

## **Efficacité technique et convergence : l'expérience des pays Africains producteurs de coton**

**Nestor Nodjtidjé DJIMASRA**

*Laboratoire d'Etudes et de Recherche en Economie Appliquée et de Gestion (LAEREAG),  
Université de Ndjamena /Tchad  
Email : djimasra\_n@yahoo.fr*

**Résumé :** Cet article traite de l'efficacité technique et de la convergence de la production du coton en Afrique par la méthode d'enveloppement des données et une régression sur les taux de croissance des scores d'efficacité à partir d'un échantillon de 17 pays sur la période de 1995 à 2009. Les résultats donnent des scores moyens annuels de l'ordre de 47,54% pour l'efficacité technique, 75,87% pour l'efficacité technique pure et de 62,66% pour l'efficacité d'échelle. Ce qui veut dire qu'on assiste globalement à un gaspillage des ressources utilisées de 52,46% pour obtenir le même niveau de production. Le test de  $\beta$ -convergence affiche un mouvement de convergence absolue et celui de  $\sigma$ -convergence donne des phénomènes de  $\sigma$ -convergence et  $\sigma$ -divergence dus à des chocs exogènes spécifiques qui limitent la diminution des écarts. L'une des conclusions importantes est que la  $\beta$ -convergence de l'efficacité totale est en grande partie expliquée par la  $\beta$ -convergence de l'efficacité technique pure. Ces résultats appellent à des réflexions sur la meilleure utilisation des ressources productives.

*Mots clés : Efficacité technique – convergence – coton – méthode DEA*

*Classification JEL : D24 – Q15 – O13 – O55*

## **Technical efficiency and convergence: the experience of the producing African cotton countries**

**Abstract:** This paper examines the technical efficiency and the convergence of the African cotton producing by Data Envelopment Analysis method and regression on the growth rates of the efficiency scores, using a sample of 17 countries over the period from 1995 to 2009. The results give annual average scores nearly 47.54% for technical efficiency, 75.87% for pure technical efficiency and 62.66% for scale efficiency. These results means that we attend globally a wasting of the resources used by 52.46 % to obtain the same level of production. The test of  $\beta$ -convergence posts a movement of absolute and that of  $\sigma$ -convergence shows phenomena of  $\sigma$ -convergence and  $\sigma$ -divergence due to specific exogenous shocks which limit the decrease of the gaps. One of the important conclusions is that,  $\beta$ -convergence of total efficiency is largely explained by the  $\beta$ -convergence of pure technical efficiency. These results call up to reflections on the best use of the productive resources.

*Keywords: Technical efficiency – convergence – cotton – Data Envelopment Analysis*

*JEL Classification: D24 – Q15 – O13 – O55*

## 1. Introduction

Le coton constitue en Afrique au sud du Sahara une source majeure de recettes en devises pour les gouvernements et une indispensable source de revenus pour les producteurs.

D'une manière générale et en termes de valeur ajoutée, le coton vient en deuxième position, après le cacao, parmi les cultures d'exportation qui impliquent principalement les petits producteurs, en Afrique. L'agriculture cotonnière pratiquée dans plus de la moitié des pays Africains est soumise à de nombreuses contraintes.

En effet, depuis trois décennies, le secteur cotonnier africain est confronté de façon récurrente à une série de mutations profondes, d'ordres techniques, organisationnels, économiques et politiques. Celles-ci se rapportent principalement à la mondialisation des échanges et au désengagement des Etats des principales branches des filières cotonnières.

Pour les acteurs du coton africain, bien que porteuses d'opportunités, ces mutations représentent des changements radicaux de leur environnement qui se traduisent par un renforcement de leurs contraintes et s'interrogent sur la nature et l'efficacité des réponses qu'ils y apportent. Le marché international du coton est soumis à des distorsions dues à des subventions versées par les grands pays à leurs producteurs, créant ainsi des pertes énormes de recettes des pays africains.

En 2005, 40% des subventions mondiales continuent d'alimenter quelques 25 000 producteurs américains, avec des conséquences désastreuses pour des millions de petits producteurs du Sud, du fait de la chute des cours internationaux induite par ces politiques, Hazard (2005). La politique de subvention a non seulement un impact négatif sur les prix internationaux moyens du coton, mais constitue un réel frein à la compétitivité du coton africain. Entre 2005/2006 et 2009/2010, le montant total des soutiens directs des prix et des revenus du coton s'est élevé en moyenne à 4,6 milliards de dollars US, ce qui représente 40% de la valeur des exportations au coton au prix moyen du marché, et près de 13% de la valeur de la production mondiale et plus de deux fois la production de l'UEMOA, Traoré (2010).

Compte tenu de l'importance que joue le coton dans plusieurs familles africaines, il ya lieu de s'interroger sur son avenir.

Au regard de cet état des lieux, l'objectif de cet article est de mesurer l'efficacité technique de la production du coton à travers les scores d'efficacité et ensuite mesurer la convergence pour détecter les productions des pays qui convergent vers l'équilibre stationnaire. Nous présentons dans la seconde section une revue de littérature. La troisième section est consacrée aux modèles utilisés et la quatrième section fait une analyse empirique de l'efficacité technique et de la convergence. Enfin la cinquième section conclut.

## 2. Revue de la littérature

Plusieurs études empiriques ont été menées dans tous les domaines et presque dans tous les continents pour mesurer exactement le niveau d'efficacité atteint par les producteurs et productrices ainsi que la convergence des taux de croissance des scores d'efficacité ou des taux de croissance du revenu par habitant selon les pays.

Ainsi, on peut remarquer que les pays en développement ont des scores d'efficacité technique très bas que les pays développés, ce qui est le signe de grandes divergences entre les exploitations et révèle un fort potentiel de rattrapage. Ces inefficacités allocatives et d'échelles constatées peuvent s'expliquer par l'existence des distorsions dans le système des prix et dans les conditions d'exercice des exploitations (Diana et Zepeda, 2002). Si on suit l'étude de Nkamleu (2004b) sur l'Afrique, les progrès obtenus en Afrique francophone proviennent plutôt des rendements d'échelle.

Sur un échantillon de 178 exploitations spécialisées en grandes cultures et situées dans un même bassin de production (Nord-Pas-de-Calais) en France, Boussemart, et al. (2006) ont tenté de mesurer et révéler les éventuels phénomènes de convergence des performances productives entre les exploitations agricoles au cours de la période 1994-2001. À partir d'estimations des niveaux de la productivité globale des facteurs basées sur la notion de fonction de distance, les résultats indiquent clairement des processus de rattrapage, à la fois technique, et d'échelle entre les exploitations. Akhanni-honvo (2003) étudie les implications des politiques économiques sur la convergence ou la divergence des pays en voie de développement selon leurs zones d'appartenance. En s'appuyant d'une part sur un modèle en panel de convergence différenciée par zones d'intégration institutionnelles et, d'autre part, sur une détermination endogène de clubs de convergence par une méthode de localisation par seuils séparant les différents régimes de croissance, les résultats indiquent que les accords régionaux n'impliquent pas automatiquement une convergence économique réelle au niveau des zones d'intégrations et que les convergences conditionnelles sont globalement faibles. Les facteurs tels les infrastructures, la complémentarité productive et la capacité des pays-leaders à exercer des effets d'entraînement régionaux se révèlent être des facteurs déterminants dans le processus de convergence régionale. Une influence positive de l'effet-frontière sur la croissance du revenu n'implique pas nécessairement la convergence des économies en Afrique.

