



**Bureau
d'économie
théorique
et appliquée
(BETA)**
UMR 7522

Documents de travail

« Consommation d'énergie et croissance économique en Afrique subsaharienne »

Auteurs

Florian Grosset, Phu Nguyen-Van

Document de Travail n° 2015 – 29

Décembre 2015

**Faculté des sciences
économiques et de
gestion**

Pôle européen de gestion et
d'économie (PEGE)
61 avenue de la Forêt Noire
F-67085 Strasbourg Cedex

Secrétariat du BETA

Géraldine Del Fabbro
Tél. : (33) 03 68 85 20 69
Fax : (33) 03 68 85 20 70
g.delfabbro @unistra.fr
www.beta-umr7522.fr



Consommation d'énergie et croissance économique en Afrique subsaharienne

Florian GROSSET ^a et Phu NGUYEN-VAN ^{b,*1}

^a *Paris School of Economics*

^b *BETA, CNRS et Université de Strasbourg*

Résumé

Cet article étudie la relation entre consommation d'énergie par habitant et revenu par habitant, ainsi que les déterminants de cette relation, sur un échantillon de données de panel de 29 pays d'Afrique subsaharienne observés sur la période 1980-2011. Notre spécificité est la prise en compte explicite de l'hétérogénéité entre pays à l'aide d'un modèle de données de panel à coefficients hétérogènes. Les résultats montrent que la relation énergie-revenu est effectivement très hétérogène, et que la courbe de Kuznets environnementale existe dans seulement 4 pays. Cette hétérogénéité est également observée dans les effets des variables affectant cette relation.

Mots-clés : Consommation d'énergie, courbe de Kuznets environnementale, modèle à coefficients hétérogènes, données de panel

Classification JEL : C23 ; O55 ; Q40

Energy consumption and economic growth in Sub-Saharan Africa

Abstract

This paper examines the relationship between energy consumption per capita and income per capita and the determinants of this relationship using a panel data sample of 29 Sub-Saharan African countries over the period 1980-2011. We explicitly account for country heterogeneity by using a heterogenous coefficients model. The findings suggest that the energy-income nexus is very heterogenous and an environmental Kuznets curve is found for only 4 countries. This heterogeneity is also underlined regarding the effects of variables that influence this relationship.

Keywords: Energy consumption, environmental Kuznets curve, heterogenous coefficients model, panel data

JEL Classification: C23 ; O55 ; Q40

¹ Auteur de correspondance : P. Nguyen-Van, BETA, CNRS & Université de Strasbourg, 61 avenue de la Forêt Noire, 67000 Strasbourg, France. E-mail : nguyen-van@unistra.fr.

Introduction

« Garantir l'accès de tous à des services énergétiques fiables, durables, modernes et abordables » (PNUD, 2015) figure parmi les dix-sept Objectifs de Développement Durable entérinés en septembre 2015 par l'Assemblée Générale des Nations-Unies pour succéder aux Objectifs du Millénaire pour le Développement. L'Afrique subsaharienne est particulièrement concernée : près de la moitié de sa population vit sans accès à l'électricité (AIE, 2014, pp. 30-34), tandis que les énergies combustibles, non-commerciales et non-renouvelables de type biomasse représentent près de 80% de la consommation totale (Kebede et al., 2010). La biomasse comporte de nombreux désavantages : elle a une faible efficacité énergétique, nécessite du temps à collecter, et est source de problèmes sanitaires majeurs (AIE, 2014, p. 29). Cependant, un accroissement de la consommation d'énergies commerciales non-renouvelables – telles que le charbon ou le pétrole – entraînerait une hausse de la pollution et une aggravation du changement climatique. Permettre le développement économique de ces pays tout en limitant leur impact sur le climat, selon le principe du développement durable, est un enjeu majeur des négociations encadrées par la Convention Cadre des Nations-Unies sur les Changements Climatiques. Il devient alors nécessaire d'explorer le lien entre consommation d'énergie et croissance économique, ainsi que ses déterminants potentiels.

Pour cela, nous nous intéressons à la consommation d'énergie des pays de l'Afrique subsaharienne en nous fondant sur l'hypothèse de la Courbe de Kuznets Environnementale (CKE), introduite notamment par Grossman et Krueger (1993, 1995). Cette hypothèse postule une relation en U inversée entre des indicateurs environnementaux et le revenu par habitant. Théoriquement, trois mécanismes peuvent expliquer cette forme. Le premier est lié à la structure des économies considérées : l'agriculture et le secteur tertiaire polluent moins que l'industrie, la CKE peut résulter de la transition d'une économie à dominante agricole à une économie basée sur les services, en passant par une économie énergivore essentiellement manufacturière (Panayotou, 1993 ; Stern, 2004). Deuxièmement, le progrès technique peut favoriser cette transition économique, tout en accélérant la diffusion de techniques de production moins polluantes (Stern, 2004). Enfin, une augmentation du revenu par habitant peut être liée à un changement des préférences des individus, ainsi que de la réglementation, augmentant la demande pour des biens et services respectueux de l'environnement (partie décroissante de la courbe). Comme le soulignent Arrow et al. (1995), l'existence d'une CKE ne doit pas laisser croire que l'évolution se fait de manière mécanique ; l'existence de politiques publiques appropriées est nécessaire pour sa réalisation.

