Battese et Coelli, 1992). Elle permet de capter les effets de l'inefficacité technique. D'où la mesure de l'efficacité technique est égale au ratio de l'output observé sur la frontière stochastique d'output correspondant, nous avons :

$$TE = \frac{\exp\left(f(\alpha, X_{it}, t) + v_{it} - u_{it}\right)}{\exp\left(f(\alpha, X_{it}, t) + v_{it}\right)}$$

$$TE = \exp(-u_{it}) \qquad (11)$$

Ensuite nous estimons le changement d'efficacité technique (ΔTE) entre deux périodes à partir de l'efficacité technique TE.

Le changement technique, suivant (9):

$$\Delta T = \alpha_t + \alpha_{tt} t + \sum_{k=1}^{n} \alpha_{kt} \ln x_{ikt} \qquad (12)$$

4.2 Analyse en composantes principales (ACP)

Cette étude utilise l'ACP, à l'origine des travaux de Pearson (1901) et Hotelling (1933), afin de construire un indice d'eau. Des développements plus avancés de la méthode ACP sont faits par Mardia et al. (1979) et Rencher et Christensen (2012). L'analyse en composantes principales (ACP) est généralement considérée comme une technique statistique utilisée pour réduire un ensemble de variables hautement corrélées en un ensemble plus petit de variables non corrélées, appelées composantes principales (CP).

Les résultats de l'ACP montrent deux panels (tableau 1): le premier panel répertorie les valeurs propres de la matrice de corrélation, du plus grand au plus petit; et le deuxième panel énumère les vecteurs propres correspondants. Les valeurs propres sont les variances des composantes principales. La première composante principale a une variance de 2,59, ce qui explique 86,3% de

la variance totale. La deuxième composante principale a une variance de 0,409, ce qui explique 13,6% de la variance totale. Le critère de rétention des facteurs communs est celui de Kaiser (1974) et de Jolliffe (2002). Nous avons recommandé de conserver une composante principale avec une valeur propre supérieure à un.

Table 1: Analyse par composante principale pour l'indice d'eau

Principal components/correlation				
Component	Eigenvalue	Difference	Proportion	Cumulative
Comp1	2.59068	2.18155	0.8636	0.8636
Comp2	0.409122	0.40892	0.1364	0.9999
Comp3	0.00020161	.	0.0001	1
Principal components (eigenvectors)				
Variable	Comp1	Comp2	Comp3	Unexplained
precipitation	0.5205	0.8538	0.0135	0
sup_water	0.6048	-0.3574	-0.7117	0
re_water	0.6028	-0.3786	0.7024	0

4.3 Données et Variables

Notre échantillon sera constitué de 28 pays de l'Afrique Subsaharienne pour une période de 1991-2014, répartis sur 4 régions : l'Afrique de l'Ouest, Centre, Est et Australe (**tableau 2**). Dans cette étude l'output (indice de production agricole) et les inputs (travail, terre cultivée, machinerie agricole et tracteurs, engrais, ***dotation en eau***) utilisés pour estimer la fonction de production et la productivité totale des facteurs, sont tirés de la base de données statistiques de la FAO et la World Bank. La construction de la variable **dotation en eau pour l'agriculture** se fait à partir d'un croisement entre *l'indice d'eau disponible* et les *terres agricoles irriguées*. L'indice d'eau disponible est calculé en utilisant la méthode d'Analyse par Correspondance Principale (ACP) à partir de trois variables: hauteur moyenne de précipitation annuelle, eaux superficielles et ressources en eau renouvelables.

Les données sur les variables utilisées dans notre analyse ont été collectées de la manière suivante : ***Indice de production agricole*** = L'indice de production des cultures montre la production agricole pour chaque année par rapport à la période de base de 2004 à 2006. Cet indice porte sur l'ensemble des cultures à l'exception des cultures fourragères. Les regroupements par région et par revenu des indices de production de la FAO sont calculés à partir des valeurs sous-jacentes en dollars internationales et normalisés par rapport à la période de référence de 2004 à 2006. ***Travail*** = correspond à la population active engagée dans les activités agricoles pour chaque année et chaque pays. ***Terre*** = Les terres agricoles désignent la part du territoire qui est arable et qui est cultivée ou