Guétat et Serranito (2008), essaient de différencier les pays de la région MENA<sup>1</sup> en termes de comportement de convergence ou divergence par rapport au pays du sud de l'Europe. Ces auteurs ont employé les tests de sigma-convergence et de bêta-convergence polynomiale à la Chatterji pour évaluer le processus de

---

<sup>1</sup> Pays appartenant à l'Afrique du Nord et du Moyen-Orient.

convergence. D'après leurs résultats, le processus de (sigma) convergence ne serait pas uniforme dans le temps. Il existerait un mouvement de convergence des pays de la zone MENA vers le niveau de revenus des pays du sud de l'Europe pendant la période 1973-1984. Cette conclusion reste valide si on analyse des sous groupes de pays, à l'exception des pays pétroliers qui eux divergent sur l'ensemble de la période. L'estimation de clubs de convergence à la Chatterji conduit au rejet de l'hypothèse de (bêta) convergence sur l'ensemble de la période (1960-2003). Il existerait toutefois un mouvement de (bêta) convergence sur la sous période 1973-1984 rejoignant ainsi les conclusions des tests de sigma-convergence. Sur les autres sous périodes, l'hypothèse de divergence est acceptée.

En matière d'efficacité technique, Nyemeck et al. (2003), étudient les facteurs qui peuvent affecter la filière café dans la région du centre ouest en Côte d'Ivoire, en utilisant la méthode d'enveloppement des données (DEA) sur un échantillon de 81 exploitations de café. L'analyse montre que le niveau d'efficacité technique moyen est 36% en rendements d'échelle constants et de 47% en rendements d'échelle variables, ce qui donne un niveau d'efficacité d'échelle de 76,6%. En cherchant les déterminants de ces scores d'efficacité, les auteurs ont estimé économétriquement les scores d'efficacité des deux technologies (CRS et VRS) sur quelques variables explicatives par un modèle Tobit. On va retrouver ces caractéristiques lorsqu'on se tourne vers le secteur du coton.

Ainsi, Gouse et al. (2003), ont mené une étude sur le coton bio en Afrique du Sud. L'objectif de l'étude était d'évaluer l'impact de l'adoption de cette culture sur les revenus des grandes exploitations et les petites exploitations. Ils ont ensuite mesuré l'efficacité technique des grandes exploitations par la méthode DEA. Trois périodes sont retenues avec un nombre variable d'exploitations agricoles : 9 en 1998/1999, 15 en 1999/2000 et 39 en 2000/2001. Les résultats ont donné un score moyen d'efficacité technique totale de 0,85, de 0,99 pour l'efficacité technique pure et de 0,85 pour l'efficacité d'échelle en période 1998/1999. Pour la période 1998/1999, les scores moyens d'efficacité technique totale, d'efficacité technique pure et d'efficacité d'échelle sont respectivement de 0,69, 0,86 et 0,80. Enfin, pour la période 1999/2000, les trois types d'efficacité sont respectivement de 0,51, 0,67 et 0,76. Sous technologie CRS et VRS, pour la première période, une seule exploitation est sur la frontière. Pour la deuxième période, 3 exploitations sont efficaces en CRS et une exploitation en VRS. Et enfin, pour la troisième période, 6 exploitations sont efficaces en CRS et 4 exploitations en VRS.

Shafiq et Reheman (2000), dans leur étude sur les exploitations de production cotonnière au Pakistan, ont utilisé la méthode non paramétrique Data Envelopment Analysis. L'objectif était d'identifier les sources de l'utilisation inefficace des ressources destinées à la production du coton. L'échantillon s'est porté sur 120 fermes d'exploitation cotonnière dans la région du Sud du Pakistan (Pendjab). Les auteurs ont calculé l'efficacité technique et l'efficacité allocative sous les deux

technologies (CRS et VRS). Rappelons que l'efficacité allocative tient compte des prix des inputs et des outputs. Pour l'efficacité technique, 10 fermes ont un score d'efficacité égal à 100% en CRS et 30 fermes en VRS. Pour l'efficacité allocative, 14 fermes sont déclarées efficaces en CRS et 34 fermes en VRS. Les analyses montrent par ailleurs, que les fermes déclarées techniquement efficaces le sont aussi en termes d'allocation de ressources.

Battese et Hassan (1999) ont plutôt appliqué une frontière stochastique pour mesurer l'efficacité technique des exploitations cotonnières dans le district de Vehari au Punjab (Pakistan). L'échantillon retenu était de 45 exploitations cotonnières pour la période 1996/1997. Les scores d'efficacité technique obtenus varient entre 0,699 à 0,991 avec une moyenne de 0,93. L'estimation économétrique d'une fonction Cobb-Douglas montre que l'irrigation, les pesticides et les surfaces cultivées influencent positivement la production du coton. Par contre, les semences impactent négativement cette dernière. Par ailleurs, Chakraborty et al. (2002), dans leur étude sur l'efficacité technique des fermes cotonnières dans 4 comtés de l'Etat de Texas, comparent deux méthodes : la méthode DEA et la méthode SFA (Stochastic Frontier Analysis). L'étude est portée sur un échantillon de 77 exploitations cotonnières (54 irriguées et 23 non irriguées) sur la période 1998. Les résultats obtenus sont sensiblement les mêmes. En effet, 80% des exploitations agricoles irriguées sont déclarées efficaces (0,799 en CRS, 0,886 en VRS et 0,80 en SFA) et 70% des exploitations non irriguées le sont aussi (0,708 en CRS, 0,888 en VRS en 0,709 en SFA). Une fonction Cobb-Douglas est ensuite estimée sur les scores d'efficacité technique des deux types d'exploitations.

Cette liste n'est pas exhaustive car, compte tenu de la souplesse et de la richesse de cette méthode, plusieurs études l'ont appliquée dans différentes disciplines dans le monde. Dans l'étude de la mesure de la performance productive que nous menons, nous allons appliquer cette méthode et voir dans quelle mesure la production de certains pays convergent vers l'équilibre stationnaire.

### **3. Présentation des modèles utilisés**

#### **3.1. Notion d'efficacité technique**

L'efficacité technique mesure le niveau de réduction possible de l'utilisation des inputs dans le processus de production tout en gardant le même niveau d'output produit par cette activité. De même, l'efficacité technique nous indique aussi de combien l'output de l'exploitation peut augmenter tout en continuant à utiliser le même niveau de facteurs de production. Dans ce cas, une exploitation serait efficace seulement s'il serait impossible d'augmenter son niveau d'output sans augmenter le niveau d'utilisation de facteurs et vis versa.

