

---

**Actes de la troisième Conférence internationale sur la Francophonie économique**

*VERS UNE ÉCONOMIE RÉSILIENTE, VERTE ET INCLUSIVE*

Université Cheikh Anta Diop de Dakar – Sénégal, 16 – 18 mars 2022

---

**POLLUTION ENVIRONNEMENTALE ET CROISSANCE ÉCONOMIQUE : MODELISATION  
DE LA COURBE DE KUZNETS ENVIRONNEMENTALE POUR LE CAS DU MAROC**

**OTHMANE LAMZIHRI**

Doctorant au Laboratoire LEAM - Laboratory of Economic Analysis and Modeling, Faculté des  
Sciences Juridiques, Economiques et Sociales Souissi - Université Med V – Rabat

[othmane.lamzihri@um5s.net.ma](mailto:othmane.lamzihri@um5s.net.ma)

**MOHAMMED EL KAMLI**

Enseignant, chercheur au Laboratoire LEAM - Laboratory of Economic Analysis and Modeling,  
Faculté des Sciences Juridiques, Economiques et Sociales Souissi - Université Med V – Rabat

[m.elkamli@um5r.ac.ma](mailto:m.elkamli@um5r.ac.ma)

**RÉSUMÉ** – L’objectif de ce travail de recherche est d’étudier la validité de l’approche de la courbe d’environnemental de Kuznets pour le cas du Maroc en admettant le produit intérieur Brut, la consommation d’énergie et le ratio d’ouverture vers le reste du monde comme variables explicatives du modèle sur l’émission du gaz de CO<sub>2</sub>. Comme conclusion de cette étude, nous avons constaté que le modèle est estimé avec un ARDL –Autoregressive distributed lag. Par ailleurs, nous avons conclu qu’à court et à long terme, l’hypothèse de Kuznets est rejetée et on accepte une courbe en forme U entre le dioxyde de Carbone et les variables du modèle pour le cas marocain.

**Mots-clés :** Croissance économique, Dioxyde de Carbone (CO<sub>2</sub>), Courbe de Kuznets environnementale, ARDL

*Les idées et opinions exprimées dans ce texte n’engagent que leur(s) auteur(s) et ne représentent pas nécessairement celles de l’OFE ou de ses partenaires. Aussi, les erreurs et lacunes subsistantes de même que les omissions relèvent de la seule responsabilité de ou des auteurs.*

## Introduction

La consommation d'énergie joue un rôle majeur dans la croissance économique et l'environnement. En effet, la production et la consommation de l'énergie ont un impact positif sur la croissance économique, et aussi des conséquences néfastes sur l'environnement en raison de la pollution qu'elles génèrent. Dans ce sens, Van der Ploeg & Withagen (1991), pensent qu'on ne peut pas parler de consommation d'énergie et de croissance économique sans intégrer les questions environnementales. Du point de vue de la théorie économique, l'analyse de la relation qui lie la croissance économique à l'environnement trouve son fondement dans les travaux de Grossman et Krueger (1994) qui se sont beaucoup attardés sur la courbe de Kuznets environnementale (CKE).

Compte tenu de cette relation entre la croissance économique, la pollution et l'environnement, le Maroc et comme tout autre pays en développement essaie de préserver cette liaison à travers une série de plans, malgré les externalités négatives qui sont en conséquence de l'accroissement démographique et de l'industrialisation.

À cet égard, il serait légitime le fait de poser la question suivante :

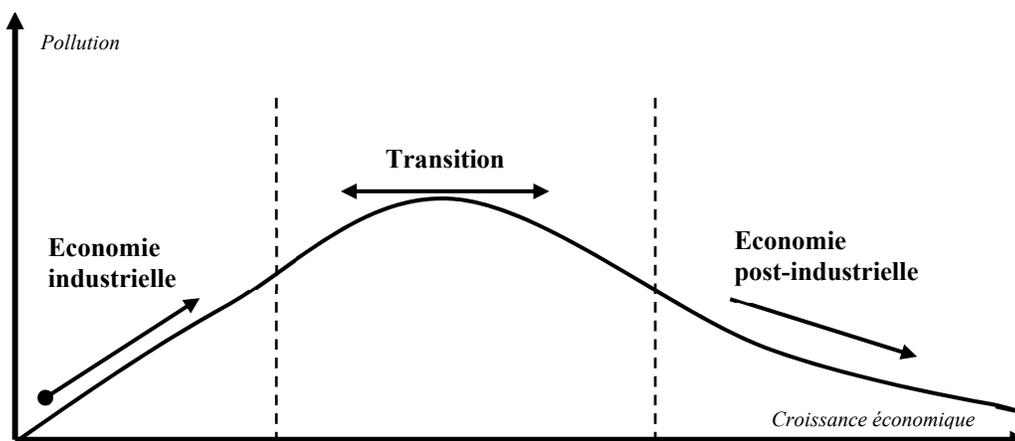
- Quelle est la relation entre l'environnement et la croissance économique pour le cas marocain ?
- Est-ce-que la courbe environnementale de Kuznets est vérifiée ?

