

REPUBLIQUE DU SENEGAL
Un Peuple - Un But - Une Foi



MINISTRE DE L'ECONOMIE,
DES FINANCES ET DU PLAN

DIRECTION GENERALE DE LA PLANIFICATION
ET DES POLITIQUES ECONOMIQUES

DIRECTION DE LA PLANIFICATION



Coût économique de la pollution de l'air et vérification empirique de la courbe environnementale de Kuznets au Sénégal

Planning paper n° 23

Cheikh Tidiane NDOUR

@DP/DPG-Mai 2020

Site web: www.plandev.sn

Coût économique de la pollution de l'air et vérification empirique de la courbe environnementale de Kuznets au Sénégal

Cheikh Tidiane NDOUR¹

RESUME

Ce travail présente l'impact économique de la pollution de l'air ambiant au Sénégal. En s'appuyant sur la base de données épidémiologique, on calcule « le coût économique des mortalités liées à la pollution de l'air. Les résultats donnent un coût global de 1,2% du PIB. Le modèle autorégressif distributed lag (ARDL) valide l'hypothèse de la courbe environnementale de Kuznets. Les résultats du modèle, sur la période 1970-2014, montre l'existence d'une relation de long terme positive entre les émissions de CO2 et le PIB réel. Toutefois, le test de causalité de Granger prouve que le sens va de la croissance économique à l'émission de CO2. En effet, pour le Sénégal, c'est la croissance économique qui détermine le niveau des émissions et non l'inverse. Ainsi, toute politique énergétique en faveur de l'environnement peut être mise en place sans risquer d'avoir des répercussions négatives sur la croissance économique.

Mots clés : pollution, environnement, coût

Codes JEL: Q53, Q 51

¹ Direction de la Planification (DP), 64, rue Carnot x Dr Thèze, BP: 4010 Dakar Tél: (221) 33 823 88 91/ Fax: (221) 33 823 14 37. Email : Email : ndourse@outlook.com

Ce document ne doit pas être cité comme un point de vue de la DP. Les opinions exprimées dans ce document de travail sont celles de l'auteur et ne représentent pas nécessairement celles de la DP. Je remercie Monsieur Cheikh Modou Thiam Directeur de la Planification pour les échanges féconds. Un grand merci à tous mes collègues de la DP qui ont lu cet article.

ABSTRACT

This paper presents the economic impact of ambient air pollution in Senegal. Based on the epidemiological database, we calculate "the economic cost of deaths related to air pollution. The results give an overall cost of 1.2% of GDP. The autoregressive distributed lag (ARDL) model validates the Kuznets environmental curve hypothesis. The results of the model, over the period 1970-2014, show the existence of a positive long-term relationship between CO₂ emissions and real GDP. However, Granger's causality test proves that the meaning goes from economic growth to CO₂ emissions. Indeed, for Senegal, it is economic growth that determines the level of emissions and not the other way around. Thus, any energy policy in favor of the environment can be implemented without risking negative repercussions on economic growth.

Keywords: pollution, environment, cost
JEL Codes : Q53, Q51

1. INTRODUCTION

Depuis plusieurs décennies, la planète toute entière est à un tournant critique de son évolution. Les températures observées ne cessent de croître depuis 1880. Les hausses les plus importantes se sont produites à partir de 1975 où les deux tiers du réchauffement ont été observés. Selon le Goddard Institute for Space Studies de la NASA, le taux d'accroissement de ces émissions se situe à 0,15 à 0,20 C par an. L'activité économique en est la principale cause de ces effets. Sur la période, la croissance économique s'est beaucoup intensifiée dans le monde.

Au Sénégal, entre 1985-2017, les émissions de CO₂ se sont situées en moyenne à 20 960 000 tonnes. Sur une période beaucoup plus longue (1959-2017), le taux de croissance annuel moyen de ces émissions se fixe à 5%. Lors de ces dernières décennies, le secteur de l'agriculture en a le plus contribué. Entre 1990-2014, les émissions de ce secteur sont estimées à 6 617 714 tonnes. Pour les autres secteurs tels que le transport, la foresterie, l'énergie, l'activité commerciale et l'industrie, les

émissions sont fixées respectivement à 1 438 070 tonnes, -2559869 tonnes, 2110415 tonnes, 384079 tonnes et 1049751 tonnes.