L'efficacité technique est une mesure de la performance productive d'une exploitation agricole. La distance entre la production réelle à la production optimale étant donnés les inputs, indique le niveau de l'inefficacité de production de l'entreprise individuelle (Greene, 1993). La mesure du degré d'efficacité d'une unité de production permet de cerner si cette dernière peut accroître sa production sans pour autant consommer plus de ressources, ou diminuer l'utilisation d'au moins un intrant tout en conservant le même niveau de production. Cette mesure est apparue dans les travaux de Koopmans (1951) relatifs à l'analyse de la production et de Debreu (1951) qui proposa le coefficient d'utilisation des ressources. Farrell (1957) a établi le concept d'efficacité économique en distinguant les notions d'efficacité technique et d'efficacité allocative.

Deux grands types de méthodes sont utilisés dans la littérature de production. Les méthodes paramétriques et non paramétriques sont généralement utilisées pour estimer l'efficacité au sens de Farrell (1957) d'un ensemble d'entités. L'approche non paramétrique est préférée dans cette étude, l'avantage de cette méthode est qu'aucune forme fonctionnelle n'est imposée à la fonction de production. Toute déviation par rapport à la frontière estimée est considérée comme de l'inefficacité. La méthode DEA (Data Envelopment Analysis) est mise en exergue dans ce travail. Cette méthode est traitée de façon intensive par Seiford et Thrall (1990), Lovell (1993), Färe et al. (1994). Le lecteur peut se référer à un travail intéressant sur « l'état de l'art » portant sur la méthode DEA, réalisé par Seiford (1996).

Nous utilisons à la fois le modèle à Rendements d'Echelle Constants (CRS)<sup>2</sup> de Charnes, Cooper et Rhodes, (CCR-1978) et le modèle à Rendements d'Echelle Variables (VRS)<sup>3</sup> de Banker, Charnes et Cooper, (BCC-1984). Le choix de ces deux modèles nous permet de calculer l'efficacité technique d'échelle pour chaque pays producteur du coton.

La méthode DEA a connu de grands développements ces 30 dernières années. Elle s'est diffusée d'abord aux Etats-Unis puis ces derniers temps, au reste du monde. Le choix de cette méthode nous est dicté, d'une part, par le faible nombre des pays producteurs de coton pour lesquels, les données fiables et complètes pour l'ensemble de la période ont pu être collectées et, d'autre part, parce que cette méthode s'adapte parfaitement à l'étude d'une production multi- outputs/multi-inputs ou mono-output/multi-inputs comme dans notre cas.

Elle est fondée sur la programmation linéaire pour identifier des fonctions de productions empiriques. C'est une méthode basée sur la théorie micro-économique, qui compare toutes les unités similaires en prenant en compte simultanément plusieurs dimensions. Elle détermine la frontière d'efficience du point de vue de la

---

<sup>2</sup> CRS : Constant Return to Scale.

<sup>3</sup> VRS : Variable Return to Scale.

meilleure pratique. Chaque unité est considérée comme une unité décisionnelle (« decision-making unit » DMU, dans notre cas c'est un pays producteur de coton), qui transforme des « inputs » en « outputs ». Les inputs sont des ressources utilisées pour créer des outputs d'une qualité donnée. Cette méthode fournit une analyse synthétique, fiable et originale de la performance Badillo et al. (1999).

Parmi les exemples d'unités de production retenues (DMU), nous pouvons citer les branches de production, des divisions, des écoles, des secteurs d'industrie, des magasins franchisés, des mairies, des aéroports, le secteur de la santé, les banques, des départements d'université, etc.

Les inputs utilisés peuvent être le travail, le capital, les consommations intermédiaires... et les outputs peuvent être les ventes, les consommateurs satisfaits, les productions, les profits, les parts de marché, etc.

L'intérêt de la méthode DEA est de pouvoir prendre en compte de multiples données caractéristiques des activités aussi complexes. Elle permet de repérer les unités ayant la meilleure performance parmi les autres et offre un cadre pour intégrer et interpréter toute mesure de performance. Ainsi, chaque DMU consomme un montant  $m$  de différents inputs afin de produire  $s$  différents outputs. Le  $DMU_j$  ( $j = 1, \dots, m$ ) consomme un montant  $X_j = \{x_{ij}\}$  d'inputs ( $i = 1, \dots, m$ ) et produit un montant  $Y_j = \{y_{rj}\}$  d'outputs ( $r = 1, \dots, s$ ).

En général, lorsque l'on considère un nombre infini d'inputs et d'outputs, la mesure de l'efficacité productive est donnée par le ratio suivant :

$\theta_j = \text{Somme pondérée des Outputs} / \text{Somme pondérée des Inputs}$ .

Les DMU sur la frontière ont une efficacité égale à 1. Les unités inefficaces ont un niveau d'efficacité inférieur 1.

Les trajectoires pour se diriger vers la frontière représentant la meilleure pratique consistent à utiliser moins d'input, dans le cas de modèle à orientation input, et à produire davantage d'output, dans le cas du modèle à orientation output. Il est bien sûr possible de combiner des trajectoires (approche directionnelle).

L'orientation retenue pour le calcul des scores d'efficacité est une orientation tournée vers la minimisation des inputs. Cette orientation nous semble être appropriée au contexte actuel de concurrence internationale dont font face les pays producteurs du coton. Pour être compétitif, chaque pays doit réduire ses coûts de facteurs de production. Les deux modèles se présentent comme suit :

### 3.1.1. Le modèle à rendements d'échelle constants (CRS)

#### Modèle 1- CCR orienté input

$$\text{Min} \theta_k - \varepsilon \left[ \sum_{r=1}^s S_{rk}^+ + \sum_{i=1}^m S_{ik}^- \right]$$

Sous les contraintes

(1)

$$\left\{ \begin{array}{l} 1 - \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + S_{ik}^- = \theta_k x_{ik} \\ 2 - \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - S_{rk}^+ = y_{rk} \\ 3 - \lambda_j (j = 1, \dots, n), S_{rk}^+ (r = 1, \dots, s), S_{ik}^- (i = 1, \dots, m) \geq 0 \end{array} \right.$$

Sous cette forme,  $y_j$  et  $x_j$  sont les  $r$ -vecteurs et les  $s$ -vecteurs des outputs et des inputs pour le pays  $k$ , les matrices  $y$  et  $x$  sont les  $s \times n$ -matrices des outputs et les  $m \times n$ -matrices des inputs de chaque pays. Le paramètre  $\theta_k$  doit être minimisé ; il exprime alors de combien on peut réduire proportionnellement (en pourcentage) les inputs du pays  $k$ , afin que celui-ci parvienne à la meilleure pratique. Chaque pays ayant pour score  $\theta_k = 1$  est déclaré efficace et participe à la définition de la frontière. Le  $n$ -vecteur  $\lambda_j$  fixe les pondérations de tous les pays producteurs efficaces qui servent de référence au pays producteur  $k$ .