L'Afrique subsaharienne comporte des pays fortement hétérogènes, sur le plan énergétique, socio-économique et institutionnel. Des pays parmi les plus pauvres de la planète côtoient par exemple l'Afrique du Sud ou les Seychelles, qui possèdent un niveau de vie parmi les plus élevés de la région. En particulier, l'Afrique du Sud possède une efficacité énergétique relativement élevée (Kiviyiro et Arminen, 2014). Il concentre l'essentiel de la production subsaharienne de charbon, tandis que les réserves de pétrole et de gaz se situent principalement dans les régions de l'Ouest africain (Nigeria, Gabon, Angola). L'Est de la zone ne produit presque pas de combustibles fossiles mais on y observe une consommation moyenne d'énergie par habitant plus élevée que dans les pays de l'Ouest.

Des études existantes sur la CKE ont souligné l'hétérogénéité des pays. Par exemple, List et Gallet (1999) ainsi que Dijkgraaf et Vollebergh (2005) ont montré que la relation entre les émissions de CO₂ et le revenu par habitant varie d'un pays à l'autre, et qu'une étude fondée sur le comportement moyen des données pourrait conduire à des conclusions biaisées, voire erronées.

Dans cet article, nous cherchons à vérifier la présence ou l'absence d'une CKE dans le cas de l'Afrique subsaharienne, et à étudier les facteurs pouvant affecter cette relation. Notre analyse tient compte de

l'hétérogénéité des pays de la zone en utilisant un modèle de données de panel à coefficients hétérogènes. Les résultats montrent effectivement que la relation entre consommation d'énergie et revenu est très hétérogène : seulement quatre pays ont une relation de type CKE, un seul pays a une relation croissante, trois pays ont une relation de forme U, la grande majorité restante (14 pays) n'ayant aucune relation significative. Cette hétérogénéité concerne également les déterminants de la relation entre consommation d'énergie et revenu (part de l'investissement direct étranger dans le PIB, ouverture commerciale, part de l'industrie dans le PIB, part de la population urbaine dans la population totale, tendance temporelle).

Le reste de l'article est organisé de la manière suivante. La Section 2 présente la littérature existante sur la CKE relative à la consommation d'énergie et discute les déterminants potentiels de cette relation. La Section 3 présente les données utilisées dans notre analyse. La Section 4 décrit le modèle économétrique qui tient compte de l'hétérogénéité des pays. La Section 5 discute les résultats d'estimation. La Section 6 présente la conclusion.

Relation entre consommation d'énergie et revenu et ses déterminants potentiels

De nombreuses analyses du lien entre croissance économique et consommation d'énergie (ajoutant parfois les émissions de CO₂) pour des pays particuliers d'Afrique subsaharienne ont été réalisées au cours des dernières années, utilisant en majorité des techniques de séries temporelles pour étudier la cointégration des variables et la direction de la causalité. En observant les résultats de chaque article séparément (voir, par exemple, Eggoh, 2011, pour un survol de littérature), une hétérogénéité apparaît : l'existence ou non d'un lien de causalité entre les deux variables, et le cas échéant sa direction, varie en fonction des pays, y compris lorsqu'ils sont étudiés avec la même méthodologie au sein d'un article. Par exemple, Mensah (2014) montre que la consommation d'énergie détermine de manière unidirectionnelle la croissance économique au Kenya, alors que cette relation est vraie dans le sens opposé pour le Ghana.

Une certaine prudence s'impose néanmoins pour l'interprétation des résultats, différents auteurs obtenant des causalités au sens de Granger de sens contraires pour un même pays. Par exemple, concernant la République du Congo, Kiviyiro et Arminen (2014) trouvent un lien allant de la consommation d'énergie vers la croissance économique, tandis qu'Esso (2010) et Odhiambo (2010) identifient un lien de sens inverse. De même pour le Kenya, Mensah (2014) et Odhiambo (2010) indiquent un lien de la consommation d'énergie vers la croissance économique, alors Kiviyiro et Arminen (2014) et Esso (2010) n'en trouvent pas de significatif. Il semble donc important, en gardant à l'esprit l'hétérogénéité entre les pays, de réaliser une étude avec une méthodologie unique pour l'ensemble de la zone. L'analyse de Kebede et al. (2010) sur vingt pays va dans ce sens, mais ils autorisent seulement une hétérogénéité entre régions (Est, Ouest, Sud et Centre) et non pas entre pays, dissimulant potentiellement des effets hétérogènes au sein de ces groupes. Eggoh et al. (2011) montrent eux une hétérogénéité des comportements entre des pays exportateurs nets d'énergie et importateurs nets, avec un impact de la croissance sur la consommation d'énergie plus important pour les seconds.

Les études du lien causal entre croissance économique et consommation d'énergie se multiplient, et se concentrent souvent uniquement sur cette relation (Menyah et Wolde-Rufael, 2010 ; Ouedrago, 2013 ; Odhiambo, 2010 ; Dogan, 2014 ; Kahsai et al., 2012), sans chercher à comprendre ses déterminants. Dans le cas contraire, un faible nombre de variables est pris en compte. Ainsi, Kiviyiro et Arminen (2014) intègrent uniquement les investissements directs à l'étranger (IDE) et ne trouvent pas d'impact significatif sur la consommation d'énergie. Kebede et al. (2010) s'intéressent à la structure de l'économie : ils trouvent une augmentation de la demande d'énergie liée à une expansion de la part de l'agriculture dans le PIB, et une relation inverse pour la part de l'industrie (une augmentation de 10% du PIB industriel réduit la consommation d'énergie de 1%). Enfin, Jebli et al. (2014) intègrent le commerce dans une étude de panel

de 24 pays, et trouvent un lien de causalité du commerce (exportations ou importations) vers la consommation d'énergies renouvelables.