en pâturage de manière permanente. Les terres arables comprennent les terres définies par la FAO comme étant des cultures temporaires (les terres à deux cultures ne sont comptées qu'une fois), les prés temporaires pour le fauchage ou pour le pâturage, les terres foncières ou les potagers, et les terres temporairement en jachère. Les terres abandonnées en raison d'une culture itinérante sont exclues de ce calcul. ***Machinerie agricole et tracteurs*** = La machinerie agricole fait référence au nombre de tracteurs à chenille et à pneus (excluant les tracteurs de jardin) utilisés pour l'agriculture à la fin de l'année donnée ou au cours du premier trimestre de l'année suivante. ***Engrais*** = La consommation d'engrais (100 grammes par hectare de terre arable) mesure la quantité d'éléments nutritifs utilisés par unité de terre arable. Les engrais comprennent les engrais azotés, à la potasse et au phosphate (notamment les engrais au phosphate de chaux naturel). ***Irrigation*** = la superficie totale des terres agricoles réellement irriguées. ***Précipitations*** = hauteur moyenne de précipitation annuelle à l'intérieur du pays. ***Eaux superficielles*** = volume totale des eaux de surfaces a l'intérieur du pays. ***Eaux renouvelables*** = volume totale des ressources en eau renouvelable a l'intérieur du pays.

Le tableau 3 fournit une description des variables qui seront utilisées pour estimer la croissance de la productivité totale des facteurs (TFP) intégrant la dotation en eau pour l'agriculture.

Tableau 2 : Statistiques de l'échantillon de l'analyse

Region	Afrique de l'Ouest	Afrique Central	Afrique de l'Est	Afrique Austral	Total
Nombre de pays	10	4	6	8	28
Périodes	24	24	24	24	/

Source: Base de donnés World Bank, FAO.

Tableau 3 : Descriptif des variables à utiliser dans l'analyse

type de Variable	libellé	unité
Outputs		
	Indice de la production Agricole	converti en $ USD
Inputs		
	Travail	nbre de personnes
	Terre	hectare (ha)
	Machines et tracteurs	nbre
	Engrais	100g/ha

Irrigation	Hectare (ha)
Precipitations	mm/an
Eaux superficielles	m^3/an
Eaux renouvelables	m^3/an

4 Utilisation des ressources en eau et productivité agricole: mise en évidence empirique

4.1 Estimation de la fonction de production stochastique avec dotation en eau

Le modèle de production agricole a été estimé à partir d'une fonction de production stochastique de type translog avec *« true fixed effects »* et une distribution de l'erreur *''truncated-normal''* (modèle 1) et *''half-normal''* (modèle 2) qui capte l'inefficacité. Ce modèle a été développé par Greene (2005), la distribution qui fait défaut est de type *''exponential''* (tableau 4).

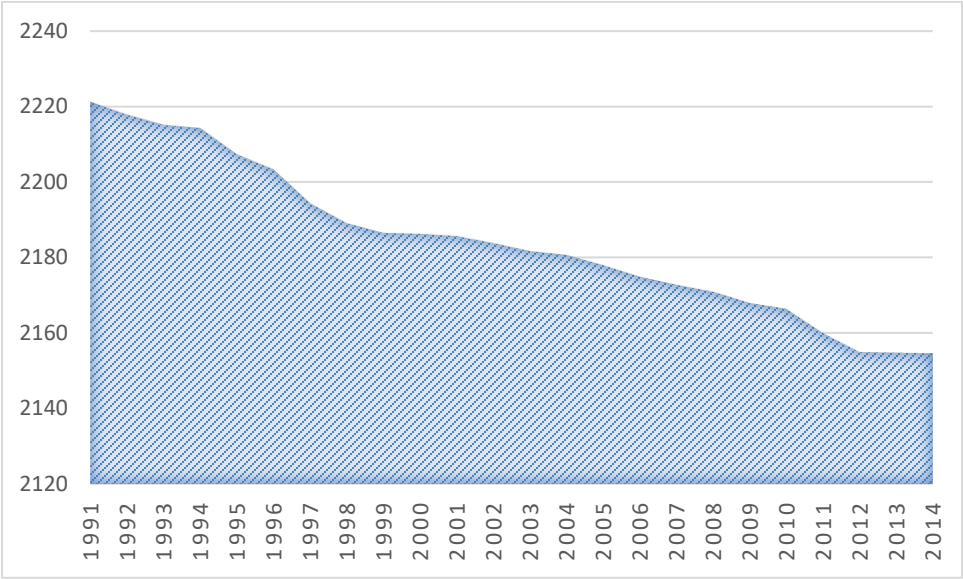
On peut se rendre compte que les résultats affichés par les deux modèles sont quasiment semblables. La main d'œuvre agricole affiche une influence positive et significative (1%) sur la production agricole, de même que les terres cultivées et l'application d'engrais avec une significativité à 5%. Dans ce premier cas de figure, notre input d'intérêt, d'une extrême importance en agriculture mais très peu souvent pris (ou pas) en compte dans l'estimation de la fonction de production agricole affiche une influence positive et significative (10%). Cependant le coefficient de ce dernier paramètre reste très large malgré la transformation en logarithme. Les valeurs estimées des paramètres de la variable machines agricoles ne sont pas significatives dans les deux modèles. Le fait que l'activité agricole soit en grande partie pratiquée par les petits exploitants en ASS peut justifier ce résultat. Dans le souci de fonder nos interprétations sur des résultats robustes, tout biais d'endogénéité éventuel est corrigé dans la sous-section suivante.