L'objet de cet article est de déterminer à quel degré la croissance économique et l'environnement évoluent dans le temps. En effet, pour répondre à cet objectif, nous consacrons la première section à une phase théorique dédiée aux principaux points de la courbe de Kuznets environnementale et aux travaux empiriques, la deuxième section pour présenter la méthodologie suivie et enfin dans la troisième section nous essayerons de faire une analyse économétrique.

### **I- Fondement théorique de la courbe de Kuznets :**

D'après l'article publié par **Grossman et Krueger en 1994** sur CKE - *La Courbe de Kuznets environnementale* qui décrit la relation entre le revenu par habitant et l'environnement. Les deux chercheurs ont constaté que la croissance économique de court terme et la pollution, augmentent proportionnellement avec la croissance économique comme le montre la première figure. Cependant, lorsque le revenu atteint un certain niveau, la pollution diminue avec l'augmentation de la croissance économique. (Grossman & Krueger, 1994 ; Su et Chen, 2018 Sarkodie et Strezov, 2019).

**Figure 1:** Courbe de Kuznets environnementale : Relation entre croissance économique et pollution



*Source : Par nos soins*

Cette courbe - Figure numéro 1- comporte 3 grandes phases. La première concerne l'économie préindustrielle qui cherche à se structurer pour se défaire de la pauvreté. Dans ce contexte, on utilise donc des ressources naturelles et surtout de l'énergie qui a un effet négatif sur l'environnement. À ce niveau, il existe une relation positive et croissante entre l'augmentation de la croissance économique et l'augmentation des émissions de polluants qui dégradent la nature.

En seconde phase, l'économie passe d'un niveau primaire à celui d'un pays industrialisé. Cette phase est nommée « la phase de transition » qui se caractérise par une augmentation de l'utilisation des ressources énergétiques accélérant la pollution environnementale qui atteint son maximum au sommet de la courbe en "U" *inversé*. Mais comme la richesse est déjà obtenue, la transition s'opère, car à cette phase d'économie industrialisée recherche un environnement sain et met en place un processus de transition vers des techniques utilisant des énergies vertes moins polluantes par leur activité. La dernière phase est celle de l'économie postindustrielle qui s'engage dans des activités de contrôle de la pollution. Dans ce niveau il existe une relation linéaire et négative entre l'évolution de la richesse et la pollution environnementale.

## **II- Revue de littérature empirique**

Dans cette partie de notre étude on va présenter une revue de littérature exhaustive de l'approche de Kuznets. On va essayer en premier lieu de présenter une panoplie de résultats de recherche qui colle avec notre problématique et qui valide l'hypothèse fondamentale de Kuznets. En second lieu, on va voir les controverses théoriques de cette approche.

### 1- Validation de l'approche de Kuznets

Cette partie concerne les travaux optimistes de la revue de littérature empirique qui valide la relation de la croissance économique et de l'environnement. Plusieurs travaux ont démontré empiriquement l'utilisation des ressources naturelles et le revenu supposent une relation en forme de "U" inversé appelée "*La Courbe de Kuznets environnementale*". Cependant, c'est à Grossman et Krueger que revient pour tester la première fois la CEK.

Dans un panel, ils testent les impacts environnementaux de l'Accord de libre-échange nord-américain (North American Free Trade Agreement - ALENA). Avec le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), comme variable environnementale, il vérifie l'CEK, et les points de retournement se situent entre 4 000 et 5 000 dollars. Pour une douzaine d'indicateurs, Shafik et (1992) ont voulu tester l'CEK avec une variable des polluants environnementaux dans l'air comme résultat, ils acceptent l'hypothèse d'une relation en forme de "U" inversé avec le revenu, avec des points de retournement entre 3 000 et 4 000 dollars, et les autres indicateurs décrivent une relation neutre : linéaire - positive et linéaire - négative.

Cependant, les résultats sont ambigus dans le cas des émissions de dioxyde de carbone, le dioxyde de soufre, le monoxyde de nitrate et les particules en suspension dans l'air. Selden & Song (1994) ont essayé de tester l'EKC, ils concluent que l'EKC est satisfait pour toutes les variables environnementales, mais que les points de retournement varient en fonction des polluants. En ce qui concerne les travaux de Shafik (1994), dans le contexte de 149 pays sur la période de 1960 à 1990. Ils supposent une relation positive entre le CO<sub>2</sub> et la croissance économique, malgré l'absence de point d'inflexion, contrairement aux travaux de Holtz-Eakin & Selden (1995) à partir d'un panel de 131 pays entre 1951 et 1986, pour lesquels l'CEK est satisfaite, avec un point d'inflexion très élevé de 35 428 \$.

Rappelons que la CEK n'est pas toujours vérifiée sur des données hétérogènes, mais qu'elle l'est presque toujours pour des pays uniformes et homogènes. En effet, le niveau de revenu à partir duquel la pollution atteint son maximum est de 8 700 \$ pour le SO<sub>2</sub>, 11 200 \$ pour les monoxydes de nitrates (NO), 10 300 \$ pour les SPM et enfin 5 600 \$ pour le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). Pour List & Gallet (1999), sur la période de 1929 à 1994 dans le cas des États-Unis, il a été montré qu'il existe une relation en forme de U inversé entre croissance et pollution pour le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), et le monoxyde de nitrate (NO), par habitant.

