

Alfred B. K. DOSSA

ORCID : [0009-0001-4153-9235](https://orcid.org/0009-0001-4153-9235)

Email : dossa.alfred@yahoo.fr

Centre Interfacultaire de Formation et de Recherche en Environnement pour
le Développement Durable (CIFRED) – Université d'Abomey-Calavi

Estimation de la Courbe Environnementale de Kuznets dans le contexte de l'économie béninoise

Résumé : Cette recherche estime la Courbe Environnementale de Kuznets (CEK) pour l'économie béninoise. Elle utilise la méthode des MCO et une Équation Quadratique sur une période de 41 ans (1980 – 2020). Les résultats affichent une croissance économique moyenne de 4,267% qui évolue avec une moyenne d'émissions de CO₂ (ECO₂) de 0,289t/hbt. A court terme, une augmentation de 1% de croissance, provoque une augmentation d'ECO₂ de 5,38%, tandis qu'à long terme, une augmentation de 1% de croissance, provoquera une baisse de 7,39% d'ECO₂ entre 2025 – 2030 et une baisse de 9,04% d'ECO₂ entre 2030 – 2050. La forme en U-inversé de la CEK est vérifiée et atteint un environnement relativement non pollué pour 500 \$ US par habitant et par an, avec comme point de retournement 250 \$ US.

Mot clés : Courbe environnementale de Kuznets – MCO - Équation quadratique - Bénin.

Classification J.E.L. : O44 – Q52 – Q53 – Q56 – O13

Estimation of the Environmental Kuznets Curve in the context of the Beninese economy

Abstract : This research estimates the Environmental Kuznets Curve (CEK) for the Beninese economy. It uses the OLS method and a Quadratic Equation over a 41-year period (1980-2020). The results show an average economic growth of 4.267% which evolves with an average CO₂ emission (ECO₂) of 0.289t/inhabitant. In the short term, an increase of 1% in growth will cause an increase in ECO₂ of 5.38%, while in the long term, an increase of 1% in growth will cause a decrease of 7.39% in ECO₂ between 2025 – 2030 and a 9.04% drop in ECO₂ between 2030 – 2050. The inverted U-shape of the EKC is verified and achieves a relatively unpolluted environment for US\$500 per capita per year, with as turnaround point US\$250.

Keywords: Environmental Kuznets curve – OLS – Quadratic equation – Benin.

J.E.L. classification : O44 – Q52 – Q53 – Q56 – O13

Received for publication: 20231211.

Final revision accepted for publication: 20240630

1. Introduction

La masse d'émissions polluantes imposée à l'environnement dans le processus de création de la richesse et le rythme de l'activité économique constitue un problème majeur à propos duquel sont généralement formulées des hypothèses controversées, dont l'une est la Courbe Environnementale de Kuznets (CEK). Plusieurs études indiquent que la croissance économique ne peut que s'accompagner d'une détérioration de l'environnement en raison de l'accroissement, d'une part, des consommations d'énergie et de matières premières, et, d'autre part, des émissions de substances nocives (Torras et Boyce, 1998 ; Hettige *et al.*, 2000 ; Dossa, 2021 et Dossa 2022).

L'analyse d'une relation hypothétique entre dégradations environnementales et croissance économique trouve son origine dans une recherche particulière réalisée par Simon Kuznets. En se basant sur des données des Etats-Unis et du Royaume Uni, Kuznets (1955) a estimé que l'inégalité des revenus tendait à croître à de faibles niveaux de développement pour s'estomper par la suite, ce qui donne une relation de « U-inversé » entre inégalité des revenus et du produit intérieur brut (PIB) par habitant.

Quelques décennies plus tard, Grossman et Krueger (1991) décident de tester cette hypothèse de courbe en U-inversé pour la relation entre dégradations environnementales et PIB par habitant. Cette hypothèse prendra alors le nom de Courbe Environnementale de Kuznets (CEK). L'idée est que, dans les pays où le niveau de développement est relativement faible, l'environnement n'est pas trop affecté par les comportements économiques des agents. Une fois qu'un pays se développe économiquement, en revanche, son impact environnemental augmente et entraîne davantage de contraintes sur les ressources naturelles, jusqu'à ce qu'un certain niveau de développement soit atteint. Une fois ce niveau critique atteint et dépassé, les contraintes environnementales diminueraient et le pays verrait son environnement naturel s'améliorer. Ceci donne lieu à une courbe en U-inversé entre revenu et dégradations environnementales.

L'objectif de la présente recherche est d'étudier les effets de la croissance économique sur la qualité de l'environnement, mesurée par les émissions de dioxyde de carbone (CO₂), afin d'estimer la validité de la Courbe Environnementale de Kuznets (CEK) dans le contexte de l'économie béninoise.