Dans le monde, la pollution de l'air est l'un des plus grand risque pour la santé. Elle est à l'origine des nombreux maladies cardiaques et accidents vasculaires cérébraux (OMS, 2014 a). La pollution de l'air favorise les risques de maladies des voies respiratoires aiguës (pneumonie, par exemple), chroniques (cancer du poumon, par exemple) et cardio-vasculaires. Au Sénégal, plus de 53,62/100 000 en 2017, sont attribuables à la pollution ambiante. Les effets les plus graves sont observés chez les personnes vulnérables telles que les individus déjà malades, les enfants, les personnes âgées et les ménages à faible revenu ayant un accès limité aux soins de santé.

Pourtant, le Sénégal s'est donné depuis 2001 d'un nouveau code de l'environnement qui constitue le cadre juridique fondamental de la prévention et de la lutte contre les pollutions. Il s'est aussi aligné aux mesures adoptées à l'échelle mondiale, notamment dans le cadre de la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (CCNUCC), en s'engageant à adopter une politique climatique compatible avec son évolution socio-économique. Parmi les autres réponses apportées figurent la création de l'agence de gestion de la qualité de l'air.

Pour une meilleure considération de la problématique environnementale, il est nécessaire d'effectuer des travaux de recherche qui redonneront plus de crédibilité au débat sur l'impact en termes de bien-être de la pollution de l'air. C'est pourquoi, un examen approfondi de la question doit être fait afin de déterminer les pertes économiques pour la société des émissions de CO₂. Les deux principales questions qui se posent sont alors : l'hypothèse de la courbe environnementale de Kuznets est-elle vérifiée ; les pertes humaines dues à la pollution coûtent combien au Sénégal. Le coût pourrait être important ; ce qui nécessite son internalisation afin de générer des revenus supplémentaires pour financer les ODD qui sont liés à la protection de l'environnement. S'il est justifié que c'est la croissance qui détermine les niveaux d'émissions, l'Etat devrait inciter le secteur privé à mettre en place des technologies propres.

Le lien entre la croissance économique et l'environnement n'est plus à démontrer ; tant le nombre de publications est important. La plupart part de ces études reposent sur la validation de l'hypothèse de la courbe environnementale de Kuznets (CEK) qui traduit une relation entre plusieurs indicateurs liés à la dégradation de l'environnement et le revenu per capita. Historiquement, l'analyse de la CEK trouve son origine dans les analyses des inégalités économiques et en particulier dans les œuvres de Kuznets. Ce spécialiste des questions d'inégalités a été le premier à s'interroger sur la manière dont les inégalités de développement pouvaient être expliquées par le niveau de développement économique. La principale conséquence de ce changement de perspective a été de déplacer l'analyse de l'effet du niveau de développement économique sur les inégalités vers les émissions de carbone. Pendant les premières phases de croissance économique, les émissions de CO₂ ont tendance à augmenter. A mesure que le revenu par tête s'accroît les émissions diminuent. Ainsi, le lien entre les émissions de CO₂ et la croissance peut être représenté sous la forme d'un U en sens inversé (Grossman et Krueger, 1991). La CEK est un phénomène purement empirique. Les travaux empiriques modélisent ce lien sous la forme d'un U inversé qui dénommé l'hypothèse de la courbe environnementale de Kuznets (CEK). Pour le Sénégal, il importe de tester la nature de cette relation pour faciliter la prise de décision en matière de politique environnementale.

L'article est organisé en quatre sections. La deuxième section procède à la vérification empirique de l'hypothèse de la courbe environnementale de Kuznets. Dans la troisième, c'est le calcul du coût économique de la pollution de l'air et ses résultats qui sont analysés. La dernière section se propose en guise de conclusion de faire le point sur effets de la pollution et proposer des recommandations de politique.