Dans un autre registre, plusieurs auteurs se sont intéressés à la CKE pour la consommation d'énergie (Suri et Chapman, 1998 ; Agras et Chapman, 1999 ; Nguyen-Van, 2010), mais, à notre connaissance, seule l'étude de Gao et Zhang (2014) porte sur l'existence d'une CKE énergétique pour l'Afrique subsaharienne en utilisant des données de panel. Les auteurs ont montré que cette relation existe pour les émissions de CO₂. Cependant, leur étude se concentre uniquement sur la consommation d'électricité, et pas sur la consommation totale d'énergie.

La littérature sur la CKE a souligné les facteurs pouvant influencer la relation entre des indicateurs environnementaux et le revenu. Bien que la plupart des études existantes portent sur des indicateurs autres que la consommation d'énergie (émissions de CO₂, émissions de SO₂, déforestation, etc.), nous pensons que les déterminants qui y sont étudiés peuvent jouer un rôle important sur la relation énergie-revenu. Le premier facteur important correspond à l'intégration au commerce international. En effet, une intégration croissante au marché mondial, reflétée par le volume d'investissements directs étrangers (IDE) et le degré d'ouverture commerciale, peut avoir un effet néfaste sur l'environnement (une plus grande consommation d'énergie) selon l'hypothèse de havre à pollution : les entreprises, surtout les multinationales, délocalisent leur production polluante dans les pays en développement où les normes environnementales sont moins strictes que dans les pays développés (voir Copeland et Taylor, 2003 ; Eskeland et Harrison, 2003 ; He, 2006, entre autres). Une intégration croissante au marché mondiale peut produire un effet bénéfique sur la qualité de l'environnement pour les pays riches. Néanmoins, cet effet peut être néfaste pour les pays pauvres puisque les activités de production y demandent plus de ressources naturelles et d'énergies (voir, e.g., Copeland et Taylor, 2004 ; Van Alstine et Neumayer, 2010).

L'impact de la structure de l'économie, notamment de l'industrialisation, sur l'environnement a été aussi mis en avant comme un facteur important puisque la production industrielle est polluante et très énergivore (Panayotou, 1993 ; Stern, 2004). En dehors de l'indicateur habituel, le PIB par habitant, d'autres indicateurs comme la part de l'industrie dans l'économie (en pourcentage du PIB) ont été utilisés. Wang et al. (2011) ont montré que l'industrialisation accroît les émissions de CO₂ en Chine. Le phénomène d'urbanisation peut aussi dégrader la qualité de l'environnement. Une urbanisation rapide et non maîtrisée augmente la consommation des ressources naturelles et génère de la pollution (voir, par exemple, Martinez-Zarzoso et Maruotti, 2011 ; Wang et al., 2011). L'effet de la pression démographique a été mis en évidence par Cole et Neumayer (2004) dans le cas des émissions de CO₂ et de SO₂, et par Nguyen-Van et Azomahou (2007) dans le cas de la déforestation.

Nous allons voir ci-dessous que ces facteurs sont très variables d'un pays à l'autre au sein de l'Afrique subsaharienne. Il serait intéressant de les prendre en compte, pays par pays, dans l'analyse de l'hypothèse CKE afin de pouvoir fournir des recommandations politiques pertinentes.

Données

Les données sur les pays de l'Afrique subsaharienne sont obtenues à partir de la base *World Development Indicators* de la Banque mondiale. La consommation d'énergie par habitant correspond à la consommation totale des énergies primaires, exprimée en kilo équivalent pétrole. Cette série est disponible à partir de 1960. Pour le revenu par habitant, nous utilisons la série PIB par habitant mesuré en parité du pouvoir d'achat (PPA) en mille dollars internationaux et à prix constants en 2005. Cette série est disponible pour la période 1980-2011. L'utilisation conjointe de ces deux séries nous donne un échantillon de base qui est un

échantillon de panel non cylindré avec au total 701 observations, pour 29 pays africains subsahariens observés sur la période 1980-2011.²

Nous intégrons en suite les séries sur le flux net d'entrée de l'investissement direct étranger (IDE, exprimé en pourcentage du PIB), la population urbaine (en % population totale), le degré d'ouverture commerciale (% PIB) ainsi que la part de l'industrie dans l'économie (% PIB). L'utilisation de ces variables réduit la taille de l'échantillon à cause des observations manquantes. L'échantillon final se réduit à 22 pays pour 639 observations au total.

Le tableau 1 présente les statistiques descriptives des variables utilisées dans notre étude. Nous remarquons que notre échantillon présente une grande hétérogénéité dans les variables. En particulier, la consommation d'énergie par habitant a une valeur moyenne de 607.31 kep et varie fortement (son écart-type est égal à 557.25) entre 42.99 kep (Comores, en 1990) et 3103.03 kep (Seychelles, en 2004). Le revenu par habitant, dont la moyenne s'établit à 3178 dollars, varie aussi fortement entre 247.92 dollars (République démocratique du Congo, en 2001) et 21026 dollars (Seychelles, en 2007).

Pour illustrer cette grande hétérogénéité entre pays, nous présentons dans les Figures 1 et 2 le nuage de points de la relation entre consommation d'énergie par habitant et PIB par habitant pour certains pays dans notre échantillon (sans regarder les autres facteurs). Les graphiques peuvent nous donner quelques renseignements intéressants. Par exemple, nous pouvons observer une relation stable pour le Botswana, une relation croissante pour le Gabon, Maurice et le Sénégal. La relation est en U inversée pour la Zambie, en U pour la Côte d'Ivoire alors que pour le Togo et l'Afrique du Sud cette relation n'est pas claire.