2. Revue empirique et collecte des données

2.1. Revue empirique sur la Courbe Environnementale de Kuznets (CEK)

L'hypothèse de la CEK repose sur une relation en U-inversé entre la dégradation de l'environnement et la croissance économique. Elle indique que durant la phase de la croissance (augmentation du revenu), la détérioration de l'environnement augmente ; mais à partir d'un certain niveau de revenu (point de retournement), une amélioration de l'état de l'environnement se produit. En effet, à des niveaux de revenus faibles, la quantité et l'intensité des dégradations environnementales d'origine anthropique se limitent à l'impact des activités économiques de subsistance. A mesure que l'agriculture s'intensifie, que la population s'urbanise et que les industries entament leur décollage, l'extraction accélérée des ressources naturelles et les rejets massifs de polluants accentuent la pression sur les écosystèmes naturels (Lantz and Feng, 2006).

Cependant, à mesure que s'améliorent les conditions de vie matérielles, les individus sont en mesure de sacrifier une partie de leurs revenus monétaires en faveur de l'environnement (Jalil and Feridum, 2011 ; Richmond and Kaufman, 2006). Au début des années 1990, plusieurs auteurs vont utiliser les premières bases de données représentatives pour mener des études sur les données de panel reliant les niveaux de revenus par tête et divers indicateurs de pollution (Grossman et Krueger 1995 ; Shafik, 1994). Ces travaux ont connu un vif succès, notamment grâce aux conclusions optimistes qu'ils laissaient entrevoir. Pour valider l'hypothèse de la CEK, Grossman et Krueger (1991) sont les premiers à montrer que certains polluants atmosphériques locaux ou régionaux comme le dioxyde de soufre (SO_2) suivent une trajectoire en U-inversé en fonction du revenu aux Etats-Unis.

Cette analyse a ensuite été étendue à d'autres pays et polluants (Grossman et Krueger, 1995) et donna lieu à un seuil de revenu (revenu au delà duquel les indicateurs diminuent) d'environ \$8 000 (en 1985 US\$) pour la plupart des indicateurs. Plutôt que d'en faire une généralisation, ils en déduisirent que la croissance du PIB ne mettait pas nécessairement en péril l'environnement. D'autres études suivirent et obtinrent des résultats similaires, principalement pour les polluants locaux ayant un impact direct sur la santé (Shafik & Badhyopadhyay, 1992 et Selden et Song, 1994). Le cas des polluants globaux comme le dioxyde de carbone (CO_2) est, par contre, bien moins consensuel (Kaika et Zervas, 2013). Alors que certains observent une CEK, d'autres observent une relation strictement croissante (Coondoo et Dinda, 2008), une relation en forme de N ou une CEK avec un seuil de revenu bien en dehors de l'échantillon (Faucheux *et al.*, 2012).

Grossman et Krueger (1991) proposent trois explications menant à la CEK : l'effet « échelle », l'effet « technique » et l'effet « composition ». Le premier consiste à dire que, toutes choses égales par ailleurs, plus de croissance économique, implique de facto une empreinte environnementale plus forte. Le deuxième suppose que les avancées technologiques en termes de productivité (moins de ressources nécessaires à la production) et d'émissions (des technologies plus propres, par exemple) permettront de limiter cet impact environnemental. La combinaison de ces deux effets, avec une suprématie de l'effet échelle sur l'effet technique aux premiers stades de développement et l'inverse une fois un certain niveau de revenu atteint, a pour conséquence l'émergence d'une CEK. L'effet composition permet, à lui seul, aussi d'expliquer cette relation.

2.2. Collecte et source des données

La collecte des données a nécessité des recherches approfondies auprès de diverses sources officielles, telles que la Banque mondiale, l'Institut National de la Statistique et de la Démographie (INStAD, 2022), le Programme des Nations Unies pour l'environnement, le rapport de la Banque Africaine de Développement (BAD, 2022), l'Organisation pour la Coopération et le Développement Économiques (OCDE) et le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD) sur les « Perspectives économiques en Afrique 2022. Les séries temporelles couvrent la période de 1980 à 2020 et permettent d'analyser les tendances à long terme.

3. Modèles d'étude

Deux (02) modèles sont utilisés dans le cadre de la présente recherche. Il s'agit du Modèle de Prévision Linéaire par la méthode des Moindres Carrés Ordinaires (MCO) et du Modèle d'Équation Quadratique (MEQ).