2. VERIFICATION EMPIRIQUE DE LA COURBE ENVIRONNEMENTALE DE KUZNETS

Pour procéder à la vérification empirique de la courbe environnementale, cette étude s'inspire de celles réalisées par Ang, 2007 ; Soyta et al, 2007 et Ang, 2008. Il

est utilisé la forme logarithmique linéaire pour tester la relation de long terme, dite aussi la cointégration, entre les émissions de CO₂ et le niveau de développement.

$$\text{Ln}(CO2_t) = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(PIB_t) + \beta_2 \text{Ln}(PIB_t^2) + \varepsilon_t \quad (1)$$

Où :

$CO2_t$: représente les émissions de CO₂ par habitant ;

PIB : représente le PIB réel par habitant ;

ε_t : représente le terme d'erreur et ;

β_2 et β_3 : sont les élasticités de long terme.

L'application de la méthode « Autoregressive distributed lag (ARDL) » se fait en plusieurs étapes. Dans un premier temps, la stationnarité des séries est testée. Dans un second temps, on sélectionne le nombre de retard optimal. Enfin, on utilise le Bound Test pour établir la relation de long terme et procéder à l'estimation des coefficients de long et court terme.

Cette méthode fut introduite par Pesaran and Shin (1999) et développée par Pesaran, Shin and Smith (2001). Son adoption se justifie pour des variables non stationnaires sans la contrainte du même ordre d'intégration mais aussi pour une taille de l'échantillon relativement faible. Pour ce type de méthode, l'endogénéité ne pose pas problème (Harris and Sollis, 2003).

Pour déterminer l'ordre d'intégration des variables, l'étude adopte les tests de stationnarité de Dickey Fuller Augmenté (ADF) et de Phillips Perron (PP). Les résultats montrent que toutes les variables sont non stationnaires à niveau (Tableau 1). Toutefois, elles le sont en différence première.

Tableau 1: test de racine unitaire

	Test philip perron (PP)		Test ducker fuller (ADF)	
	A niveau		A niveau	
	1	2	1	2
Ln (Co2)	-4,884	-2,141	-3,278	-0,253
Ln (PIB/t)	-1,086	-0,299	-1,419	-0,239
	En différence première			
Ln (Co2)	-4,9*	-2,043*	-4,876*	-2,036*
Ln (PIB/t)	-1,086	-0,282	-1,419	-0,239

Source : calcul auteur à partir des données de la Banque Mondiale

Note : 1 avec trend et constante, 2 supprimer terme constant. * niveau de significativité é de 5%. Les tests d'ADF et de PP ont pour hypothèse nulle la présence de racine unitaire. Le nombre de retard est sélectionné de manière automatique selon le critère de Schwarz Info.

Les critères d'information d'Akaike (AIC), Schwarz (SC) et Hannan-Quinn (HQ) sont utilisés pour sélectionner le nombre de retard optimal du vecteur autorégressif (VAR) (tableau 2). Quatre modèles VAR (P = 0, 1, 2, 3) sont estimés sur la période 1960-2014. Le critère AIC indique un nombre de retard optimal de 3 alors que les critères SC et HQ un retard de 1. C'est ce dernier critère qui est retenu pour cette étude

Tableau 2 : nombre de retard optimal

Lag	Akaike information criterion.	Schwarz information criterion.	Hannan-Quinn information criterion.
0	0,781	0,818	0,795
1	0,525	0,599	0,554
2	0,658	0,696	0,672
3	0,658	0,696	0,672
4	0,04	0,677	0,632

Source : calcul auteur à partir des données de la Banque

Après avoir déterminé l'ordre d'intégration des variables et le nombre de retard optimal du modèle, on adopte l'approche ARDL ou Black Box pour déterminer la cointégration et estimer la relation de long terme. Pour cela, le « Bound Test » qui donne le F-statistique teste l'hypothèse nulle selon laquelle les coefficients des variables retardées de l'équation (1) sont nuls. La valeur du F-statistique est égale à 5.406. Elle est supérieure à celles données par les bornes supérieures et inférieures

aux différents intervalles de confiance (10% et 5%). Par conséquent, l'hypothèse nulle d'absence de cointégration peut être rejetée. Dès lors, on conclut l'existence d'une relation de long terme entre les variables.