La réduction proportionnelle des inputs inefficients est déterminée dans la fonction objectif à minimiser, où les excès d'inputs ( $S_r^+$ ) dit en anglais « inputs excess » et les déficits d'outputs ( $S_i^-$ ) dit en anglais « outputs slacks », qui demeurent du fait de l'utilisation d'une mesure radicale, ont été corrigés. Dans ce modèle,  $\varepsilon$  est un petit nombre positif non-archimédien afin que la maximisation des variables d'écart ( $S_r^+$ ,  $S_i^-$ ) demeure un objectif secondaire par rapport à la minimisation du coefficient  $\theta_k$ . Ce calcul permet d'obtenir une séparation claire entre les pays producteurs efficaces et les pays producteurs inefficients.

Cependant, le modèle CCR, ne permet pas des rendements d'échelle variables. Banker, Charnes et Cooper en 1984 ont étendu le modèle CCR pour parvenir à cette issue. Il s'agit du modèle BCC en imposant la contrainte de convexité au programme dual.

### 3.1.2. Le modèle à rendements d'échelle variables (VRS)

#### Modèle 2- BCC-orienté input

$$\text{Min} w_k - \varepsilon \left[ \sum_{i=1}^m S_{ik}^- + \sum_{r=1}^s S_{rk}^+ \right]$$

Sous les contraintes (2)

$$\begin{cases} 1 - \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + S_{rk}^+ = w_k x_{ik} \\ 2 - \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - S_{rk}^+ = y_{rk} \\ 3 - \sum \lambda_j = 1 \\ 4 - \lambda_j, S_{ik}^-, S_{rk}^+ \geq 0 \forall r = 1, \dots, s; j = 1, \dots, n; i = 1, \dots, m \end{cases}$$

L'introduction d'une contrainte supplémentaire a pour conséquence d'égaliser la somme des poids  $\lambda$  à 1.

Selon Coelli et al. (1998), la distinction entre les scores d'efficacité technique obtenue par la technologie DEA du type CRS et ceux de la même firme obtenue par la technologie DEA du type VRS constitue une bonne mesure de l'échelle de cette firme. Ils suggèrent d'effectuer, sur la même base de données, une DEA du type CRS et une autre du type VRS et en déduire la mesure d'échelle.

Nous avons utilisé le logiciel Win4DEAP<sup>4</sup> (version 1.1.2) développé sous Windows95 afin d'estimer les scores d'efficacité. C'est la version DEAP sous DOS de Coelli (1998).

### 3.2. Le concept de convergence

La notion de convergence a été l'un des principaux sujets de la littérature sur la croissance pendant de nombreuses années. Il s'agissait de déterminer si les économies des pays moins développés pouvaient rattraper le niveau de revenu par tête des économies plus riches. Ce concept a été formalisé par Barro et Sala-i-Martin (1991, 1992, 1995), aboutissant à deux notions fondamentales : la  $\beta$ -convergence et la  $\sigma$ -convergence.

Le test de  $\beta$ -convergence étudie le comportement de retour à la moyenne d'un ensemble de variables. Il traduit le fait que les pays pauvres croissent plus vite que

<sup>4</sup> <http://www.umoncton.ca/desliem/dea/install.htm>.

les pays riches. L'approche de la  $\beta$ -convergence apparaît dans la théorie économique, comme la mesure la plus courante de ce phénomène puisqu'elle permet de quantifier et de mesurer le concept de vitesse de convergence.

La  $\beta$ -convergence peut être absolue ou conditionnelle. Elle est absolue, lorsqu'elle ne prend pas en compte les conditions initiales des variables, supposant implicitement une similarité dans leurs caractéristiques (structures, technologies,.....). Tous les pays de l'échantillon convergent dans ce cas vers un état stationnaire. Cette hypothèse se formalise par la régression simple du taux de croissance de la variable étudiée à son niveau initial. La convergence absolue est testée habituellement sur le modèle en coupe transversale (Voir Barro et Sala-i-Martin, op. cit). On conclut qu'il y a  $\beta$ -convergence absolue lorsque l'on observe une corrélation négative<sup>5</sup> entre le niveau initial de l'efficacité productive et son taux de croissance dans notre cas.

La  $\beta$ -convergence conditionnelle se différencie de la précédente par la prise en compte des particularités des pays. Elle repose sur l'homogénéisation des taux de croissance plutôt que des niveaux de richesses. On introduit des variables explicatives supplémentaires (structurelles) dans la régression pour capter l'hétérogénéité des états stationnaires.

La  $\beta$ -convergence absolue suppose une égalisation à long terme des variables à une même valeur unique alors que la  $\beta$ -convergence conditionnelle implique que chaque pays converge vers son propre état stationnaire, lequel peut être différent de celui des autres.

Pour résoudre le problème d'hétérogénéité entre les pays, Galor (1996), a proposé de diviser l'échantillon étudié en sous groupes constitués des pays dont les états stationnaires sont supposés semblables. On procède ensuite à un test de  $\beta$ -convergence absolue sur les sous-groupes ainsi constitués, appelés clubs de convergence.

L'analyse de la  $\sigma$ -convergence consiste à étudier l'évolution de la dispersion de l'échantillon. Pour la mesure de la dispersion, certains auteurs utilisent l'écart-type de l'échantillon au début et à la fin de la période choisie ou le coefficient de variation. Le coefficient de variation est une mesure plus appropriée de la dispersion pour les variables à tendance, car elle ne dépend pas de l'unité de mesure. L'écart-type sous-évaluera la  $\sigma$ -convergence dans le cas des séries croissantes. On conclut à la convergence de l'ensemble de l'échantillon lorsque la dispersion diminue dans le temps. Bien que la  $\sigma$ -convergence constitue une mesure de consolidation, l'existence de la  $\beta$ -convergence ne l'entraîne pas automatiquement. La  $\beta$ -convergence est une condition nécessaire mais pas

---

<sup>5</sup> Lorsque  $\beta$  est négatif et statistiquement significatif.

suffisante pour qu'il y ait  $\sigma$ -convergence, Quah (1993). En effet, Hénin et Le Pen (1995), ont montré que cette  $\sigma$ -divergence peut résulter en l'occurrence des chocs aléatoires qui maintiennent constante ou croissante la dispersion de la distribution.

Nous évaluons dans notre étude la convergence des taux de croissance des scores d'efficacité productive des pays producteurs de coton pour détecter leur évolution vers l'équilibre ou non. Il s'agira de tester l'hypothèse de convergence par les tests de  $\beta$ -convergence et de  $\sigma$ -convergence sur l'ensemble de l'échantillon.