3.1. Prévision Linéaire par les MCO

3.1.1. Modèle théorique

Soit le modèle : $Y_i = \mu + \beta X_i + \varepsilon_i$, avec $i = 1.., n$. On formule les hypothèses suivantes :

- $E(\varepsilon_i) = 0$
- $Var(\varepsilon_i) = \sigma^2$
- ε_i sont des variables indépendantes et identiquement distribuées (*i.i.d.*), de loi gaussienne.
- X_i sont des variables déterministes.

La méthode des moindres carrés ordinaires (MMCO) consiste à déterminer les valeurs μ et β en minimisant la somme des carrés résiduelle (SCR) :

$$SCR(\mu, \beta) = \sum_{i=1}^n (Y_i - (\mu + \beta X_i))^2 \quad (1)$$

Les solutions de la MMCO sont les suivantes :

$$\hat{\beta} = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})(X_i - \bar{X})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad \text{et} \quad \hat{\mu} = \bar{Y} - \hat{\beta} \bar{X} \quad (2)$$

Selon [Fourastié et Levy \(1993\)](#), le principe des moindres carrés, consiste à chercher la droite du type $y = ax + b$ (avec $b = \mu$, appelé la constante et $a = \beta$, la pente de la droite de régression), qui minimise ($M(b, a)$) la somme quadratique des déviations des mesures aux prédictions. Si on a : $SCR(\mu, \beta) = M(b, a)$, alors :

$$M(b, a) = \sum_{i=1}^n (y_i - b - ax_i)^2 \quad (3)$$

Le minimum s'obtient en annulant les dérivées partielles par rapport à la constante b : $(\frac{\partial M(b, a)}{\partial b})$ et au coefficient a : $(\frac{\partial M(b, a)}{\partial a})$, ce qui donne :

$$\begin{cases} \frac{\partial M(b, a)}{\partial b} = - \sum_{i=1}^n 2(y_i - b - ax_i) = 0 \\ \frac{\partial M(b, a)}{\partial a} = - \sum_{i=1}^n 2(y_i - b - ax_i)x_i = 0 \end{cases} \quad (4)$$

On obtient un système de 02 équations à 02 inconnues, qui peuvent également s'écrire :

$$\begin{cases} \bar{y} = b + a\bar{x} \\ \sum_{i=1}^n x_i y_i - b \sum_{i=1}^n x_i = a \sum_{i=1}^n x_i^2 = 0 \end{cases} \quad (5)$$

La première équation montre que la droite passe par (\bar{x}, \bar{y}) et on obtient : $b = \bar{y} - a\bar{x}$

En remplaçant b par sa valeur dans la seconde équation divisée par n, on a :

$$\begin{aligned} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\bar{y} - a\bar{x})\bar{x} - a \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i y_i - \bar{x} \cdot \bar{y} - a \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 - \bar{x}^2 \right) \quad (6) \\ &= s_{xy} - b s_x^2 \\ &= 0 \end{aligned}$$

Ce qui donne :

$$\begin{cases} a = \frac{s_{xy}}{s_x^2} \\ b = \bar{y} - \frac{s_{xy}}{s_x^2} \bar{x} \end{cases} \quad (7)$$

La droite de régression permettant de faire des prévisions est donc :

$$y = \bar{y} - \frac{s_{xy}}{s_x^2} \bar{x} + \frac{s_{xy}}{s_x^2} x \text{ ou } y - \bar{y} = \frac{s_{xy}}{s_x^2} (x - \bar{x}) \quad (8)$$

En tenant compte des hypothèses formulées plus haut sur le modèle : $Y_i = \mu + \beta X_i + \varepsilon_i$, avec $i = 1, \dots, n$, un test sera réalisé en régression simple pour tester la significativité de la régression. Il s'agit du test sur la nullité de la pente β . On va alors tester l'hypothèse H_0 contre H_1 suivante :

- $H_0 : \beta = 0$ (9)
- $H_1 : \beta \neq 0$.

Deux (02) tests (test de Student et test de Fisher) vont permettre de décider quelle hypothèse choisir :

- **Test de Student** : Sachant que $\hat{\beta}$ est un estimateur gaussien, et la statistique \hat{t} , telle que : $\hat{t} = \frac{\hat{\beta} - \beta}{\sqrt{\text{var}(\hat{\beta})}}$ (10)

est une statistique qui suit une loi de Student, la règle de décision à appliquer vient tout

$$\text{naturellement : } H_0 \Leftrightarrow |\hat{t}| = \frac{|\hat{\beta}|}{\sqrt{\text{var}(\hat{\beta})}} \leq t_\alpha, \text{ avec } \alpha = \mathbb{P}(|t_{n-2}| > t_\alpha) \quad (11)$$