Tableau 2 : résultats du test ARDL Bound

F statistic	5,406	
Valeurs critiques		
Seuil de significativité	I(0) Bound	I(1) Bound
10%	4,04	4,78
5%	4,94	5,02

Source : calcul auteur à partir des données de la Banque Mondiale

L'étude utilise le test de causalité de Granger est pour déterminer le sens de la relation entre les variables. Ce test est adapté car les variables non stationnaires ont toutes le même ordre d'intégration. Les résultats montrent l'existence d'une relation de causalité entre les variables (tableau 3). Le sens de la relation va du niveau de développement économique aux émissions de CO2 signifiant que les émissions de carbone sont déterminées par le PIB/habitant.

Tableau 3: test de causalité de Granger

Null Hypothesis	F-Statistic	Prob.
Ln (PIB) ne cause pas Ln (CO2)	2,666	0,109
Ln (CO2) ne cause pas Ln (PIB)	0,026	0,871
Ln (PIB^2) ne cause pas Ln (CO2)	2,712	0,106
Ln (CO2) ne cause pas Ln (PIB^2)	0,026	0,873
Ln (PIB^2) ne cause pas Ln (PIB)	0,716	0,401
Ln (PIB) ne cause pas Ln (PIB^2)	0,731	0,396

Source : calcul auteur à partir des données de la Banque

A la suite du test de causalité de Granger, les coefficients de long et court terme du modèle ARDL sont estimés. La variable dépendante du modèle est représentée par les émissions de CO2 par habitant. L'élasticité de long terme des émissions de CO2 par rapport au niveau de développement économique est égale à 1,99 (tableau 4). Elle est statistiquement significative au seuil de 1%. Ce résultat signifie qu'un accroissement de 1 % du PIB réel par habitant entraîne une augmentation de 1,99 % des émissions de CO2. Le coefficient de la variable $\text{Ln}(\text{PIB}/t)^2$ est négatif. Il est

statistiquement significatif au seuil de 1%. Ce résultat confirme l'hypothèse de diminution des émissions pour des niveaux plus élevés de développement. Les émissions de carbone augmentent alors dans un premier temps avec le revenu, avant de se stabiliser et diminuer dans un second temps.

Tableau 4 : modèle ARDL et coefficients estimés des variables (long terme)

Variable dépendante : LCO2				
Variables explicatives	Coefficients	Ecart -type	t-statistique	Prob.
Ln (PIB/t)	1,98	0,52	-3,79	0,000
Ln ((PIB/t)²)	-0,24	0,07	-3,33	0,002
constante	12,74	3,58	3,55	0,000
R2	0,213			
F-statistique	14,38	Durbin Watson		0,661

Source : calcul auteur à partir des données de la Banque

Le mécanisme de correction d'erreur (ECM) est utilisé pour tester la relation de court terme entre les variables (tableau 5). Les résultats montrent que le coefficient d'ajustement ou force de rappel est statistiquement significatif. Il est égal à -0,745 signifiant un ajustement de 74% lorsque les émissions de CO2 sont au-dessus ou au-dessous de leur valeur d'équilibre. Les coefficients des variables retardées donnent les élasticités de court terme. Ils sont tous significatifs avec les mêmes signes attendus. A long terme, le niveau de développement économique a un effet positif sur les émissions de Carbone. Toutefois, à court terme, l'effet est négatif.