Ces résultats ont été trouvés de manière identique par Hill & Magnani (2000) et Millimet & al. (2000). Cependant la nuance vient de Cole et al. (1997) qui ont analysé cette relation entre plusieurs éléments environnementaux (PMS, SO<sub>2</sub>, NO, émissions de méthane, etc.) et sont arrivés à la conclusion que l'CEK n'est satisfaite que pour certains polluants. Il ressort de ces résultats que la variable environnementale pour laquelle l'CEK n'est pas toujours satisfaite est et les points de retournement sont très élevés et parfois inexistant.

Les pays dont les écarts de revenus entre les économies sont plus importants donnent un point de retournement élevé, contrairement aux pays dont les écarts de revenus sont faibles. List et Gallet (1999), Stern et Common (2001). Cependant, Hill et Magnani (2002) montrent que l'CEK est satisfaite pour un panel de 156 pays. Cependant, lorsqu'on fait des estimations par groupe de pays à revenu élevé, moyen et faible, l'CEK n'est pas satisfaite. Afin d'obtenir des résultats le plus souvent significatifs, plusieurs études ont introduit des variables supplémentaires appelées "variables de contrôle ou variable discriminantes", soit politiques (Torras et Boyce, 1998), commerciales (Panayotou, 1997) ou énergétiques (Jobert et Karanfil, 2010).

Nishide & Ohyama, 2010 et Pandit & Paudel, 2016 ; Sinha & Bhattacharya, 2017 - Sarkodie & Strezov, 2019 ; indiquant l'existence probable d'une relation en forme de N entre le développement économique et la pollution environnementale comme le démontre aussi Dogan & Seker, 2016. Pour Berthe & Elie (2015) admettent qu'une hétérogénéité des résultats existe, et elle est surtout liée aux variables endogènes utilisées, et aucune tendance claire n'a été identifiée pour les pressions environnementales suivantes : Les émissions de CO<sub>2</sub>, la pollution de l'air et la pollution de l'eau. Les auteurs reconnaissent néanmoins que sur l'éventail des résultats empiriques existants, un grand nombre semble être en accord avec les analyses théoriques de Boyce (1994), Magnani (2000), Wilkinson et Pickett (2010) et qui reconnaissent que les inégalités de revenus affectent négativement l'environnement.

La structure énergétique est un facteur crucial largement étudié dans la littérature sur les déterminants des émissions de CO<sub>2</sub> (Omri, Belaïd, 2020). Les recherches dans ce cadre admettent l'existence d'une relation inverse entre la consommation d'énergies renouvelables et les émissions de CO<sub>2</sub>. Une étude empirique récente menée par c sur la période 1990 à 2015, pour un groupe de 12 pays européens, a montré dans quelle mesure la consommation d'énergies renouvelables réduit les émissions de CO<sub>2</sub>. L'étude réalisée par Cerdeira et al. (2016) confirme ces résultats pour le cas de l'Italie. Les conclusions de cette étude menée sur la période 1960-2011 admettent que la production d'électricité renouvelable par habitant réduit le niveau des émissions de CO<sub>2</sub> par habitant en Italie à court et à long terme. Ceci est en accord avec les résultats de Gozgor (2018) pour le cas des États-Unis.

## 2- Les controverses de l'approche de Kuznets

Matthew, 2004 examine empiriquement le lien entre la taille de la population, les facteurs démographiques et la pollution. Comme résultats d'estimation, il rejette l'hypothèse de relation

entre pollution et croissance urbaine, et il confirme les résultats des études de Rosa Dietz 1997, York et al. 2003, Shi 2003. Brian R. Copeland & M. Scott Taylor 2004. En effet, avec une étude économétrique ils ont conclu la variable de la politique environnementale n'affecte pas les flux de commerce et d'investissement étaient prématurés et aussi une acceptation d'une courbe sous forme « U ». Cependant, Hanna et Oliva (2015) ont exploité la variable facteur travail comme moteur de croissance au Mexique. Il s'est avéré qu'il n'y a pas une relation entre la pollution et le facteur travail dans ce pays.

He 2006 a examiné la relation entre la croissance économique et l'environnement en Chine et en utilisant les effets de l'énergie, le transport et du commerce extérieur sur les émissions locales de pollution atmosphérique (dioxyde de soufre et particules de suie) à l'aide du modèle de Kuznets environnemental. L'analyse révèle une relation en U inversé pour le dioxyde de soufre mais une courbe en U pour les particules de suie. Cela suggère que les particules de suie telles que le carbone noir pourraient poser un problème environnemental plus grave en Chine que le dioxyde de soufre. En ce qui concerne le travail de Martinez-Zarzoso & Maruotti, 2011 l'étude analyse l'impact de l'urbanisation sur les émissions de CO<sub>2</sub> dans les pays en développement entre 1975 et 2003.