En se référant à la définition de la convergence de Barro et Sala-i-Martin (op. cit.) dans leur ouvrage sur la théorie de la croissance, il ya convergence, si au fil du temps les scores d'efficacité tendent vers la frontière de production. L'équation de la régression ci-dessous relie les taux de croissance moyens annuels des scores d'efficacité des pays avec les niveaux initiaux de leurs efficacités productives. Elle permet de déceler le phénomène de convergence. L'équation se présente comme suit :

$$\left[ \ln(S_{i,2009}) - \ln(S_{i,1995}) \right] / N = \alpha + \beta \ln(S_{i,1995}) + \varepsilon_i, \quad (3)$$

Où  $S_i$  est le score d'efficacité technique totale, technique pure et d'efficacité d'échelle,  $i=1 \dots 17$  et  $N=1 \dots 15$ ,  $\alpha$  une constante et  $\varepsilon_i$  le terme aléatoire.

Le processus de convergence peut être complété par deux indicateurs informationnels additionnels dont les mesures sont inspirées des estimations de  $\beta$ . Tout d'abord la vitesse de convergence qui définit le rythme annuel auquel les pays convergent vers le benchmark peut être calculée à partir de l'équation :  $\beta = (e^{-\Phi N} + 1) / N$ . Après transformation, la vitesse de convergence  $\Phi = -[\ln(1 + \beta N)] / N$ , avec  $\beta$  le coefficient estimé. Plus  $\beta$  est grand, plus le processus de convergence est rapide. La deuxième mesure est la demi-vie  $\tau$  qui permet, quant à elle, d'évaluer le temps nécessaire pour que les pays réduisent de moitié l'écart qui les sépare de leur état stationnaire. Elle est définie par la formule  $\tau = -\ln(2) / \ln(1 + \beta) \approx \ln(2) / \Phi$  ou  $-\ln(2) / \ln(1 - \Phi)$ .

#### 4. Analyse empirique de l'efficacité technique et de la convergence

##### 4.1. Données, choix des variables et échantillon

Les données utilisées sont issues de la base de données de FAOSTAT<sup>6</sup> et de l'ICAC (International Cotton Advisory Committee) c'est-à-dire le Comité Consultatif International du Coton (CCIC) basé à Washington. Le CCIC compte 41 gouvernements membres et a pour fonction principale de rassembler et diffuser des statistiques complètes, officielles et à jour, sur la situation cotonnière mondiale. Les organismes de coordination dans les pays membres adressent au Comité des rapports statistiques officiels que le Secrétariat en fait usage pour les statistiques mondiales. D'autres sources officielles et privées des pays membres et non membres sont mises à contribution pour le complément des informations. Les données utilisées sont relatives à la production du coton et les moyens de production agricole dans les pays concernés.

Nous avons retenu pour cette technologie de production 5 variables soit 1 output et 4 inputs.

- L'output **production** : elle est mesurée par la **production du coton** exprimée en tonnes métriques ;
- L'input **superficies cultivées** : les superficies cultivées sont exprimées en hectare ;
- L'input **capital** : le capital regroupe les équipements, matériels et outillages et de bâtiments ;
- L'input **main d'œuvre** : la main d'œuvre est approximée par la population active dans l'agriculture, nous faisons l'hypothèse selon laquelle la population active agricole dans le coton est la même que dans les autres cultures, ce qui veut dire que la part de la population active agricole ne travaillant pas le coton est infinitésimale ;
- L'input **consommations intermédiaires** : elles regroupent les engrais, les semences, les pesticides et les fertilisants.

Notre échantillon est composé de 17 pays africains producteurs de coton (Afrique du Sud, Bénin, Burkina Faso, Cameroun, Côte d'Ivoire, Egypte, Ghana, Mali, Nigeria, Sénégal, Soudan, Tanzanie, Tchad, Togo, Ouganda, Zambie, Zimbabwe). La période d'étude s'étale de 1995 à 2009.

---

<sup>6</sup> <http://faostat.fao.org>.

## 4.2. Résultats et interprétations

### 4.2.1. Interprétations des scores d'efficacité

**Tableau 1 – Statistiques des scores moyens annuels d'efficacité technique (1995-2009)**

Années	Min	Max	Moyenne	Ecart-type	CV (%)
1995	0,191	0,901	0,433	0,168	38,80
1996	0,146	1,00	0,467	0,25	53,53
1997	0,132	1,00	0,37	0,219	59,19
1998	0,066	1,00	0,422	0,232	54,98
1999	0,134	1,00	0,405	0,218	53,83
2000	0,126	1,00	0,468	0,253	54,06
2001	0,155	1,00	0,459	0,267	58,17
2002	0,14	1,00	0,493	0,264	53,55
2003	0,166	1,00	0,503	0,289	57,46
2004	0,091	1,00	0,502	0,315	62,75
2005	0,084	0,981	0,494	0,312	63,16
2006	0,087	1,00	0,494	0,306	61,94
2007	0,126	1,00	0,523	0,345	65,97
2008	0,163	1,00	0,591	0,321	54,31
2009	0,097	1,00	0,507	0,339	66,86
Moyenne			<b>0,4754</b>		

Source : Calculs de l'auteur

Pour le modèle à rendements d'échelle constants (CRS), ce tableau montre que l'efficacité technique moyenne annuelle s'établit à 47,54% sous la technologie (CRS). On aurait dû réduire de 52,46% les ressources utilisées pour atteindre le même niveau de production. Par ailleurs, nos résultats suggèrent aussi que le Bénin, le Burkina Faso, l'Egypte, le Mali, le Soudan et le Tchad ont été au moins une fois efficaces pendant la période d'étude du point de vue combinaison des facteurs de production, et donc se situant sur la frontière de production. Les autres pays n'ont pas été efficaces pendant toute la période, ils ont contribué à l'inefficacité de l'ensemble de l'échantillon. Ces résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 2 – Statistiques des scores moyens d'efficacité technique par pays (1995-2009)**

Pays	Min	Max	Moyenne	Ecart type
Afrique du Sud	0,186	0,379	0,283	0,097
Bénin	0,294	1,000	0,647	0,353
Burkina Faso	0,391	1,000	0,696	0,305
Cameroun	0,293	0,642	0,468	0,175
Cote d'Ivoire	0,57	0,869	0,720	0,150
Egypte	0,463	1,000	0,732	0,269
Ghana	0,077	0,495	0,286	0,209
Mali	0,536	1,000	0,768	0,232
Nigeria	0,031	0,301	0,166	0,135
Sénégal	0,066	0,745	0,406	0,340
Soudan	0,288	1,000	0,644	0,356
Tanzanie	0,099	0,34	0,220	0,121
Tchad	0,207	1,000	0,604	0,397
Togo	0,364	0,751	0,558	0,194
Ouganda	0,04	0,682	0,361	0,321
Zambie	0,197	0,323	0,260	0,063
Zimbabwe	0,099	0,598	0,349	0,250

Source : Calculs de l'auteur

Sous la technologie VRS (rendements d'échelle variables), l'indice moyen annuel d'efficacité technique s'établit à un taux de 75,87% (voir tableau 3). On aurait pu réduire en moyenne de 24,13% les ressources utilisées pour le même niveau de production. Les résultats par pays montrent que la Tanzanie, la Zambie et le Zimbabwe (voir tableau 4) n'ont pas été techniquement efficaces sur toute la période d'étude. Les autres pays l'ont été au moins une fois. Nous constatons aussi que sous la technologie VRS, le nombre des pays déclarés efficaces est élevé.