Pour les autres séries, nous retrouvons la même caractéristique, à savoir une grande diversité des situations parmi les pays de notre échantillon. Par exemple, pour la série investissement direct étranger (IDE), qui reflète le ratio entre l'afflux net des investissements étrangers et le PIB, les valeurs varient entre -8.59% (Gabon, en 1996) et 40.17% (Angola, en 1999). L'ouverture commerciale présente le même phénomène avec un taux variant de 6.32% (Ghana en 1982) à 184.90% (Seychelles, en 2006) du PIB. Enfin, la part de l'industrie dans le PIB a une moyenne légèrement supérieure à 29% mais varie de 6.3% (Ethiopie en 1992) à plus de 77% (République du Congo en 2008). Il est nécessaire de rester prudent en interprétant cet indicateur car il comprend non seulement les industries manufacturières, très consommatrices d'énergie, mais aussi d'autres industries moins énergivores (comme l'exploitation minière, etc.). La raison pour laquelle nous préférons ne pas utiliser la part des industries manufacturières est que cette série contient beaucoup de données manquantes, ce qui peut réduire considérablement la taille de l'échantillon.³ Concernant la population urbaine, la situation varie d'un pays à l'autre, l'échantillon recouvrant des pays faiblement urbanisés comme l'Ethiopie - dont la population urbaine ne correspond qu'à 10.61% de la population totale en 1981 - et des pays fortement urbanisés comme le Gabon, avec 86.05% de la population totale vivant en ville (en 2011).

² Les pays inclus dans l'échantillon sont : Angola, Bénin, Botswana, Cap Vert, Cameroun, Comores, République démocratique du Congo, République du Congo, Côte d'Ivoire, Djibouti, Erythrée, Ethiopie, Gabon, Gambie, Ghana, Guinée-Bissau, Kenya, Maurice, Mozambique, Namibie, Nigeria, Sénégal, Seychelles, Afrique du Sud, Soudan, Swaziland, Tanzanie, Togo, et Zambie.

³ Nous verrons par la suite que notre analyse qui tient compte de l'hétérogénéité entre pays, permet de comprendre mieux l'effet de la structure de l'économie sur le CKE même en utilisant la part de l'industrie dans son ensemble au lieu de la part des industries manufacturières.

Tableau 1 : Statistiques descriptives

Variable	Obs.	Moyenne	Ecart-type	Min.	Max
Consommation d'énergie par habitant (kep)	701	607.31	557.25	42.99	3103.03
PIB par habitant (mille dollars PPA, 2005)	701	3.18	3.83	0.25	21.03
Investissement direct étranger (%PIB)	682	2.70	4.35	-8.59	40.17
Ouverture commerciale (%PIB)	698	70.66	33.19	6.32	184.90
Industrie (% PIB)	688	29.62	14.77	6.30	77.41
Population urbaine (% population totale)	701	37.50	14.71	10.61	86.05

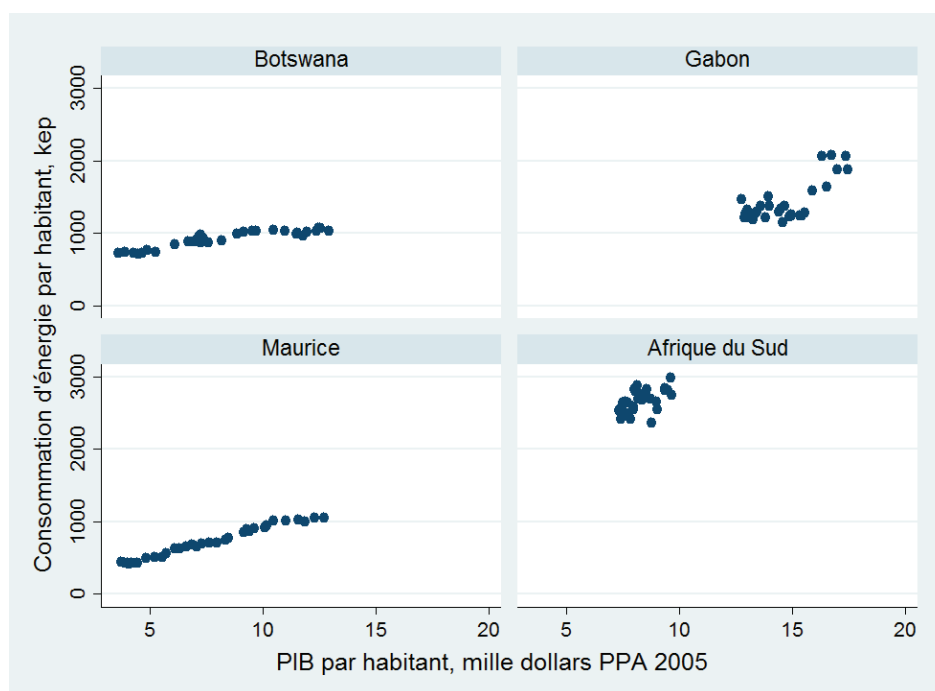


Figure 1 : Quelques profils de la relation entre consommation d'énergie par habitant (kilo équivalent pétrole) et revenu par habitant (mille dollars, PPA 2005).