Cet article contribue à la littérature existant en examinant l'effet de l'urbanisation. Les résultats montrent une relation en forme de U entre l'urbanisation et les émissions de CO<sub>2</sub>. Pour Roca, 2002, et avec une analyse économétrique entre les préférences individuelles et la qualité de l'environnement, il a fourni une conclusion que ces variables suivent une courbe en forme U, et ceci revient au point lié aux différentes manières dont les coûts environnementaux sont pris.

On constate qu'aussi bien en termes de travaux sur la croissance économique et les déterminants de la pollution existe peu on se qui concerne les travaux pour le cas marocain. Sur la base de cette conjecture, cette étude vise à combler cette lacune et à fournir des preuves supplémentaires à cette littérature.

### **III- Méthodologie :**

Ce papier propose une estimation économétrique des séries temporelles basée sur une anatomie de modélisation. L'équation du modèle de CEK s'écrit sous la forme suivante Grossman & Krueger (1994) et Dinda (2003) :

$$Y_{it} = \alpha + \beta_1 x_{1t} + \beta_2 x_{1t}^2 + \beta_3 x_{3t} \dots \beta_p x_{pt} + \varepsilon_t$$

Avec  $Y_{it}$  est un indicateur de pollution, dans cette étude on a pris les émissions de CO<sub>2</sub> en Kilotonnes. La plupart des revus de littérature vérifient la relation entre la pollution et la croissance économique par un modèle cubique ou quadratique, dans notre étude on a utilisé un modèle d'ordre « 2 » Dinda 2003, avec  $x_{1t} = x_{2t}$  représentant un indicateur de croissance économique, mesuré par le produit intérieur brut constant. Suite à la revue de littérature empirique, deux variables exogènes vont être ajoutés à savoir la consommation de l'énergie par habitant et le ratio d'ouverture.

Notant que le ratio d'ouverture se calcule comme suit :

$$Ro = \frac{X + M}{Y_n}$$

Y : Le PIB nominal

X : Les exportation de biens et services

M : Les importation des biens et services

Les différentes formes de relation peuvent être définies comme suit :

**Tableau 1:** Les différentes formes de relation entre les coefficients du modèle

Relation linéaire positive	Relation linéaire négative
Si $\beta_1 > 0$ et $\beta_2 = 0$	Si $\beta_1 < 0$ et $\beta_2 = 0$
	
Relation en forme U	Relation en U inversé
Si $\beta_1 < 0$ et $\beta_2 > 0$	Si $\beta_1 > 0$ et $\beta_2 < 0$
	

Source : Par nos soins

- Si  $\beta_1 = 0$  et  $\beta_2 = 0$  : pas de relation entre la croissance économique et la variable environnementale
- Si  $\beta_1 > 0$  et  $\beta_2 = 0$  : relation positive entre la croissance économique et la variable environnementale
- Si  $\beta_1 < 0$  et  $\beta_2 = 0$  : relation négative entre la croissance économique et la variable environnementale
- Si  $\beta_1 < 0$  et  $\beta_2 > 0$  : Une relation en forme U entre la croissance économique et la variable environnementale
- Si  $\beta_1 > 0$  et  $\beta_2 < 0$  : Une relation « U » inversé entre la croissance économique et la variable environnementale, qui signifie acceptation de l'approche de Kuznets

Les principales variables habituellement utilisées pour expliquer les émissions de CO<sub>2</sub> sont le niveau de richesse ou la croissance économique (Grossman, Helpman, 1995 ; Ridzuan, 2019), la structure énergétique (Cerdeira et al., 2016 ; Gozgor, 2018), le taux d'ouverture internationale (Aklin, 2016 ; Baek et al., 2009 ; Cole, 2004) et plus récemment l'éco-innovation (Du et al., 2019 ; Mongo et al., 2021).

Toutes les variables du modèle sont présentées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 2:** Représentation des variables

Variables	Définition	Source	Abréviation	Type
<b>Emission de Dioxyde de Carbone</b>	Représente le rejet du gaz CO <sub>2</sub> dans l'atmosphère terrestre (INSEE)	International Energy Agency - AIE	<b>LECO<sub>2</sub></b>	Variable dépendante
<b>Croissance économique</b>	Représente l'évolution de la richesse produite (WDI)	Banque Mondiale - World Development Indicators	<b>LPIBr</b>	Variable indépendante

<b>La consommation de l'énergie par habitant</b>	Un indicateur de mesure des dépenses énergétique par individus (OCDE) ;	International Energy Agency - AIE	<b>LCE</b>	Variable indépendante
<b>Ratio d'ouverture</b>	Mesure le niveau d'ouverture d'un pays vers le reste du monde ;	Banque mondiale-World Development Indicators	<b>LRO</b>	Variable indépendante

Source : Par nos soins

Les données utilisées dans cette étude sont d'une amplitude annuelle de 1990 à 2019. Pour la croissance économique (PIB r et PIB n), exportation et Importation sont à partir de la base de la banque mondiale WDI. Cependant l'émission de dioxyde de carbone et la consommation de l'énergie par habitant sont à partir de la base AIE.