**Tableau 3 – Statistiques des scores moyens annuels d'efficacité technique (1995-2009)**

Années	Min	Max	Moyenne	Ecart-type	CV (%)
1995	0,327	1,00	0,746	0,27	36,19
1996	0,353	1,00	0,797	0,236	29,61
1997	0,248	1,00	0,737	0,283	38,40
1998	0,26	1,00	0,721	0,296	41,05
1999	0,26	1,00	0,688	0,27	39,24
2000	0,318	1,00	0,708	0,234	33,05
2001	0,356	1,00	0,741	0,234	31,58
2002	0,4	1,00	0,773	0,234	30,27
2003	0,318	1,00	0,741	0,242	32,66
2004	0,389	1,00	0,815	0,216	26,50
2005	0,309	1,00	0,76	0,252	33,16
2006	0,311	1,00	0,765	0,247	32,29
2007	0,724	1,00	0,798	0,251	31,45
2008	0,356	1,00	0,812	0,243	29,93
2009	0,865	1,00	0,779	0,269	34,53
Moyenne			<b>0,7587</b>		

Source : Calculs de l'auteur

Le tableau suivant présente les résultats des scores d'efficacité par pays sous technologie VRS.

**Tableau 4 – Statistiques des scores moyens annuels d'efficacité technique (1995-2009)**

Pays	Min	Max	Moyenne	Ecart type
Afrique du Sud	0,288	1,000	0,644	0,356
Bénin	0,493	1,000	0,747	0,254
Burkina Faso	0,607	1,000	0,804	0,197
Cameroun	0,497	1,000	0,749	0,252
Cote d'Ivoire	0,498	1,000	0,749	0,251
Egypte	0,452	1,000	0,726	0,274
Ghana	0,591	1,000	0,796	0,205
Mali	0,621	1,000	0,811	0,190
Nigeria	0,068	1,000	0,534	0,466
Sénégal	0,662	1,000	0,831	0,169

Soudan	0,285	1,000	0,643	0,358
Tanzanie	0,154	0,597	0,376	0,222
Tchad	0,591	1,000	0,796	0,205
Togo	0,928	1,000	0,964	0,036
Ouganda	0,777	1,000	0,889	0,112
Zambie	0,49	0,944	0,717	0,227
Zimbabwe	0,352	0,720	0,536	0,184

Source : *Calculs de l'auteur*

Après avoir mesuré la frontière d'efficacité technique sous l'hypothèse des rendements d'échelle constants (efficacité technique totale) et la frontière d'efficacité sous l'hypothèse des rendements variables (efficacité technique pure) de la production de coton des différents pays constituant notre échantillon, nous déduisons une autre mesure qui est celle de l'efficacité d'échelle. Elle est mesurée par le rapport entre l'efficacité technique totale (CRS) et l'efficacité technique pure (VRS). Ces critères nous permettent de comparer la production de chaque pays par rapport aux autres et à ses performances passées.

La moyenne annuelle de l'efficacité technique totale s'établit à 47,54%, ce qui veut dire que si les pays africains avaient la possibilité de s'aligner sur la frontière de production, les potentiels gains de productivité à récupérer seraient de l'ordre de 52,46%. Du côté de l'efficacité technique pure, une meilleure gestion des ressources factorielles expliquerait pour 24,13% cette progression vers le benchmark. Si les structures productives s'adaptaient à leur taille optimale (efficacité d'échelle), on aurait pu gagner dans l'ordre de 37,34%.

#### 4.2.2. Les résultats du test de $\beta$ -convergence

Les résultats du test de  $\beta$ -convergence absolue sont présentés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5 – Résultats de la  $\beta$ -convergence des différentes formes d'efficacité**

Eléments	Coef. ( $\beta$ )	Robust Std-error ( $\beta$ )	t ( $\beta$ )	Vitesse de convergence $\Phi$ (%)	R <sup>2</sup>	Demi-vie $\tau$
Efficacité technique totale (rendements constants)	-0,0193	0,0035	-4,64*	1,98	0,283	32 ans
Efficacité technique pure (rendements variables)	-0,0281	0,0041	-6,81*	4,70	0,616	13 ans
Efficacité d'échelle	-0,0156	0,0033	-4,69*	2,31	0,346	30 ans

Source : Calculs de l'auteur à partir des données du CCIC et FAOSTAT.

Note : \* coefficient estimé significatif au seuil de 1%.

Le tableau montre que tous les coefficients sont négatifs et statistiquement significatifs au seuil de 1%. Le test d'hypothèse  $H_0 : \beta = 0$  contre  $H_1 : \beta > 0$  conduit à rejeter l'hypothèse nulle, par conséquent on conclut à un mouvement d'ensemble de convergence absolue vers la frontière de production.

Sous la technologie CRS, la régression de l'équation donne une vitesse de convergence annuelle assez faible soit 1,98% par an et une demi-vie de 32 ans. Ce qui veut dire qu'il faudrait 32 ans pour que les producteurs du coton africain réduisent de moitié les inefficiences techniques par rapport au benchmark. En adoptant la technologie VRS, l'estimation de l'équation donne une vitesse de rattrapage de 4,7% par an et une demi-vie de 13 ans. Il faudrait donc 13 ans pour éliminer les inefficacités techniques pures de moitié afin de tendre vers l'état stationnaire. Enfin, la régression sur les scores d'efficacité d'échelle donne une convergence significative. La vitesse de rattrapage est faible soit 2,31% par an et une demi-vie de 30 ans. En effet, les pays africains ont 30 ans pour réduire de moitié les inefficacités de taille afin de tendre vers la taille optimale unique.

Ainsi, toutes choses égales par ailleurs, la  $\beta$ -convergence en matière d'efficacité technique totale et donc de la productivité globale des facteurs s'explique en grande partie par la  $\beta$ -convergence des efficacités techniques pures.