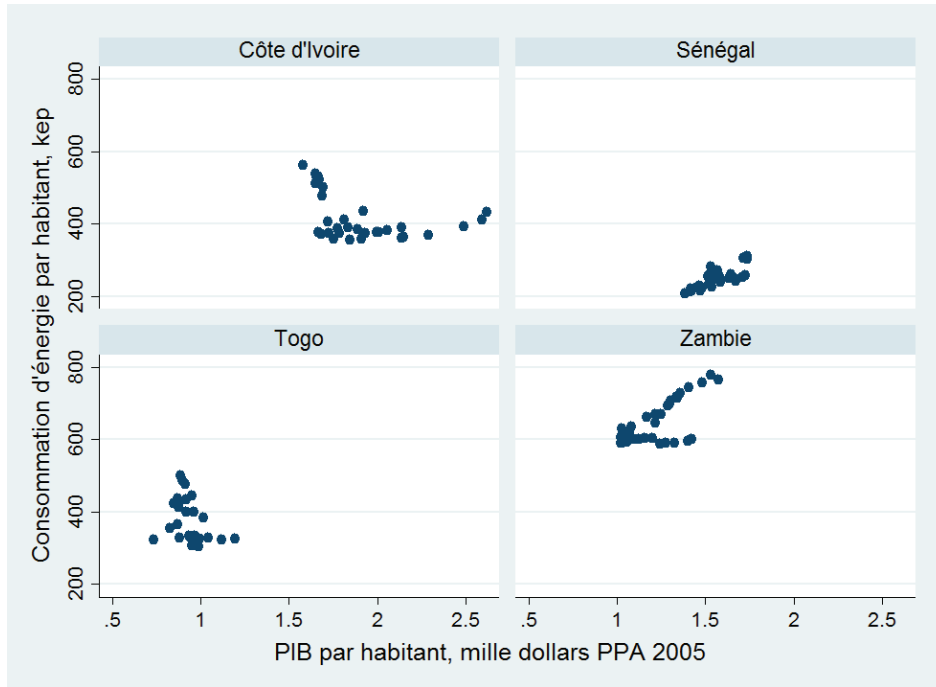


Figure 2 : Quelques profils de la relation entre consommation d'énergie par habitant (kilo équivalent pétrole) et revenu par habitant (mille dollars, PPA 2005).

Modélisation économétrique

Compte tenu de notre discussion relative à l'hétérogénéité entre pays des sections précédentes, nous proposons le modèle de régression suivant :

$$y_{it} = x'_{it}\beta_i + u_{it}$$

avec

$$\begin{aligned} u_{it} &= \alpha_{1i} + \gamma_i f_t + \varepsilon_{it} \\ x_{it} &= \alpha_{2i} + \theta_i f_t + \lambda_i g_t + \xi_{it}. \end{aligned}$$

Notons que y_{it} représente la consommation d'énergie par habitant (en kilo équivalent pétrole) du pays i ($i = 1, 2, \dots, N$) à l'année t ($t = 1, 2, \dots, T$). Sont inclus dans x_{it} l'ensemble des variables explicatives comme le revenu par habitant (en mille dollars en PPA 2005), le degré d'ouverture commerciale (% PIB), la part de l'investissement direct étranger dans le PIB, la part de l'industrie dans l'économie (% PIB), la part de la population urbaine dans la population totale. Nous introduisons également dans x_{it} la tendance temporelle, propre à chaque pays, qui représente des facteurs comme le progrès technique autonome, les cycles économiques, ou des politiques conjoncturelles. Le vecteur des paramètres β_i est spécifique à chaque pays, ce qui permet de caractériser l'hétérogénéité entre pays dans la relation entre variables.

Le résidu de la régression u_{it} est composé de trois termes : un terme représentant les effets spécifiques de pays (invariant dans le temps) α_{1i} , un facteur commun temporel non observable f_t et une erreur standard ε_{it} (ou bruit blanc). La spécification du modèle signifie aussi que les régresseurs x_{it} peuvent être caractérisés par un terme spécifique aux pays α_{2i} , des facteurs communs temporels non observables f_t et g_t , et un terme aléatoire standard ξ_{it} . Notre modèle permet de prendre en compte la dépendance transversale dans les données de panel (*cross-sectional dependence*). Notons aussi que les facteurs f_t et g_t

peuvent être linéaires, non linéaires et non stationnaires, ce qui montre que le modèle est très flexible et permet même de travailler avec des variables non stationnaires.

Ce modèle peut être estimé par la méthode proposée par Pesaran (2006), ou celle proposée par Eberhardt et Teal (2010) (voir aussi Eberhardt, 2012).

Résultats

Les résultats d'estimation sont présentés dans les Tableaux 2 et 3. Les moyennes des coefficients sont présentées dans le Tableau 2. Les spécifications (1) et (2) correspondent au modèle simple où la consommation d'énergie par habitant est régressée uniquement sur le revenu par habitant (termes linéaire et quadratique). La première spécification est estimée selon la méthode de Pesaran (2006) alors que la deuxième est effectuée avec celle de Eberhardt et Teal (2010). On remarque que le modèle (1) a une meilleure performance que le modèle (2) puisqu'il donne une valeur RMSE (*root mean square error*) plus faible (31.612 versus 32.304). La spécification (1) indique en moyenne une relation croissante entre consommation d'énergie et revenu (seul le terme linéaire du PIB par habitant est significatif), contredisant l'hypothèse d'une courbe de Kuznets environnementale pour le cas de l'Afrique subsaharienne.

Les spécifications (1) et (2) correspondent à une relation non conditionnelle qui reflète le comportement moyen des données et qui ne tient pas compte des facteurs pouvant influencer la CKE comme la structure de l'économie, l'intégration au commerce international, l'urbanisation, etc. Les spécifications (3) et (4) proposent d'inclure ces facteurs pour mieux refléter la diversité des pays. Elles sont respectivement estimées par les méthodes de Pesaran (2006) et d'Eberhardt et Teal (2010). L'échantillon utilisé dans les estimations se réduit ainsi à 22 pays pour 639 observations au total. De nouveau, nous retrouvons ici le résultat selon lequel l'estimation par la méthode de Pesaran (2006) donne une meilleure performance que celle par la méthode d'Eberhardt et Teal (2010) par rapport au critère RMSE (17.705 versus 23.137). La spécification (3) est aussi de loin la meilleure puisque la valeur RMSE est la plus faible parmi les quatre spécifications considérées. Elle indique également que la relation entre consommation d'énergie et revenu est en moyenne de type croissant (seul le terme linéaire du PIB par habitant est significatif). Les valeurs moyennes des autres variables ne sont pas significatives.