Nous tenons à préciser que nous avons introduit le logarithme népérien (ln) à l'ensemble des variables pour :

- Avoir une homogénéité de données ;
- Eliminer l'effet temps ;

Afin de vérifier l'hypothèse du courbe environnemental de Kuznets, on a utilisé l'approche ARDL – (Pesaran et al.2001). Le choix de ce modèle est basé sur la stationnarité des variables que vont être présenté dans la partie résultats.

#### **IV- Résultats**

Le coefficient de corrélation permet d'étudier la liaison, la relation et la dépense entre deux variables. Ci-dessous, en remarque qu'il existe une forte corrélation pour l'ensemble de ces variables. La corrélation entre Le ratio d'ouverture / Émission de CO<sub>2</sub> et PIB réelle / émission de CO<sub>2</sub> représente 95% et 99%. Concernant la relation entre la consommation de l'énergie par habitant et l'émission de gaz dioxyde ne représente que 61%.

**Tableau 3:** Matrice des coefficients de corrélation

	<b>Ratio d'ouverture</b>	<b>Pib r</b>	<b>Emission de CO<sub>2</sub></b>	<b>Consommation de l'énergie par hab,</b>
<b>Ratio d'ouverture</b>	100,00%			
<b>Pib r</b>	93,69%	100,00%		
<b>Emission de CO<sub>2</sub></b>	95,11%	99,28%	100,00%	
<b>Consommation de l'énergie par hab,</b>	60,93%	65,76%	61,68%	100,00%

Source : Par nos soins, Eviews

## 1. Statistique descriptive :

Le tableau ci-dessous, montre que l'ensemble des variables suivent une loi normale sauf pour la consommation de l'énergie par habitant (la probabilité de cette variable est inférieure à 5%).

**Tableau 4:** Statistique descriptive

	Ratio d'ouverture	Pib r	Emission de CO2	Consommation de l'énergie par hab,
<b>Moyenne</b>	0,33	69200000000,00	44124,47	496330,80
<b>Jarque-Bera</b>	3,09	2,62	2,53	316,05
<b>Probabilité</b>	0,21	0,27	0,28	0,00
<b>Observations</b>	30	30	30	30

Source : Par nos soins, Eviews

## 2. Stationnarité des variables :

Avant de procéder à l'estimation du modèle, et de voir la relation à long terme, il serait légitime de stationnariser la série. Dans notre étude nous avons utilisé le test ADF – Augmented Dickey Fuller comme le montre le tableau n° 5. Nos résultats montrent que « LPibr & LECO<sub>2</sub> » sont stationnaires en première différence – I(1), et le reste des variables sont toutes stationnaires en niveau – I(0).

**Tableau 5:** Stationnarité avec Augmented Dickey Fuller - ADF

Variable	Level		1 st		Décision	Modèle d'estimation
	T, Stat	p-Value	T, Stat	p-Value		
<b>LPibr</b>	-0,935371	0,9348	-11,69651	0	I(1)	Autoregressive Distributed Lag - <b>ARDL</b>
<b>LPibr2</b>	-5,488756	0,0011	-	-	I(0)	
<b>LCE</b>	-5,691337	0,0004	-	-	I(0)	
<b>LECO2</b>	-1,572695	0,779	-4,99954	0,0022	I(1)	
<b>RO</b>	-3,692244	0,0391	-	-	I(0)	

Source : Par nos soins, Eviews

## 3. Test de relation de long terme :

Afin de tester la relation à long terme, nous avons utilisé un test de cointégration avec l'approche de Bound test. Les résultats du test montrent l'existence d'une relation à LT, car le Fisher calculé (F. stat = 6.07) est supérieur à l'ensemble des valeurs critiques (1%, 2.5% 5% et 10%) comme il est présenté dans le tableau-ci-dessous :

**Tableau 6:** Test de cointégration : Relation de long terme

Règle de décision			F-statistic	Décision
Asymptotique : n = 1000	I(0)	I(1)		
10%	2,2	3,09	6,073236	<i>Acceptation de la Cointégration à Long terme</i>
5%	2,56	3,49		
2,5%	2,88	3,87		
1%	3,29	4,37		

Source : Par nos soins, Eviews

4. Estimation du modèle :

*Modèle de court terme :*

L'estimation à court terme montre que le coefficient de cointégration est entre 0 et 1, et il est négatif et statistiquement significatif (par le test de Student). Ce qui montre une vitesse d'ajustement de 11% pour que le modèle retourne à l'équilibre. Les coefficients exogènes du modèle sont tous statistiquement significatifs au degré de 10%. Ainsi la statistique de Fisher indique que le modèle à son tour est globalement et conjointement significatif.