- **Correction de l'hétéroscédasticité**

Kumbhakar et Lovell (2000) avaient déjà souligné le caractère biaisé des résultats du modèle SFA, lorsqu'il y'a présence de l'hétérogénéité incontrôlée sur u_i et v_i. Pour corriger nous utilisons une extension de l'estimation du modèle SFA proposé par Belotti et al. (2013), les résultats sont présentés sur le tableau 5.

Cette extension de Belotti et al (2013), permet d'avoir quatre fois moins (ou pas) d'itération. Les valeurs estimées des paramètres des deux modèles (suivant la distribution « truncated normal» ou « half-normal ») sont pratiquement identiques. Les résultats montrent que les valeurs estimées de l'élasticité de la production par rapport aux facteurs travail, engrais et ressources en eau destinées à l'agriculture sont plausibles et significatives, respectivement à 1%, 5% et 10%. Toutefois la valeur estimée de l'élasticité de la production agricole par rapport à la terre est plausible mais n'est plus significatif. Ce résultat remet en cause la productivité du facteur terre dans le secteur agricole africain. En d'autres termes, la gestion des espaces cultivés reste une préoccupation importante pour les petits exploitants agricoles. Par contre, comme on peut l'observer sur la figure 2, les ressources en eaux destinées à l'agriculture ne cessent de décloîtrent. Mais son impact reste positif et significatif sur l'accroissement de la production agricole.

Figure 2 : Evolution de la dotation en eau destinée à l'agriculture en ASS (1991-2014)



Source: construction des auteurs à partir des résultats obtenus

Toutefois, la baisse des ressources en eau sur le continent doit être vue comme un signal d'alerte. Et interpeler tous les acteurs à une meilleure gestion de cette ressource. Le taux moyen de baisse des ressources en eau destinées à l'agriculture est estimé à -0.07% par an, sur toute la période d'étude. En considérant uniquement cette dernière décennie, il est estimé à -0.05% en moyenne par an. Soit une nette amélioration dans la gestion des ressource en eau depuis les années 2000, mais qui reste cependant insuffisante.

4.2 Croissance de la productivité totale des facteurs avec sa décomposition et comparaison

Le tableau 6 présente les résultats moyens de la TFP et ses composantes pour chaque année sur l'échantillon considéré.

On peut observer que la TFP avec «dotation en eau» est en grande partie due au changement technique (TC) suivi par le changement d'efficacité technique (Teff). Mais le changement d'efficacité d'échelle a été en majeur partie du temps un frein à l'accroissement de la TFP pour la plupart des pays, avec un indice de productivité négatif pratiquement sur l'ensemble de la période.