Les résultats présentés dans le Tableau 2 ne concernent que le comportement moyen de l'échantillon, qui peut cacher une diversité entre pays. Pour plus de détails, nous présentons dans le Tableau 3 les résultats d'estimation, pays par pays, pour le modèle préféré selon le critère RMSE, i.e. le modèle (3).

Nous observons que, sur les 22 pays inclus dans l'estimation, 18 pays n'ont pas de relation significative entre consommation d'énergie par habitant et PIB par habitant, 4 pays ont une relation de type CKE (Cameroun, République démocratique du Congo, Maurice et Zambie), 3 pays ont une relation en U (Angola, Côte d'Ivoire et Ghana) et 1 pays a une relation croissante (Tanzanie). Pour les quatre pays ayant une CKE, le point de retournement se trouve à l'intérieur de l'échantillon, sauf Maurice qui a un point de retournement se trouvant en à peine en dehors de l'échantillon (i.e. point de retournement = 13.58, plus élevé que la valeur maximale observée, 12.74).

Tableau 2 : Résultats d'estimation, coefficients moyens

Spécification	(1)	(2)	(3)	(4)
PIB par habitant	151.303** (61.668)	174.729** (74.270)	237.377** (117.801)	-63.608 (119.286)
PIB par habitant, carré	-16.113 (19.112)	-9.964 (23.430)	-56.780 (39.761)	5.992 (29.408)
Tendance	-1.031 (1.121)	-0.161 (1.081)	-1.528 (4.708)	-0.247 (1.919)
Invest. direct étranger (% PIB)	-	-	0.134 (0.386)	-0.205 (0.489)
Ouverture commerciale (% PIB)	-	-	-0.100 (0.164)	0.027 (0.158)
Industrie (% PIB)	-	-	-0.479 (0.589)	-1.451* (0.765)
Population urbaine (% pop. totale)	-	-	-4.344 (6.999)	-6.163 (5.876)
Constante	-30.823 (136.322)	349.303** (78.056)	49.156 (202.990)	486.221** (219.536)
Observations	701	666	639	639
Pays	29	22	22	22
RMSE	31.616	32.304	17.705	23.137
# Tendances individuelles significatives (% nombre de pays)	8 (0.276)	12 (0.545)	8 (0.364)	7 (0.318)

Notes. Les écarts-types sont entre parenthèses. Seuils de significativité : * $p < 0.10$, ** $p < 0.05$.

Tableau 3 : Résultats d'estimation, pays par pays

Pays	PIB par hab.	PIB par hab., carré	Tendance	IDE	Ouv. com.	Indust.	Pop. urbaine	Const. (x1000)	CKE
Angola	-78.70**	11.70**	-72.83**	0.91*	-0.12	-0.31	104.22**	-1.44*	U
Bénin	1269.88	-558.26	-4.67	-6.99**	-1.80*	2.41	10.05	-0.39	--
Botswana	98.38	-2.21	-16.94	-2.41	-2.52*	0.09	3.76	0.42	--
Cameroun	444.53**	-92.84**	-5.55	1.11	-0.59	2.57**	4.98	-0.07	2.39
Congo R.D.	262.27**	-171.27**	11.40**	-0.52	0.06	0.33*	-25.80**	0.82**	0.77
Congo R.	202.72	-18.05	7.05	0.22	-0.17	-0.65	-21.35	0.11	--
Côte d'Ivoire	-1364.02**	329.86**	13.88	2.99	3.25**	7.20	-37.39	1.36	U
Ethiopie	129.67	-120.38	-10.45	0.84*	-0.24	-0.41	54.77	-0.32	--
Gabon	-74.17	0.15	28.62	-3.87	1.98	-4.10	-4.06	5.08**	--
Ghana	-1208.17**	410.81**	-59.27**	0.88	-0.08	0.41	91.02**	-1.56**	U
Kenya	330.41	-64.37	-6.88**	1.57	-0.60**	-4.07	21.14**	-0.27	--
Maurice	343.15**	-12.63**	-33.96**	-6.19	-0.73	-7.32	-45.82	0.58	13.58
Mozambique	77.50	-26.84	-0.95	0.17	-0.03	0.65	-12.32**	0.45**	--
Namibie	-258.12	25.56	37.27	1.20	0.60	-0.62	-24.45	1.67	--
Nigeria	380.22	-119.25	-8.52	-1.25	-0.02	0.24	18.35	-0.20	--
Sénégal	1537.51	-485.62	4.91	-0.09	-0.66	-1.87	-16.50	-0.64	--
Afrique du Sud	-47.44	23.31	203.37**	7.93	0.37	-16.45	-448.11**	22.86**	--
Soudan	-215.90	68.26	-2.08	1.11	1.49**	-4.09**	-7.63*	0.64**	--
Tanzanie	614.49**	-244.16	4.90	-0.38	0.25	1.50**	-14.28	-0.20	C
Togo	1153.94	-516.38	-112.29**	-0.02	-0.35	-0.97	227.64**	-6.65**	--
Zambie	952.11**	-335.73**	-9.36**	-1.06	-0.08	-1.22	-2.98	-0.14	1.42

Notes. Les résultats pour l'Erythrée sont manquants car les données sont insuffisantes. CKE : la courbe de Kuznets environnementale (courbe en U inversée), si elle existe, a le point de retournement donné par $\bar{x} = -\beta_1/2\beta_2$ où β_1 et β_2 correspondent respectivement aux coefficients du terme linéaire et du terme quadratique du PIB par habitant. C et U signifient respectivement la relation croissante et la relation en U. Seuils de significativité : * $p < 0.10$, ** $p < 0.05$.