**Tableau 7:** Estimation du modèle de court terme

Variables du modèle	Coefficient	T- Prob
<i>D(LECO2(-1))</i>	-0,128525	0,0562
<i>LCE(-1)</i>	-0,309901	0,0266
<i>D(LPIBR(-1))</i>	-9,202039	0,0814
<i>D(LPIBR(-2))</i>	-0,244093	0,0695
<i>LPIBR2(-1)</i>	2,346547	0,0479
<i>LPIBR2(-2)</i>	-4,655896	0,0769
<i>LRO(-1)</i>	-0,720515	0,0392
<i>CointEq(-1)</i>	-0,119598	0,0066
<b>R-squared</b>	0,694588	
<b>F-statistic</b>	10,91528	
<b>Durbin-Watson stat</b>	2,002548	

Source : Par nos soins, Eviews

- Equation de court terme :

$$LECO_2_t = -0,128 \Delta dLECO_2_{(-1)} - 0,309 \Delta LCE_{(-1)} - 9,202 \Delta dLPIBR_{(-1)} - 0,244 \Delta dLPIBR_{(-2)} + 2,346 \Delta(LPIBR_{(-1)})^2 - 4,655 \Delta(LPIBR_{(-2)})^2 - 0,72 \Delta LRO_{(-1)}$$

*Modèle de long terme :*

Les résultats d'estimation de long terme montrent qu'il existe un effet positif de la consommation d'énergie, le carré du produit intérieur brut et le ratio d'ouverture commerciale sur l'émission de CO<sub>2</sub>. Néanmoins, le produit intérieur brut impact négativement sur les émissions de CO<sub>2</sub>, avec une vitesse d'ajustement de 0,77. En effet, si la consommation d'énergie augmente de 1%, les émissions de CO<sub>2</sub> vont aussi augmenter de 0,006%. Par ailleurs, l'augmentation du ratio d'ouverture commerciale vers le reste du monde par 1% va à son tour soulever les émissions du dioxyde de Carbone par 1,382%. Ainsi, un essor de la croissance économique de 1% pousse à une baisse des émissions de CO<sub>2</sub>.

**Tableau 8:** Estimation du modèle de long terme

<b>Variables du modèle</b>	<b>Coefficient</b>	<b>T- Prob</b>
<i>LCE</i>	0,006825	0,0055
<i>D(LPIBR)</i>	-4,267875	0,0226
<i>LPIBR2</i>	2,368529	0,0432
<i>LRO</i>	1,382795	0,0111
<i>C</i>	0,777279	0,0289
<b>R-squared</b>	0,784448	
<b>F-statistic</b>	8,917868	
<b>Durbin-Watson stat</b>	2,068307	

Source : Par nos soins, Eviews

- Equation de long terme :

$$LECO_{2t} = -0,777 + 0,006 LCE - 4,267 dLPIBR + 2,368 LPIBR^2 + 1,382 LRO$$

5. Robustesse et validation du modèle :

Afin de vérifier la validité de notre modèle, nous avons effectué des tests de robustesse à savoir : Normalité, Hétéroscédastisité, Autocorrélation des erreurs et Stabilité du modèle.

*5.1- Normalité :*

A partir du test Jarque-Bera (le tableau n° 9), on conclut que la probabilité est supérieure à 5%. Donc le modèle suit une loi normale.

**Tableau 9:** Test de Jarque-Bera

<b>Caractéristiques</b>	<b>Valeurs</b>
<i>Skewness</i>	0,416
<i>Kurtosis</i>	3,26
<i>Jarque-Bera</i>	0,857
<i>Probabilité</i>	65%

Source : Par nos soins, Eviews

5.2- *Hétéroscédasticité :*

Pour tester l'hétéroscédasticité nous avons procédé par un test de Breush-Pagan-Godfrey. La probabilité de Khi-Deu est supérieure à 5%, donc on rejette l'hypothèse nulle et on accepte l'hypothèse alternative que le modèle est homoscédastique.

**Tableau 10:** Test de Breush-Pagan-Godfrey

<b>F-statistic</b>	0,49095	<b>Prob, F(11.15)</b>	88,11%
<b>Obs*R-squared</b>	7,14753	<b>Prob, Chi-Square(11)</b>	78,70%
<b>Scaled explained SS</b>	2,4949	<b>Prob, Chi-Square(11)</b>	99,59%

Source : Par nos soins, Eviews

5.3- *Autocorrélation des erreurs :*

La probabilité du test de Braush-Godfrey est supérieure à 5%, donc on rejette l'hypothèse nulle, et on accepte que l'hypothèse alternative que les résidus du modèle ne soient pas autocorrélés.

**Tableau 11:** Breush-Godfrey

<b>F-statistic</b>	1,15376	<b>Prob, F(2.13)</b>	34,57%
<b>Obs*R-squared</b>	4,07008	<b>Prob, Chi-Square(2)</b>	13,07%

Source : Par nos soins, Eviews

5.6- *Corrélogramme des résidus :*

A partir du corrélogramme, on observe que l'ensemble des barres sont dans l'intervalle de confiance. Ceci peut se traduire par une stabilité des résidus dans le temps.