Tableau 5 : Estimation du modèle ECM (court terme)

Variable dépendante : LCO2				
Variables explicatives	Coefficients	Ecart -type	t-statistique	Prob.
ΔPIB	-1.989	0.524	-3.792	0.000
ΔLPIB2	-0,243	0,073	-3,331	0,002
ECM	-0,745	0,231	-4,232	0.000
constante	12.749	3.587	3.554	0.000
R²	0.213			
F-statistique	14.386	Durbin Watson		0.661

Source : calcul auteur à partir des données de la Banque

3. METHODOLOGIE POUR LE CALCUL DU COUT ECONOMIQUE DES MORTALITES LIEES A LA POLLUTION

Cette section présente le modèle théorique pour le calcul de la valeur statistique de la vie (VSV). Mesurer le coût des mortalités liées à la pollution nécessite d'avoir le consentement à payer des individus pour réduire le risque marginal de décès prématuré. L'agrégation des consentements individuels à l'ensemble des personnes ayant subi les externalités négatives donne le coût économique de la pollution de l'air.

Supposons que la fonction d'utilité espérée de l'individu représentatif soit représentée par EU . $u(y)$ donne le niveau d'utilité qu'il puisse atteindre. Le risque de mourir sur la période est représenté par r . Ainsi, nous pouvons représenter la fonction d'utilité espérée sous la forme suivante :

$$EU(y, r) = (1 - r)U(y)$$

Pour l'individu rationnel, l'objectif consiste à réduire le risque de r à r' . Dès lors, le consentement à payer pour maintenir son niveau d'utilité constant dans le cas d'une réduction du risque de r à r' est la solution de :

$$EU(y - CAP, r') = EU(y, r)$$

En supposant que la VSV est égale au taux marginal de substitution entre la consommation et le risque de décès, on obtient :

$$VSV = \frac{\partial CAP}{\partial r}$$

Les informations sur le CAP peuvent être obtenues à partir d'un interview auprès des individus concernés. En supposant que l'enquête révèle un consentement moyen de 30 USD pour une réduction du risque annuel de 3/100 000 à 2/100 000, pour 100 000 personnes, un seul décès serait évité. En additionnant les valeurs des consentements à payer individuelles de 30 USD sur 100 000 personnes, la valeur statistique de la vie obtenue est donc égale à 3 USD millions. Il est important de souligner que la VSV n'est pas la valeur de la vie d'une personne identifiée, mais plutôt une agrégation de valeurs pour les petits changements dans le risque de décès (OCDE, 2012).

Le coût économique de l'air est obtenu en multipliant le nombre de décès prématurés par la valeur statistique de la vie. Un nombre relativement important de recherches scientifiques publiées (92 études au total et donnant 1095 valeurs) permet de fixer le consentement à payer dans la fourchette de 1,5 à 4,5 millions de dollar USD (Dehes, Drèze & Licandro, 2005). La valeur de base recommandée pour les pays de l'OCDE est de 3 USD million.

A partir de cette valeur, on peut déduire la VSV pour les pays qui ne sont pas membres de l'OCDE. Toutefois, certains ajustements s'avèrent nécessaires. Le premier tient compte des différences de revenu entre les pays et prend en compte l'élasticité-revenu la mieux adaptée. Le second prend en compte le différentiel d'inflation (ΔP) et de revenu (ΔY).

$$VSV_{C_{2010}} = VSV_{OCDE_{2005}} * (Y_{C_{2005}}/Y_{OCDE_{2005}})^{\beta} * (1 + \% \Delta P + \% \Delta Y)^{\beta}$$

L'hypothèse d'une élasticité de 0,8 est empiriquement testée pour les économies avancées (OCDE, 2012 ; OCDE, 2014). Cependant pour les économies émergentes, l'élasticité de 0,8 est insignifiante (Hammit et Robinson 2011 et Narain et Sall, 2016). Il y a lieu d'adopter l'hypothèse la plus répandue au sein de la littérature, à savoir une élasticité-revenu de 1. On peut aussi envisager une élasticité-revenu supérieur à 1.

Tableau 6: résultat de la valeur statistique de la vie (en USD constant 2010)

	VSV en 2006	VSV en 2010	VSV en 2016
Elasticité =1	81 753	80 892	81 192
Elasticité = 1.1	57 022	51366	57352
Elasticité=0.8	168 044	166 627	168 768

Source : calcul de l'auteur

Dans l'hypothèse faible d'une élasticité revenu égale à 1, la valeur statistique de la vie se situe à 81 192 USD en 2016. Pour une élasticité plus forte, la VSV est égale à 168 768 USD. Ces valeurs sont inférieures à celles obtenues pour les pays de l'OCDE où la VSV tourne en moyenne à 3 368 millions de dollars US.