Concernant les autres variables explicatives, les résultats sont également hétérogènes. Le tableau 2 rapporte le nombre de tendances temporelles individuelles qui sont significatives. Nous observons que pour le modèle préféré dans (3), plus d'un tiers de pays dans l'échantillon (8 pays) ont chacun une tendance temporelle propre significative. Plus précisément, l'Angola, le Ghana, le Kenya, Maurice, le Togo et la Zambie ont chacun une tendance significativement négative, reflétant ainsi une réduction de la consommation d'énergie dans le temps, toutes choses égales par ailleurs. Ce résultat peut témoigner d'un certain progrès technique autonome permettant des économies d'énergie, d'une certaine efficacité des actions publiques, ou bien d'un effet bénéfique de la conjoncture. En revanche, la situation est inverse dans la République démocratique du Congo et en Afrique du Sud où la tendance est à la hausse de la consommation d'énergie.

Concernant les variables représentant l'intégration commerciale, l'investissement direct étranger et l'ouverture commerciale, nous trouvons que l'IDE a un effet bénéfique, i.e. l'augmentation de l'IDE réduit la consommation d'énergie, seulement pour le Bénin, alors que cet effet joue au sens inverse pour l'Éthiopie. Par ailleurs, l'ouverture commerciale permet de réduire la consommation d'énergie au Bénin, au Botswana, et au Kenya, signifiant que l'intégration commerciale serait bénéfique à ces pays. En revanche, l'ouverture commerciale accroît la consommation d'énergie en Côte d'Ivoire et au Soudan, indiquant ainsi l'existence d'un processus de havre de pollution pour ces pays.

Une augmentation de la part de l'industrie dans l'économie peut aussi conduire à une hausse de la consommation d'énergie au Cameroun, en République démocratique du Congo et en Tanzanie. Pour le Soudan, nous observons un effet négatif. Ce dernier résultat n'est en réalité pas contre intuitif puisque les industries manufacturières (relativement plus énergivores que d'autres activités industrielles) prennent une faible part de l'ensemble des activités industrielles de ce pays. En effet, si l'ensemble des industries prend plus de 27% du PIB soudanais en 2011, ses activités manufacturières ne correspondent qu'à 6.3% du PIB.

Enfin, pour le dernier déterminant, la part de la population urbaine dans la population totale, le résultat est très hétérogène et difficilement interprétable. Nous trouvons que l'urbanisation peut réduire la consommation d'énergie en République démocratique du Congo, au Mozambique, en Afrique du Sud et au Soudan, ce qui semble contre-intuitif. En revanche, le résultat est plus intuitif pour l'Angola, le Ghana, le Kenya, et le Togo pour lesquels l'urbanisation a tendance à accroître les besoins énergétiques.

Conclusion

Dans cet article, nous étudions la relation entre consommation d'énergie par habitant et revenu par habitant pour les pays d'Afrique subsaharienne, en contrôlant pour des facteurs pouvant affecter cette relation. Nous proposons une modélisation économétrique qui prend en compte explicitement l'hétérogénéité des pays afin de refléter la grande diversité des situations des pays de la région.

Les résultats montrent que la relation fondée sur la moyenne de l'échantillon cache bien des choses alors que l'analyse pays par pays fournit des résultats très riches. Nous observons que la CKE existe pour seulement 4 pays (Cameroun, République démocratique du Congo, Maurice et Zambie). A part la République démocratique du Congo, qui a connu une chute vertigineuse du revenu par habitant (de 778 dollars en 1980 à 329 dollars en 2011), les trois autres pays, surtout Maurice, peuvent constituer des exemples valables sur la possibilité d'avoir un découplage entre consommation d'énergie et la croissance.

Notre analyse a également mis en lumière l'effet bénéfique que peut procurer l'intégration commerciale pour les pays de la région. Bien évidemment, les décideurs publics devraient faire attention au piège de

havre à pollution lié à l'ouverture commerciale et aux capitaux étrangers. Enfin, étant donné que le processus d'industrialisation est très énergivore, il s'avère nécessaire pour ces pays de réfléchir à réorienter leur structure économique vers des activités industrielles plus sobres en énergie.

Pour renforcer les résultats d'analyse, nous pouvons étendre, dans une étude future, notre analyse à d'autres indicateurs environnementaux pour les pays en Afrique subsaharienne, par exemple les polluants atmosphériques, la qualité de l'eau, la déforestation, etc.