**Figure 2:** Corrélogramme des résidus

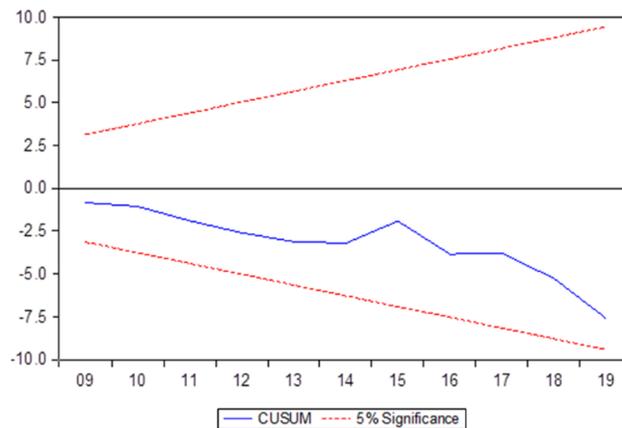
Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob*
		1 -0.074	-0.074	0.1628	0.687
		2 -0.135	-0.141	0.7312	0.694
		3 0.045	0.024	0.7975	0.850
		4 -0.008	-0.022	0.7998	0.938
		5 0.170	0.182	1.8305	0.872
		6 -0.232	-0.223	3.8419	0.698
		7 -0.158	-0.149	4.8198	0.682
		8 -0.093	-0.217	5.1737	0.739
		9 -0.070	-0.127	5.3862	0.799
		10 -0.084	-0.203	5.7133	0.839
		11 -0.041	-0.027	5.7969	0.887
		12 -0.042	-0.126	5.8882	0.922

Source : Par nos soins, Eviews

5.7- *Stabilité du modèle par le test de CUSUM :*

La figure 3, et un test de CUSUM qui affirme les résultats du corrélogramme. On remarque que la courbe bleue demeure à l'intérieur de l'intervalle de 5%, ce qui conclut que les coefficients du modèle sont stables dans le temps.

Figure 3: Test de CUSUM



Source : Par nos soins, Eviews

## V- Conclusion

L'objectif de cet article est de vérifier l'hypothèse principale de Kuznets (Courbe de Kuznets Environnementale - CKE). Cette étude vise à comparer et à contraster les résultats de la relation empirique entre la croissance économique et la qualité de l'environnement (mesurée par le CO<sub>2</sub>) en utilisant un modèle économétrique du type Autoregressive distributed lag- ARDL annuelle de 1990 à 2019. Cette étude révèle que l'hypothèse CKE n'est pas validée. En d'autres termes, l'estimation indique une relation en forme U entre la croissance économique et la variable environnementale car  $\beta_1 > 0$  et  $\beta_2 < 0$ .

En effet, la non-validation de cette hypothèse à long et court terme indique que le Maroc s'est anticipé à une transition énergétique ce qui explique l'incitation des pouvoirs publics à l'utilisation de l'énergie verte et l'intégration de technologies modernes, plus propres et plus efficaces qui favorisent des comportements respectueux de l'environnement dans l'ensemble de l'économie.

Cependant, ces analyses valident l'existence d'une relation entre la croissance et la pollution. Montrant ainsi que toute augmentation du produit intérieur brut entraînerait une augmentation du niveau de pollution. En ce qui concerne l'approche économétrique, le modèle est statistiquement significatif. Autrement dit, l'ensemble des tests sont acceptés : pas d'autocorrélation des erreurs, le modèle est hétéroscédastique et suit une loi Normale.

## Référence bibliographique :

- 1) Alagador, Diogo, Jorge Orestes Cerdeira, and Miguel Bastos Araújo. "Climate change, species range shifts and dispersal corridors: an evaluation of spatial conservation models." *Methods in Ecology and Evolution* 7.7 (2016): 853-866.
- 2) Berthe, Alexandre, and Luc Elie. "Mechanisms explaining the impact of economic inequality on environmental deterioration." *Ecological economics* 116 (2015): 191-200.
- 3) Boyce, David E., Yu-Fang Zhang, and Mary R. Lupa. "Introducing" feedback" into four-step travel forecasting procedure versus equilibrium solution of combined model." *Transportation Research Record* 1443 (1994): 65.