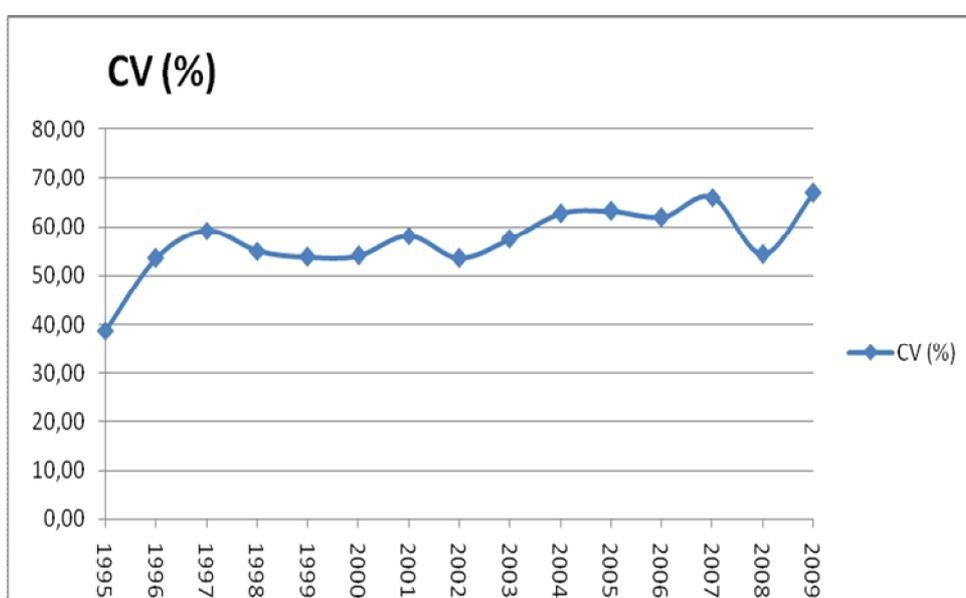
#### 4.2.3. Les résultats du test $\sigma$ -convergence

Le test de  $\sigma$ -convergence permet d'analyser l'évolution de la dispersion des niveaux de performances au cours du temps de l'ensemble de l'échantillon. Il

permet de faire ressortir des chocs éventuels sur le mouvement de convergence. L'hypothèse de  $\sigma$ -convergence des performances de l'ensemble de l'échantillon est retenue lorsque la dispersion diminue au fil du temps. Plusieurs procédures permettent de tester la  $\sigma$ -convergence. Nous retenons le coefficient de variation (CV) des scores d'efficacité pour le test de  $\sigma$ -convergence.

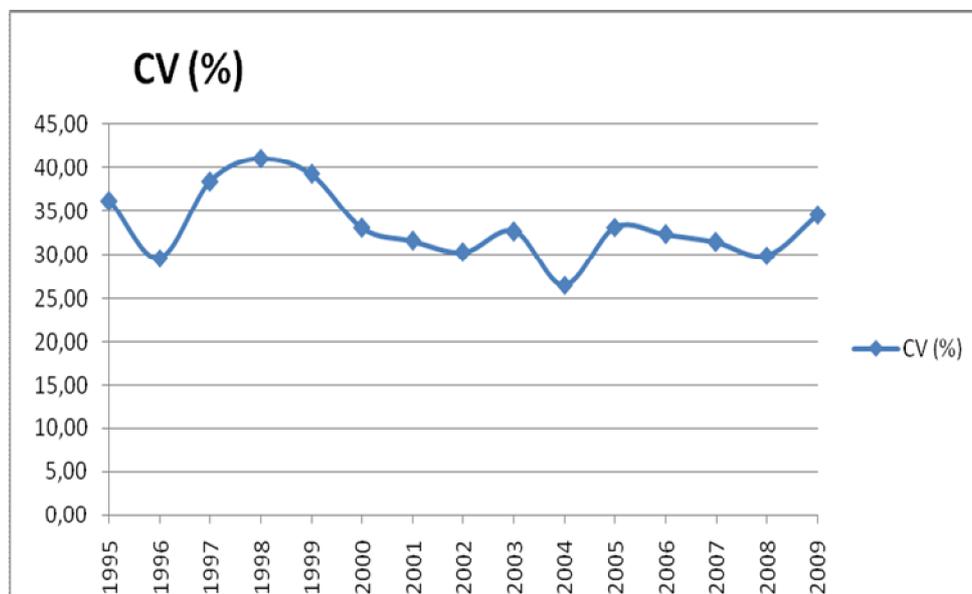
Nous présentons l'évolution des coefficients de variation sous la technologie (CRS).

**Graphique 1 – Evolution des disparités de 1995 à 2009 (CRS)**



Source : Calculs de l'auteur à partir des données du CCIC et FAOSTAT

L'évolution de cette courbe affiche une tendance à la baisse au cours de certaines périodes, ensuite les écarts se creusent. La série est marquée par une discontinuité structurelle entre (1995-1998, 1998-2002, 2002-2009) et il est difficile de déterminer avec exactitude quand le phénomène de  $\sigma$ -convergence s'est produit de façon continue. On assiste à des phénomènes de  $\sigma$ -convergence et de  $\sigma$ -divergence dus à des chocs exogènes spécifiques. Ces chocs aléatoires limitent considérablement la diminution de la dispersion, c'est ce qui explique la résistance à la  $\sigma$ -convergence des indicateurs d'efficacité, Boussemart J-P et Saidine, D (2005). L'évolution des coefficients de variation sous la technologie VRS est présentée sur le graphique ci-dessous :

**Graphique 2 – Evolution des disparités des scores de 1995 à 2009 (VRS)**

Source : Calculs de l'auteur à partir des données du CCIC et FAOSTAT

L'évolution de cette courbe donne le même constat que la technologie CRS. On observe une réduction des écarts au cours de certaines périodes, marquée par des variations et donc une discontinuité structurelle entre plusieurs périodes. La réduction de la dispersion des scores observés (1997-1999, 2000-2002, 2005-2008) n'est pas uniforme sur toute la période. On assiste à une évolution chaotique de la dispersion marquée par des périodes de  $\sigma$ -convergence et de  $\sigma$ -divergence. Des chocs extérieurs affectent terriblement la réduction des disparités pour toute la période d'étude.

De façon générale, nous pouvons conclure que ces phénomènes de  $\sigma$ -divergence constatés au cours de certaines périodes n'empêchent pas pour autant le phénomène de  $\beta$ -convergence des scores des productions moins efficaces vers leur état caractérisé par le benchmark formé des plus efficaces.

## 5. Conclusion

Il s'agit dans cet article de mesurer l'efficacité technique des pays producteurs de coton en Afrique dans un premier temps par la méthode Data Envelopment Analysis (DEA) et ensuite mesurer la convergence de l'efficacité technique à travers les concepts de  $\beta$ -convergence et de  $\sigma$ -convergence. L'échantillon retenu est composé de 17 pays. La période d'étude s'étend de 1995 à 2009.

Nos résultats donnent un score d'efficacité technique moyen annuel de 47,54% sous la technologie rendements d'échelle constants, ce qui veut dire que les ressources ont été abusement utilisées, une réduction de 52,46% des ressources nous donnera le même niveau de production. En rendements d'échelle variables, le score moyen annuel d'efficacité technique est de l'ordre de 75,87%, là aussi, les ressources auraient pu être réduites de 24,13% pour atteindre le même niveau de production. On en déduit un score moyen annuel d'efficacité d'échelle de 62,66%, en d'autres termes un gain de 37,34% aurait pu être récupéré si les structures productives s'adaptaient à leurs tailles optimales.