L'estimation des paramètres de "Pr ($> |t|$)" donne le résultat de ce test. C'est un indicateur de plausibilité de l'hypothèse H_0 qui prend une valeur comprise entre 0 et 1. Plus cette valeur est élevée, plus il sera raisonnable de retenir l'hypothèse H_0 . Cette valeur est :

- Significative lorsque “Pr ($> |t|$)” < 0.05 ;
- Très significative lorsque “Pr ($> |t|$)” < 0.01 ;
- Hautement significative lorsque “Pr ($> |t|$)” < 0.001
- **Test de Fisher** : fondé sur l’équation d’analyse de variance (SCT = SCE + SCR), présentée dans le tableau 1

Tableau 1 : Analyse de la variance

Source	Somme des carrés	Degré de liberté	Carré moyen
Expliquée	$\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2 = \text{SCE}$	1	SCE
Résiduelle	$\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \text{SCR}$	$n - 2$	$\text{SCR} / (n - 2)$
Totale	$\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 = \text{SCT}$	$n - 1$	$\text{SCT} / (n - 1)$

Source : Adaptée de [Liu \(2014\)](#)

Le tableau 1 permet de calculer le coefficient de détermination. C’est le résultat clé de l’analyse de régression utilisé pour prédire l’avenir ou tester le modèle. R^2 est le carré du coefficient de corrélation.

$$R^2 = \frac{\text{SCE}}{\text{SCT}} \Rightarrow R = \pm \sqrt{\frac{\text{SCE}}{\text{SCT}}} \quad (12)$$

La valeur de R^2 est comprise entre 0 et 1, et plus la valeur de R^2 est élevée, meilleure est la prédiction et la force du modèle. Par ailleurs, avec l’équation d’analyse de variance (SCT = SCE + SCR) et sous les hypothèses de la méthode des moindres carrés ordinaire (MCO), on peut démontrer que :

$$\mathbb{E} \left(\frac{\text{SCR}}{n-2} \right) = \sigma^2 \quad (13)$$

On peut démontrer aussi que : $H_0 : \beta = 0 \Leftrightarrow \mathbb{E}(\text{SCE}) = \sigma^2$ et que $H_1 : \beta \neq 0 \Leftrightarrow \mathbb{E}(\text{SCE}) > \sigma^2$. Il en résulte l’équivalence absolue des deux couples d’hypothèses suivantes.

$$H_0 : \beta = 0 \Leftrightarrow H_0 : \frac{\mathbb{E}(\text{SCE})(n-2)}{\mathbb{E}(\text{SCR})} = 1 \quad (14)$$

$$H_1 : \beta \neq 0 \Leftrightarrow H_1 : \frac{\mathbb{E}(\text{SCE})(n-2)}{\mathbb{E}(\text{SCR})} > 1 \quad (15)$$

Prenons la statistique de test \hat{F} telle que : $\hat{F} = (n - 2) \frac{\text{SCE}}{\text{SCR}}$, on peut démontrer que cette statistique suit une loi de Fisher à (1, $n-2$) degrés de liberté. La règle de décision s’écrit : $H_0 \Leftrightarrow \hat{F} \leq F_\alpha$ avec $\alpha = \mathbb{P}(F(1, n - 2) > F_\alpha)$ (16)

$\text{Pr}(> F)$ est l’est un indicateur de plausibilité de l’hypothèse H_0 qui prend une valeur comprise entre 0 et 1. Plus cette valeur est élevée, plus il sera raisonnable de retenir l’hypothèse H_0 .

3.1.2. *Modèle empirique et spécification*

Pour faire les prévisions des ECO₂ et des taux de croissance, il est nécessaire de réaliser un tableau préparatoire (tableau 2), dans lequel x_i correspondra au rang de la période i (1, 2, 3, .. ,n) ; y_i aux émissions de CO₂ et Z_i aux taux de croissance du PIB. En créant ce tableau, il est possible de trouver les éléments de l'équation pour réaliser la prévision. L'équation recherchée est de la forme : Y = ax + b (pour les ECO₂) et Z = ax + b (pour la croissance économique). Il faut donc calculer les paramètres « a » et « b ». Avant de calculer le paramètre « a », et déduire celui de « b », il est nécessaire de calculer les moyennes de « x » (\bar{x}), de « y » (\bar{y}) et de « Z » (\bar{z}). Enfin, il est nécessaire de calculer la corrélation linéaire R_{XY} et R_{XZ} pour mesurer la dépendance linéaire entre les variables X et Y d'une part, et X et Z, d'autre part. On a :

$$-1 \leq R_{XY} \leq 1 \text{ et } -1 \leq R_{XZ} \leq 1$$
$$0 \leq R^2_{XY} \leq 1 \text{ et } 0 \leq R^2_{XZ} \leq 1$$