En effet on peut clairement observer que, la productivité du secteur agricole africain repose bien sur une utilisation efficace des facteurs de production, avec le niveau important qu'affiche le changement d'efficacité technique. Cependant en prenant en compte la gestion des ressources en eau en agriculture, on se rend compte que le changement technologique aurait principalement contribué à l'accroissement de la productivité agricole sur toute la période d'étude. Notamment à travers des systèmes d'irrigation améliorés, qui permettent de faire des économies d'eau tout en assurant le lissage des quantités produites durant l'année. Et enfin, le niveau très faible du changement d'échelle, synonyme d'une mauvaise couverture d'exploitation des terres agricoles, qui est resté relativement constant sur la période d'étude. Une comparaison effectuée entre les composantes de la TFP avec «dotation en eau» affiche clairement le changement technique comme majeur contribuable tout au long de la période d'étude. Par contre le changement d'efficacité technique évolue très peu et reste quasiment constant. En ce qui concerne le changement d'efficacité d'échelle, elle affiche une contribution moindre, la plupart du temps inexistante et très souvent négative.

De façon plus spécifique, le taux de croissance moyen de la TFP avec «dotation en eau» de notre échantillon entre 1991-2001 est inférieur à l'unité soit 0,36% par an, ce résultat reste proche des taux moyens habituels de croissance de la TFP trouvés par Coelli et Rao (2003) et Nin-pratt et Yu (2012). En considérant uniquement la décennie récente entre 2002-2012, le taux de croissance annuel moyen de la productivité agricole avec «dotation en eau» est estimé 0.80% pour les pays de notre échantillon. Une amélioration nette comparée au taux moyen de croissance de la décennie précédente, mais néanmoins ce taux reste toujours inferieur à l'unité. Contrairement au taux de croissance annuel moyen de la TFP sans prendre en compte la dotation en eau en agriculture, qui

aurait été supérieur à l'unité suivant Headey et al (2010) et Alene (2010). Ce dernier résultat démontre une surestimation du taux de croissance de la productivité agricole lorsque l'input «dotation en eau» n'est pas pris en compte dans la fonction de production.

Tableau 6 : Distribution des indices de TFP avec dotation en eau et ses composantes par année

Annee	TC	scale	Teff	TFP
1992	1.000463	-0.072877	0.999989	1.927575
1993	1.000599	0.094259	1.000007	2.094865
1994	1.001141	-0.050499	0.999999	1.950641
1995	0.999273	-0.002397	0.999997	1.996872
1996	0.999931	0.257337	1.000006	2.257273
1997	0.99759	0.199875	0.999997	2.197462
1998	1.001329	-0.075121	1.000004	1.926212
1999	1.000501	0.005213	1.000005	2.005718
2000	1.001165	0.285038	0.999998	2.286199
2001	1.001074	0.684711	1.000002	2.685787
2002	1.000782	0.078118	0.999993	2.078892
2003	1.000798	0.246727	0.999999	2.247522
2004	1.000945	0.256005	1.000000	2.256951
2005	1.000864	0.361019	0.999997	2.36188
2006	1.000806	0.081553	1.000004	2.082362
2007	1.00082	0.149261	0.999992	2.150073
2008	1.000849	-0.155756	1.000008	1.845102
2009	1.000809	0.06435	0.999999	2.065157
2010	1.000836	0.439465	1.000006	2.440306
2011	0.996441	-0.027758	0.999996	1.968679
2012	0.989495	-0.01867	1.000002	1.970827

TFP: productivité totale des facteurs, TC: Changement Technique, Teff: Changement d'efficacité technique, Scale: Changement d'efficacité d'échelle.

D'autre part, le fait que le taux de croissance moyen de cette dernière décennie (0.80%) soit supérieur à celle qui la précède (0.36%), peut également s'expliquer par une meilleure gestion des ressources en eau. Avec un taux moyen de réduction de la capacité en eau qui est passé de -0.08% par an (entre 199 et 2001) à -0.05% par an (entre 2002 et 2012), également nettement inférieur à la moyenne sur toute la période soit -0.07% par an. Une progression, certes encore lente, de la productivité totale des facteurs accompagnée par une adoption importante des avancées technologique, qui ont permis des économies en eau durant cette dernière décennie.

En considérant toute la période d'étude, soit 1991-2014, le taux de croissance moyen de la TFP avec «dotation en eau» est estimé à 1,14% par an, toujours inferieur aux taux de croissance habituels de la TFP calculés sans tenir compte des ressources en eau. Cette croissance est essentiellement due à l'accroissement du facteur technologique alors que le changement d'efficacité technique est pratiquement resté constant. Pendant ce temps, des efforts considérables restent à fournir en Afrique Sub-Saharienne, en termes de couverture optimale des espaces agricoles.