Références bibliographiques

- AIE (2014) *Africa Energy Outlook*, OCDE, Paris.
- AGRAS J. et CHAPMAN D. (1999) A dynamic approach to the environmental Kuznets Curve hypothesis, *Ecological Economics*, 28, 267-277.
- ARROW K., BOLIN B., COSTANZA R., DASGUPTA P., FOLKE C., HOLLING C.S., JANSSON B.-O., LEVIN S., MALER K.-G., PERRINGS C., et PIMENTEL D. (1995) Economic growth, carrying capacity, and the environment, *Science*, 268, 520-521.
- COLE M.A. et NEUMAYER E. (2004) Examining the impact of demographic factors on air pollution, *Population and Environment*, 26(1), 5-21.
- COPELAND B.R. et TAYLOR M.S. (2003), *Trade and the Environment: Theory and Evidence*, Princeton, NJ: Princeton University Press.
- COPELAND B.R. et TAYLOR M.S. (2004) Trade, growth, and the environment, *Journal of Economic Literature* 42(1), 7-71.
- DIJKGRAAF E. et VOLLEBERGH H.R.J. (2005) A test for parameter heterogeneity in CO2 panel EKC estimations, *Environmental and Resource Economics*, 32(2), 229-239.
- DOGAN E. (2014) Energy consumption and economic growth: Evidence from low-income countries in Sub-Saharan Africa. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 4, 154-162.
- EBERHARDT M. (2012) Estimating panel time-series models with heterogeneous slopes, *Stata Journal*, 12(1), 61-71.
- EBERHARDT M. et TEAL F. (2010) Productivity analysis in global manufacturing production, Economics Series Working Papers 515, University of Oxford, Department of Economics.
- EBERHARDT M. et TEAL F. (2011) Econometrics for grumblers: A new look at the literature on cross-country growth empirics, *Journal of Economic Surveys*, 25(1), 109-155.
- EGGOH J.C., BANGAKE C. et RAULT C. (2011) Energy consumption and economic growth revisited in African countries. *Energy Policy*, 39, 7408-7421.
- ESKELAND G.S. et HARRISON A.E. (2003) Moving to greener pastures? Multinationals and the pollution haven hypothesis, *Journal of Development Economics*, 70, 1-23.
- GAO J. et ZHANG L. (2014) Electricity consumption-Economic growth-CO2 emissions nexus in Sub-Saharan Africa: Evidence from panel cointegration, *African Development Review*, 26(2), 359-371.
- GROSSMAN G.M. et KRUEGER A.B. (1993) Environmental impacts of the North American free trade agreement, in: P. GARBER (Ed.), *The U.S.-Mexico Free Trade Agreement*. MIT Press, Cambridge, 165-177.
- GROSSMAN, G.M. et KRUEGER, A.B. (1995) Economic Growth and the Environment, *Quarterly Journal of Economics*, 60, 353-377.
- HE J. (2006), Pollution haven hypothesis and environmental impacts of foreign direct investment: The case of industrial emission of sulfur dioxide (SO₂) in Chinese provinces, *Ecological Economics*, 60, 228-245.
- JEBLI M.B., YOUSSEF S.B., OZTURK I. (2014) The role of renewable energy consumption and trade: Environmental Kuznets curve analysis for Sub-Saharan Africa countries. *MPRA Paper*, n°54300.

- KAHSAI M.S., NONDO C., SCHAEFFER P.V. et GEBREMEDHIN T.S. (2012) Income level and the energy consumption-GDP nexus: Evidence from Sub-Saharan Africa. *Energy Economics*, 34, 739-746.
- KEBEDE E., KAGOCHI J. et JOLLY C.M. (2010) Energy consumption and economic development in Sub-Sahara Africa. *Energy Economics*, 32, 532-537.
- KIVYIRO P. et ARMINEN H. (2014) Carbon dioxide emissions, energy consumption, economic growth and foreign direct investment: Causality analysis for Sub-Saharan Africa. *Energy*, 74, 595-606.
- LIST J.A. et GALLET C.A. (1999) The environmental Kuznets curve: Does one size fit all?, *Ecological Economics*, 31, 409-423.
- MARTINEZ-ZARZOSO I. et MARUOTTI A. (2011), The impact of urbanization on CO2 emissions: Evidence from developing countries, *Ecological Economics*, 70(7), 1344-1353.
- MENSAH J.T. (2014) Carbon emissions, energy consumption and output: A threshold analysis on the causal dynamics in emerging African economies. *Energy Policy*, 70, 172-182
- MENYAH K. et WOLDE-RUFAEL Y. (2010) Energy consumption, pollutant emissions and economic growth in South Africa, *Energy Economics*, 32, 1374-1382.
- NGUYEN-VAN P. (2010) Energy consumption and income: A semiparametric panel data analysis, *Energy Economics*, 32, 557-563.
- NGUYEN-VAN P. et AZOMAHOU T. (2007) Nonlinearities and heterogeneity in environmental quality: An empirical analysis of deforestation, *Journal of Development Economics*, 84(1), 291-309.
- ODHIAMBO N.M. (2010) Energy consumption, prices and economic growth in three SSA countries: A comparative study. *Energy Policy*, 38, 2463-2469.
- OUEDRAGO N.S. (2013) Energy consumption and economic growth: Evidence from the economic community of West African States (ECOWAS), *Energy Economics*, n°36, 637-347.
- PANAYOTOU T. (1993) Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development, *Tech. rep.*, International Labour Organization.
- PESARAN M.H. (2006) Estimation and inference in large heterogenous panels with a multifactor error structure, *Econometrica*, 74, 967-1012.
- PNUD (2015) Objectifs de développement durable - objectif 7, <http://www.undp.org/content/undp/fr/home/mdgoverview/post-2015-development-agenda/goal-7.html>
- STERN D. (2004) The rise and fall of the environmental Kuznets curve, *World Development*, 32, 1419-1439.
- SURI V. et CHAPMAN D. (1998) Economic growth, trade and energy: Implications for the environmental Kuznets curve, *Ecological Economics*, 25, 195-208.
- VAN ALSTINE J. et NEUMAYER E. (2010) The environmental Kuznets curve, in: GALLAGHER K.P. (ed.) *Handbook on Trade and the Environment*. Edward Elgar, Cheltenham.
- WANG Z., SHI C., LI Q. et WANG G. (2011), Impact of heavy industrialization on the Carbon emissions: An empirical study of China, *Energy Procedia*, 5, 2610-2616.