Pour la société, le coût économique de la pollution est égal à 143, 12 milliard de CFA. Il représente près de 1,2% du PIB. Ce coût intègre le nombre total de décès

prématurés imputables à la pollution de l'air ambiante. Cependant, ce coût pour la société est sous-estimé. Il n'intègre pas les coûts liés à la morbidité et à l'impact sur la santé des animaux et végétaux.

Tableau 7: résultat coût au niveau national (milliards)

	2006	2010	2016
Elasticité =1	142,35	140,86	143,12

Source : calcul de l'auteur

4. CONCLUSION

Ce papier avait deux principaux objectifs. Dans un premier temps, l'article se voulait d'examiner le lien entre la croissance économique et les émissions de CO₂ par la validation empirique de l'hypothèse de la courbe environnementale de Kuznets sur données sénégalaises. Dans un second temps, ce travail cherchait à faire une estimation des coûts économiques de la pollution de l'air.

La méthode ARDL (black box) confirme la présence d'une relation de long terme entre les émissions de CO₂ et le niveau de développement. Pour la période 1970-2014, le modèle valide l'hypothèse. Par ailleurs, le test de causalité de Granger indique une causalité unidirectionnelle allant dans le sens du niveau de développement aux émissions de CO₂. Ainsi, une plus forte croissance économique entraîne un accroissement des émissions de dioxyde de carbone. Ce qui implique qu'une politique énergétique en faveur de l'environnement peut être mise en place sans risquer d'avoir des répercussions négatives sur la croissance économique.

Par ailleurs, les émissions de carbone ont des conséquences importantes pour la société. Le coût économique des décès imputable à la pollution est estimé à près de 1,2% du PIB en moyenne par an.

Au terme des analyses, il apparaît clairement que l'Etat devrait pousser les plus grands pollueurs à internaliser les coûts liés à la pollution et adopter des technologies propres. Il devrait aussi reconnaître que les stratégies environnementales à mettre en œuvre n'auront d'impacts négatifs significatifs sur la croissance économique.

BIBLIOGRAPHIE

1. Ang J., (2007). "CO2 emissions, energy consumption and output in France". *Energy Policy* 35,4772 - 4778.
2. Ang J., (2008). "Economic development, pollutant emissions and energy consumption in Malaysia". *Journal of Policy Modeling*, 30, 271 - 278.
3. Grossman, G. M. et Krueger, A. B. (1991). Environmental impacts of a North American Free Trade Agreement. *NBER Working Paper*, 3914.
4. Johansen S., (1988). "Statistical analysis of co-integration vectors". *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol. 12, issue 2-3, pages 231-25
5. Kuznets, S., (1995). Economic Growth and income inequality. *American Economic Review*, 49, 1-28.
6. OECD (2016a), *The Economic Consequences of Outdoor Air Pollution*, OECD Publishing, Paris, <http://dx.doi.org/10.1787/9789264257474-en>.
7. OECD (2016b), *OECD Stat Extracts* [online database], OECD, Paris, <http://stats.oecd.org/>.
8. OECD (2014), *The Cost of Air Pollution: Health Impacts of Road Transport*, OECD Publishing, Paris, <http://dx.doi.org/10.1787/9789264210448-en>
9. OECD (2012), *Mortality Risk Valuation in Environment, Health and Transport Policies*, OECD Publishing, Paris, <http://dx.doi.org/10.1787/9789264130807-en>.
10. Pesaran M. H., Shin Y., (1999). "An autoregressive distributed lag modelling approach to cointegration analysis". Cambridge University Press, Cambridge Chapter 2.
11. Soytaş U., Sari R., Ewing T., (2007). "Energy consumption, income and carbon emissions in the United States." *Ecological Economics*, vol. 62, issue 3-4, pages 482-489.