5. Conclusion

En somme, l'objectif principal de ce travail est d'analyser la croissance de la productivité agricole qui inclut la dotation en eau dans un échantillon de 28 pays d'Afrique subsaharienne sur la période 1991-2014. Cette étude constitue une contribution significative dans la littérature principalement pour deux raisons. La première repose sur le facteur «dotation en eau» pris en compte dans la fonction de production, au regard de son importance dans l'activité agricole. A notre connaissance, cette étude est une première à avoir estimée la productivité totale des facteurs (TFP) intégrant le facteur «dotation en eau» en agriculture. La seconde concerne la méthode utilisée qui permet d'avoir des résultats plus plausibles dans le cas de la production agricole, en comparaison a l'approche non-paramétrique couramment utilisée à cause des simplicités qu'elle offre.

Les résultats du modèle de production agricole (SFA), pour les valeurs estimées de l'élasticité de la production par rapport au facteur travail, engrais et dotation en eau en agriculture sont plausibles et significatives. A l'exception de la valeur estimée de l'élasticité de la production agricole par rapport à la terre qui reste plausible mais pas significatif. Les scores d'efficacité techniques moyens avec «dotation en eau» à travers les pays varient très peu. Des efforts subsistent en matière de combinaison optimale des facteurs de production, avec un accent particulier sur la gestion des ressources en eau. Le taux de croissance moyen de la TFP avec «dotation en eau» est estimé à 1,14% par an, sur toute la période d'étude. Entre 1991-2001, le taux de croissance annuel moyen de la TFP avec «dotation en eau» est estimé à 0,36%, en grande partie due à la mauvaise gestion des espaces cultivés et l'application des techniques culturales traditionnelles. Plus tard, sur la période allant de 2002-2012, le taux de croissance de la productivité agricole a rapidement progressé et est estimé à 0.80%. Ce taux de croissance moyen de la TFP avec «dotation en eau» de cette dernière décennie, vient d'une adoption importante des avancées technologiques qui ont

par ailleurs permis des économies d'eau. Avec un taux moyen de réduction des ressources en eau en agriculture qui est passé de -0.08% par an (entre 199 et 2001) à -0.05% par an (entre 2002 et 2012). Ces résultats témoignent de l'influence significative de l'utilisation efficace d'eau par unité de rendement agricole. Par conséquent, les décideurs publics ou privés doivent mettre plus d'accent sur la gestion efficace des ressources en eau pour une agriculture durable. Notamment à travers des programmes de gestion des systèmes d'irrigation favorable aux économies d'eau. Ici, les stratégies d'économie d'eau comprennent: (i) l'irrigation au goutte-à-goutte qui achemine l'eau directement aux racines des plantes, et (ii) la programmation de l'irrigation qui permet d'éviter les cultures sous ou trop arrosées.

Références

Aigner, D. J., Lovell, C. A. and Schimdt, P. (1977), 'Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Functions'. *Journal of Econometrics*, 6: 21–37.

Alene, A. (2010). Productivity growth and the effects of R&D in African agriculture. *Agricultural Economics*, *41*, 223–238.

Alston, J.M., Norton, G.W., Pardey, P.G., (1995). Science under Scarcity: Principles and Practice for Agricultural Evaluation and Priority Setting. Cornell University Press, Ithaca, NY.

Arnell, N. W. (1999). Climate change and global water resources. *Global Environmental Change*, *9*, S31–S49.

BAD. (2016). *Revue sur l'efficacité du développement Édition 2016 – Agriculture* (Revue Thematique).

Banque Mondiale. (2012). *Croissance verte inclusive: la voie du développement durable.* (Le Groupe de la Banque Mondiale. Washington, D.C.).

Balk, B (2001), Scale Efficiency and Productivity Change. *Journal of Productivity Analysis*, 15: 159–183.

Bates, B., Kundzewicz, Z., & Wu, S. (2008). *Climate change and water*. Intergovernmental Panel on Climate Change Secretariat.

Battese, G and Coelli, T. (1992), Frontier Production Functions, Technical Efficiencyand Panel Data: With Application to PaddyFarmers in India. *Journal of Productivity Analysis*, 3(1): 153–169.