- 4) Cole, Matthew A. "Trade, the pollution haven hypothesis and the environmental Kuznets curve: examining the linkages." *Ecological economics* 48.1 (2004): 71-81.
- 5) Copeland, Brian R., and M. Scott Taylor. "Trade, growth, and the environment." *Journal of Economic literature* 42.1 (2004): 7-71.
- 6) Demir, Ender, et al. "Does economic policy uncertainty predict the Bitcoin returns? An empirical investigation." *Finance Research Letters* 26 (2018): 145-149.
- 7) Dinda and Coondoo (2006). Income and emission: a panel data-based cointegration analysis. *Ecological Economics*, 57.167–181.
- 8) Dinda, (2004). Environmental Kuznets curve hypothesis: A survey. *Ecological economic*.44, 431-455.
- 9) Dinda, (2005). A theoretical basis for the environmental Kuznets curve. *Ecological economic*.53, 403-413.
- 10) Dogan, Eyup, and Fahri Seker. "The influence of real output, renewable and non-renewable energy, trade and financial development on carbon emissions in the top renewable energy countries." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 60 (2016): 1074-1085.
- 11) Gozgor, Giray, Chi Keung Marco Lau, and Zhou Lu. "Energy consumption and economic growth: New evidence from the OECD countries." *Energy* 153 (2018): 27-34.
- 12) Grossman et Krueger. 1991 "Environmental impacts of the North American Free Trade Agreement", NBER working paper 3914.
- 13) Grossman, Gene M., and Alan B. Krueger. "The inverted-U: what does it mean?." *Environment and Development Economics* 1.1 (1996): 119-122.
- 14) Hanna, Rema, and Paulina Oliva. "The effect of pollution on labor supply: Evidence from a natural experiment in Mexico City." *Journal of Public Economics* 122 (2015): 68-79.
- 15) Harold Hotelling, 1931. "The Economics of Exhaustible Resources," *Journal of Political Economy*, University of Chicago Press, vol. 39, pages 137-137.
- 16) He, Ji-Huan. "Some asymptotic methods for strongly nonlinear equations." *International journal of Modern physics B* 20.10 (2006): 1141-1199.
- 17) Hill J. R. & Magnani E. (2000): An exploration of the conceptual and empirical basis of the environmental Kuznets curve, School of Economics, university of New South Wales, Sydney, mimeo.
- 18) Holtz-Eakin D. & Selden T. M. (1995): Stocking the fires? CO2 emissions and economic growth, *Journal of Public Economics*, Vol. 57, pp 85-101.
- 19) Jobert T. and Karanfil F. (2007): Sectoral energy consumption by source and economic growth in Turkey, *Energy Policy*, vol. 35, pp 5447-5456.
- 20) Kijima, M., Nishide, K., & Ohyama, A. (2010). Economic models for the environmental Kuznets curve: A survey. *Journal of Economic Dynamics & Control*, 34(7), 1187–1201.
- 21) Kuznets Curve. The Spanish Case », *Energy Policy*, 29(7), pp.553-556
- 22) Lantz, Van, and Q. Feng. "Assessing income, population, and technology impacts on CO2 emissions in Canada: where's the EKC?." *Ecological Economics* 57.2 (2006): 229-238.
- 23) Magnani, Elisabetta. "The Environmental Kuznets Curve, environmental protection policy and income distribution." *Ecological economics* 32.3 (2000): 431-443.
- 24) Martínez-Zarzoso, Inmaculada, and Antonello Maruotti. "The impact of urbanization on CO2 emissions: evidence from developing countries." *Ecological Economics* 70.7 (2011): 1344-1353.
- 25) Millimet D. L. et al. (2000) The Environmental Kuznets Curve: real progress or misspecified models, Department of Economics, Southern Methodist University, Dallas, mimeo SO2 emission: A case of Indian cities. *Ecological Indicators*, 72, 881–894.

- 26) Omri, Anis, and Fateh Belaïd. "Does renewable energy modulate the negative effect of environmental issues on the socio-economic welfare?." *Journal of Environmental Management* 278 (2021): 111483.
- 27) Panayotou T. (1997) *Economic growth and the environment*, Economic Survey of Europe, No2.
- 28) Pandit, M., & Paudel, K. P. (2016). Water pollution and income relationship: A seemingly unrelated partially linear analysis. *Water Resources Research*, 52(10), 7668–7689.
- 29) Sarkodie, S. A., & Strezov, V. (2019). Effect of foreign direct investments, economic development and energy consumption on greenhouse gas emissions in developing countries. *The Science of the Total Environment*, 646, 862–871
- 30) Selden T. and Song D. (1994) Environmental quality and development: Is there a Kuznets Curve for air pollution emissions? *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 27, pp 147-162.
- 31) Shafik N. (1994) *Economic development and environmental quality: an econometric analysis*, Oxford Economic Papers, Vol. 46, pp 757-773.
- 32) Shafik, Nemat & Bandyopadhyay, Sushenjit, 1992. "Economic growth and environmental quality : time series and cross-country evidence," Policy Research Working Paper Series 904, The World Bank.
- 33) Sinha, A., & Bhattacharya, J. (2017). Environmental Kuznets curve estimation for SO<sub>2</sub> emission: A case of Indian cities. *Ecological Indicators*, 72, 881–894.
- 34) Stern (2017) the environmental Kuznets curve after 25 years *J. Bioecon.* 19 7–28.
- 35) Stern D. I., Common M. S. (2004) is there an environmental Kuznets curve for sulfur, *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 41, pp 162-178.
- 36) Stern D. I., Common M. S. and Barbier E. B (1996) Economic growth and environmental degradation: The Environmental Kuznets Curve and sustainable development, *World Development*, vol 24, pp 1151-1160.
- 37) Torras M. & Boyce J. K. (1998) Income, inequality and pollution: A reassessment of the environmental Kuznets curve, *Ecological Economics*, Vol. 25, pp 147-160.
- 38) Wilkinson, Richard, and Kate Pickett. "The spirit level." *Why equality is better for everyone* (2010).