En ce qui concerne le test de  $\beta$ -convergence, les résultats de la régression sur les taux de croissance des scores d'efficacité (totale, pure et d'échelle) montrent globalement un mouvement de convergence absolue avec des faibles taux de vitesse de convergence. Les résultats de l'indicateur demi-vie donnent un long temps en termes d'années pour réduire de moitié les inefficacités de production. Ce mouvement de  $\beta$ -convergence d'efficacité totale est expliqué en grande partie par la convergence des efficacités techniques pures.

Pour analyser l'évolution de la dispersion des niveaux de performances au cours du temps de notre échantillon, le test de  $\sigma$ -convergence sous la technologie CRS appliqué sur les coefficients de variation donnent des phénomènes de  $\sigma$ -convergence et de  $\sigma$ -divergence. Ce qui peut s'expliquer par des chocs exogènes spécifiques au secteur cotonnier. On assiste au même constat sous technologie VRS, la réduction des écarts observés n'est pas uniforme sur toute la période. Bref, ce mouvement de  $\sigma$ -convergence observé par moment n'empêche pas pour autant la  $\beta$ -convergence de certaines productions moins efficaces vers l'équilibre stationnaire formé des productions efficaces.

Ces résultats appellent les instances dirigeantes des pays africains producteurs de coton à une prise de conscience et d'adopter de bonnes pratiques de gestion, de rationaliser l'utilisation des ressources productives dans la filière coton pour tendre vers l'efficacité recherchée. Cette efficacité sous-tendra la compétitivité de la filière coton sur le marché international.

### Références bibliographiques

- Akanni-honvo, A. (2003), « Intégration régionale, effets-frontières et convergence ou divergence des économies en développement », *Région et Développement* 17, 109-143.
- Badillo, P-Y., Paradi, J.C. (1999), *La méthode DEA : analyse des Performances*, Ed. Hermes Science.
- Banker, R. D., Charnes, A. et Cooper, W.W. (1984), « Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis », *Management Science* 30, 1078 –1092.

- Barro, R.J., Sala-I-Martin, X. (1991), « Convergence across states and regions » *Brooking Papers on Economic Activity* 1, 107-182.
- Barro, R.J., Sala-I-Martin, X., (1992), « Convergence », *Journal of Political Economy* 100 (2), 223-251.
- Barro, R.J., Sala-I-Martin, X., (1995), *Economic growth*, Ed. Mc Graw Hill, New York.
- Battese G.E.; Hassan, S. (1999), « Technical Efficiency of Cotton Farmers in the Vehari District of Punjab Pakistan », *Pakistan Journal of Applied Economics* 15(1 -2), 41-53.
- Boussemart, J.P, Saidine, D. (2005), « Convergence et performance des systèmes bancaires dans les pays de l'OCDE ». *L'actualité économique* 81 (4), 617-664.
- Boussemart, J-P et Blancard, S. (2006), « Productivité agricole et rattrapage technologique : le cas des exploitations de grandes cultures du Nord-Pas-de-Calais ». *Cahiers d'économie et sociologie rurale* 80, 5-28.
- Chakraborty K., Misra S., Johnson, P. (2002), « Cotton Farmer's Technical Efficiency: Stochastic and Nonstochastic Production Function Approaches », *Agricultural and Resource Economics Review* 31(2), 211-220.
- Charnes, A., Cooper, W.W. and Rhodes. (1978), « Measuring the Efficiency of Decision Making Units ». *European Journal of Operational Research* 2, 429-444.
- Coelli, T. (1998), « A Guide to DEAP Version 2.1: A Data Envelopment Analysis (Computer) Program », Centre for Efficiency and Productivity Analysis, Department of Econometrics, University of New England, Armidale, NSW 2351, Australia.
- Coelli, T., D.S. Prasada Rao and Battese G.E. (1998), « An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis ». *Kluwer Academic Publishers, Boston, Dordrecht, London*.
- Debreu, D. G. (1951), « The Coefficient of Resource Utilisation ». *Econometrica* 19, 273-292.
- Diana, K. F., Zepeda, L. (2002), « Efficiency of Small Landholders in Eastern Paraguay », *Journal of Agricultural and Resource Economics* 27(2), 554-572.
- Färe, R., Grosskopf S., Norris M., et Zhang Z. (1994), « Productivity Growth, Technical progress, and Efficiency Change in Industrialized Countries ». *American Economic Review* 84 (1), 66-83.
- Farrell, M. J. (1957), « The measurement of productive efficiency », *Journal of the Royal Statistical Society* 120, 253-82.
- Galor, O. (1996), « Heterogeneity and club convergence in growth models », Brown University.
- Gouse, M., Kirsten, J.K., Jenkens, L. (2003), « Bt Cotton in South Africa: Adoption and the impact Farm incomes amongst small-scale and large scale farmers », *Agrekon* 42 (1), 15-28.

- Greene, W.H., (1993), « *Econometric Analysis* ». *Second Ed. Macmillan, New York*.
- Guétat, I., Serranito, F. (2008), « Convergence des pays de la région MENA vers le niveau de revenu des pays du sud de l'Europe : un examen empirique », Document de recherche du CEPN N° 2008/17, Université de Paris 13, France.
- Hazard, E., (2005), *Négociations Commerciales Internationales et Réduction de la pauvreté : Le livre blanc sur le coton*. Etudes et Recherches, N°249 Enda éditions, Dakar, 2005.
- Henin, P-Y et Y. Le Pen (1995), « Les épisodes de la convergence européenne », *Revue économique*, 46, 667-677.
- Koopmans, T.C. (1951), *Activity analysis of production and allocation*. Cowles Commission of Research in Economics, Monograph N°13, Wiley, New York.
- Nkamleu, G.B. (2004b), « Productivity Growth, Technical Progress and Efficiency Change in African Agriculture », *African Development Review* 16 (1), 203-222.
- Nyemeck, B.J., Sylla, K., Diarra, I., Nyambi, G. (2003), « Factors Affecting Technical Efficiency among Coffee Farmers in Côte d'Ivoire: Evidence from the Centre West Region », *R&D Management* 15 (1), 66-76.
- Lovell, C.A.K. (1993), « Production frontiers and productive efficiency: the measurement of productive efficiency », *Oxford University Press*, New York.
- Quah, D. (1993), « Galton's fallacy and tests of the convergence hypothesis », *CEPR Discussion Paper*, N°820.
- Shafiq M.; Rehman T. (2000), « The extent of resource use inefficiencies in cotton production in Pakistan's Punjab: an application of Data Envelopment Analysis », *Agricultural Economics* 22, 321-330.
- Seiford, L.M. and Thrall, R.M. (1990), « Recent Developments in DEA: The Mathematical Programming Approach to Frontier Analysis ». *Journal of Econometrics* 46, 7-38.
- Seiford, L.M (1996), « Data Envelopment Analysis: The evolution of State of the Art (1978-1995) », *Journal of Productivity Analysis* 7, 99-137.
- Traoré, F., (2010), *Les aides américaines et européennes au coton : impacts sur le Marché international et conséquences pour l'économie malienne*, Thèse de doctorat, Université d'Auvergne, Clermont Ferrand 1, 226 p.