Battese, G. E. and Corra, G. S. (1977). An Examination of the Sources of Economic Growth in Cameroon. *Australian Journal of Agricultural Economics*, 21(169-179).

BM. (2013). *Le potentiel de l'agriculture et de l'agroalimentaire en Afrique*. Banque Mondiale.

Brooks, K. (2010). African agriculture–What do we know? What do we need to know? Presented at the In: Presentation at the Conference Agriculture for Development-Revisited, University of California at Berkeley, CA.

Caves, D., Christensen, L and Diewert, E (1982). The Economic Theory of Index Numbers and the Measurement of Input, Output, and Productivity. *Econometrica*, 50(6): 1393–1414.

Coelli, T. J., Rao, D. S. P., & Battese, G. E. (1998). De l'économie néoclassique au projet néolibéral : quelle concurrence pour quelle efficacité ? Kluwer academic publishers, Boston, USA.

Coelli, T. and Prasada Rao, D (2003), Total Factor Productivity Growth in Agriculture: A Malmquist Index Analysis of 93 Countries, 1980-2000, in: Durban, South africa.

Coelli, T., Rahman, S. and Thirtle, C. (2002), Technical, Allocative, Cost and Scale Efficiencies in Bangladesh Rice Cultivation: A Non-Parametric Approach. *Journal of African Economics*, 53(3): 607–627.

Cosentino, S. L., Patane, C., Sanzone, E., Copani, V., & Foti, S. (2007). Effects of soil water content and nitrogen supply on the productivity of Miscanthus$\times$ giganteus Greef et Deu. in a Mediterranean environment. *Industrial Crops and Products*, *25*(1), 75–88.

Croppenstedt, A., Demeke, M., & Meschi, M. (2003). Technology adoption in the presence of constraints: the case of fertilizer demand in Ethiopia. *Review of Development Economics*, *7*, 58–70.

Datt, G., & Ravallion, M. (1998). Farm productivity and rural poverty in India. *Journal of Development Studies*, *34*(4), 62–85. https://doi.org/10.1080/00220389808422529.

Deither, J., & Effenberger, A. (2012). Agriculture and development: A brief review of the literature. *Economics System*.

Devkota, S., & Upadyay, M. P. (2013). Agricultural Productivity and Poverty Reduction in Nepal. *Faculty Research and Creative Activity*.

Diewert, W (1987), Index Numbers, 767–780, in: *The New Palgrave: A Dictionary of Economics*. London: Macmillam.

Diewert, W (1992). The Measurement of Productivity. *Bulletin of Economic Research*, 44(3): 163–198.

Djoumessi, F. Y. (2020). New trend of agricultural productivity growth in Sub-Saharan Africa. *Scientific African*. Submitting.

Evenson, R., & Pray, C. (1991). Research and Productivity in Asian Agriculture. Cornell University Press, Ithaca, NY.

Fare, R., Grosskopf, S., lindgren, B., & Roos, P. (1989). Fare R, Grosskopf S, Lindgren B, Roos P (1989) Productivity developments in swedish hospitals: a malmquist output index approach. In: . Chames A, Cooper WW, Lewin A, Seif ord L (eds.) Quorum B. In A. Charnes, W. W. Cooper, A. Lewin, & L. Seiford, *Data envelopment analysis: theory, methodology and applications* (Quorum Books).

Fare, R., Grosskopf, S., Norris, M., & Zhang, Z. (1994). Productivity growth, technical progress and efficiency changes in industrialized countries. *American Economic Review*, *84*, 66–83.

Fuglie, K., & Rada, N. (2013). *Resources, Policies, and Agricultural Productivity in Sub-Saharan Africa* (Economic Research Report Number 145).

Fanadzo, M., Chiduza, C., Mnkeni, P. N. S., van der Stoep, L., & Steven, J. (2010). Crop production management practices as a cause for low water productivity at Zanyokwe Irrigation Scheme. *Water SA*, *36*(1).

Gollin, D. (2010). Agricultural productivity and economic growth. In *Agricultural Economics* (Vol. 4, pp. 3825–3866). Elsevier BV.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). (2007). *Changements climatiques 2007: Impacts, adaptation et vulnérabilité.* (Contribution de groupe de travail II au quatrième Rapport d'évaluation du GIEC).

Grifell-Tatje, E and Lovell, C (1995), A Note on the Malmquist Productivity Index. *Economics Letters*, 47: 169–175.

Headey, D., Alauddin, M and Prasada Rao, D (2010), Explaining Agricultural Productivity Growth: An International Perspective. *Agricultural Economics*, 41: 1–14.

Howell, T. A. (2001). Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. *Agronomy Journal*, *93*(2), 281–289.

Irz, X., Lin L., Thirtle, C., & Wiggins, S. (2001). Agricultural Productivity Growth and Poverty Alleviation. *Development Policy Review*, *19*(4), 449–466.

Lambin, E. F., & Meyfroidt, P. (2011). Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *108*(9), 3465–3472.

Li, Y., & Barker, R. (2004). Increasing water productivity for paddy irrigation in China. *Paddy and Water Environment*, *2*(4), 187–193.

Krugman, P. (1994). Defening and Measuring Productivity.

McArthur, J., & McCord, G. (2017). Fertilizing growth: Agricultural inputs and their effects in economic development. *Journal of Development Economics*, *127*, 133–152.

Mellor, J. (1999). *Faster, More Equitable Growth – The Relation Between Growth in Agriculture and Poverty Reduction* (Agricultural Policy Development Project (Research Report No. 4)). Washington D.C.: United states Agency for International Development.

Mellor, J. W. (1996). *Agriculture on the road to industrialization* (In J. P. Lewis, & V. Kallab (Eds.)). Development Strategies Reconsidered. New Brunswick, NJ: Transaction Books for the Overseas Development Council.

Muzari, W., Gatsi, W., & Muvhunzi, S. (2012). The Impacts of Technology Adoption on Smallholder Agricultural Productivity in Sub-Saharan Africa: A Review. *Journal of Sustainable Development*, *5*(8).

Nin, A., Arndt, C., & Preckel, P. (2003). Is agricultural productivity in developing countries really shrinking? New evidence using a modified nonparametric approach. *Journal Developpment Economics*, *71*, 395–415.

Nin-Pratt, A., & Yu, B. (2009). An Updated Look at the Recovery of Agricultural Productivity in Sub-Saharan Africa. Presented at the International Association of Agricultural Economists Conference, Beijing, China.

OCDE. (2011). *Vers une croissance verte* (OCDE, Paris).

Place, F., & Hazell, P. (1993). Productivity Effects Of Indigenous Land Tenure Systems In Sub- Saharan Africa Frank Place and Peter Hazell. *American Journal of Agricultural Economics*, 10–19.

Orea, L (2002), Parametric Decomposition of a Gener-Alized Malmquist Productivity Index. *Journal of Productivity Analysis*, 18: 5–22.

PNUE. (2011). *Vers une économie verte: les chemins du développement durable et de l'éradication de la pauvreté*.

Resnick, D., Tarp, F., & Thurlow, J. (2012). The political economy of green growth: Illustrations from Southern Africa,. Presented at the WIDER Working Paper, No. 20.

Schultz, T. (1964). *Transforming Traditional Agriculture* (New Haven: Yale University Press).

Solow, R (1957). A Contribution to the Theory of Economic Growth. *Quarterly Journal of Economics*, 70(1): 65–94.

Thirtle, C., Piesse, J., & Lusigi, A. (2003). Multi-factor agricultural productivity, efficiency and convergence in Botswana. *Journal Developpment Economics*, *71*, 605–624.

Timmer, P. (1971). sing a Probabilistic Frontier Production Function to Measure Technical Efficiency. *Journal of Political Economy*, *79*, 776–794.

Von Cramon Taubadel, S, Anriquez, H and Nivievskyi, O (2009), Investment in Developing Countries' Food and Agriculture: Assessing Agricultural Capital Stocksand Their Impact on Productivity.

Tableau 4: Estimation de la fonction de production

VARIABLES	(1) Frontier T. Normal	(2) Frontier H. Normal
t	0.0657	0.0657
	(0.0678)	(0.0678)
lnland	10.59**	10.59**
	(4.933)	(4.933)
lnlabor	4.676***	4.676***
	(1.447)	(1.447)
lnMC	-0.0703	-0.0703
	(0.172)	(0.172)
lnfertilizer	0.900**	0.900**
	(0.396)	(0.396)
lnhwater	16.20*	16.20*
	(9.467)	(9.467)
t_2	-0.000262	-0.000262
	(0.000482)	(0.000482)
lnland_2	-0.0207	-0.0207
	(0.102)	(0.102)
lnlabor_2	-0.145***	-0.145***
	(0.0402)	(0.0402)
lnMC_2	-0.00318	-0.00318
	(0.00280)	(0.00280)
lnfertilizer_2	0.0138***	0.0138***
	(0.00481)	(0.00481)
lnhwater_2	-0.157	-0.157

	(0.388)	(0.388)
lnland_labor	-0.213***	-0.213***
	(0.0722)	(0.0722)
lnland_MC	0.00889*	0.00889*
	(0.00464)	(0.00464)
lnland_fert	-0.0139***	-0.0139***
	(0.00460)	(0.00460)
lnland_water	-1.191*	-1.191*
	(0.659)	(0.659)
lnland_t	0.00749***	0.00749***
	(0.00162)	(0.00162)
lnlabor_MC	-0.00395	-0.00395
	(0.00527)	(0.00527)
lnlabor_fert	-0.0208**	-0.0208**
	(0.00942)	(0.00942)
lnlabor_water	-0.313***	-0.313***
	(0.110)	(0.110)
lnlabor_t	0.00317*	0.00317*
	(0.00182)	(0.00182)
lnMC_fert	0.00102	0.00102
	(0.00247)	(0.00247)
lnMC_water	0.00554	0.00554
	(0.0198)	(0.0198)
lnMC_t	-0.00156**	-0.00156**
	(0.000688)	(0.000688)
lnfert_water	-0.0857*	-0.0857*
	(0.0483)	(0.0483)
lnfert_t	-0.00309***	-0.00309***
	(0.000848)	(0.000848)
lnhwater_t	-0.0138*	-0.0138*
	(0.00763)	(0.00763)
Observations	317	317
Number of state_nb	19	19

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

Tableau 5: Estimation de la fonction de production avec correction de l'hétéroscedasticité

VARIABLES	(1) Frontier T. Normal	(6) Frontier H. Normal

t	0.0118	0.0114
	(0.0596)	(0.0596)
lnland	6.437	6.426
	(4.587)	(4.582)
lnlabor	4.780***	4.779***
	(1.330)	(1.329)
lnMC	-0.0733	-0.0729
	(0.146)	(0.145)
lnfertilizer	0.839**	0.840**
	(0.355)	(0.355)
lnhwater	5.481*	5.454*
	(4.410)	(4.403)
t_2	-2.99e-05	-2.49e-05
	(0.000480)	(0.000482)
lnland_2	-0.0922	-0.0931
	(0.108)	(0.108)
lnlabor_2	-0.155***	-0.155***
	(0.0372)	(0.0372)
lnMC_2	-0.00463	-0.00464
	(0.00296)	(0.00297)
lnfertilizer_2	0.0167***	0.0167***
	(0.00490)	(0.00491)
lnhwater_2	0.0648	0.0645
	(0.341)	(0.340)
lnland_labor	-0.222***	-0.222***
	(0.0702)	(0.0702)
lnland_MC	0.0101**	0.0101**
	(0.00510)	(0.00510)
lnland_fert	-0.0182***	-0.0182***
	(0.00523)	(0.00524)
lnland_water	-0.563	-0.561
	(0.621)	(0.620)
lnland_t	0.00865***	0.00866***
	(0.00173)	(0.00173)
lnlabor_MC	-0.00459	-0.00460
	(0.00501)	(0.00501)
lnlabor_fert	-0.0216**	-0.0216**
	(0.00953)	(0.00953)
lnlabor_water	-0.317***	-0.317***
	(0.0935)	(0.0934)
lnlabor_t	0.00511***	0.00512***
	(0.00179)	(0.00178)
lnMC_fert	0.000471	0.000463
	(0.00266)	(0.00266)
lnMC_water	0.00520	0.00516
	(0.0163)	(0.0163)

lnMC_t	-0.00109	-0.00109
	(0.000721)	(0.000722)
lnfert_water	-0.0703	-0.0704
	(0.0432)	(0.0432)
lnfert_t	-0.00423***	-0.00423***
	(0.000957)	(0.000961)
lnhwater_t	-0.00981	-0.00978
	(0.00638)	(0.00638)
Observations	317	317
Number of state_nb	19	19

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