Tableau 2 : Les moyennes et les grandeurs du modèle empirique

Équation des prévisions des Émissions de CO ₂ : Y = ax + b		Équation des prévisions des taux de Croissance Économique : Z = ax + b	
Éléments	Formules	Éléments	Formules
Moyenne de x	$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$	Moyenne de x	$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$
Moyenne de y	$\bar{y} = \frac{\sum Y_i}{n}$	Moyenne de Z	$\bar{Z} = \frac{\sum Z_i}{n}$
Le coefficient de l'équation : a	$a = \frac{\sum x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sum x_i^2 - n \bar{x}^2}$	Le coefficient de l'équation : a	$a = \frac{\sum x_i z_i - n \bar{x} \bar{Z}}{\sum x_i^2 - n \bar{x}^2}$
La constante de l'équation : b	$b = \bar{y} - a \bar{x}$	La constante de l'équation : b	$b = \bar{Z} - a \bar{x}$
Le coefficient de corrélation R _{XY}	$R_{XY} = \frac{\sum [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}}$	Le coefficient de corrélation R _{XZ}	$R_{XZ} = \frac{\sum [(x_i - \bar{x})(z_i - \bar{Z})]}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (z_i - \bar{Z})^2}}$

Source : Auteur, 2024

Le tableau 3, résume les éléments nécessaires pour réaliser les prévisions des émissions de CO₂ et les taux de croissance économique, ainsi que les deux (02) corrélations linéaires.

Tableau 3 : Calculs préparatoires pour les prévisions

Périodes	(Xi)	Émissions de CO ₂ en % (Yi)	Xi*Yi	Croissance économique (Zi)	Xi*Zi	Xi ²
1980	1	0,139	0,139	6,782	6,782	1
1981	2	0,112	0,224	9,954	19,908	4
1982	3	0,125	0,375	2,235	6,705	9
.....
2020	41	0,121	25,871	3,849	157,809	1681
Total	ΣXi = 861	ΣYi = 11,858	ΣXi*Yi = 334,477	ΣZi = 174,934	ΣXi*Zi = 3815,259	ΣXi ² = 741321

Source : Auteur, 2024

3.2. Équation Quadratique (MEQ)

3.2.1. Modèle théorique

Selon [Weber \(1976\)](#), une forme quadratique q sur E est une application $q : E \rightarrow \mathbb{R}$ vérifiant les deux conditions suivantes :

- $\forall x \in E, \forall \lambda \in \mathbb{R}, q(\lambda, x) = \lambda^2 q(x)$
- L'application $(x, y) \mapsto \frac{1}{2} [q(x + y) - q(x) - q(y)]$ est bilinéaire symétrique.

φ, étant une application de $E \times E$ dans \mathbb{R} définie par $\varphi(x, y) = XMY = \sum_{i,j} m_{ij}x_ix_j$ où M est la matrice symétrique réelle définie par $m_{ij} = \varphi(e_i, e_j)$, et (e_1, \dots, e_n) , une base de E, [Coste \(2003\)](#) montre qu'une forme quadratique s'écrit sous la forme :

$$q(x) = \sum_{1 \leq i, j \leq n} m_{ij}x_ix_j = \sum_{i=1}^n m_{ii}x_i^2 + 2 \sum_{1 \leq i < j \leq n} m_{ij}x_ix_j \tag{18}$$

Réciproquement, si on se donne une forme quadratique q, on a alors :

$$q(x) = \sum_{i=1}^n m_{ii}x_i^2 + 2 \sum_{1 \leq i < j \leq n} m_{ij}x_ix_j \tag{19}$$

Pour retrouver la forme bilinéaire associée de φ à q, on utilise la règle du dédoublement des termes. On remplace les termes x_i^2 par x_iy_i et x_ix_j par $\frac{1}{2}(x_iy_j + x_jy_i)$. On vérifie que, pour φ ainsi construite, on a bien :

$$\varphi(x, y) = \frac{1}{2} [q(x + y) - q(x) - q(y)] \tag{20}$$

Pour déterminer le point d'inflexion, il faut calculer la dérivée de la forme quadratique comme suit. Soit **A** une matrice de dimension $p \times p$, alors :

$$X'AX = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p a_{ij}x_i x_j = \sum_{i=1}^p a_{ii}x_i^2 + \sum_{i=1}^p \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^p a_{ij}x_i x_j \quad (21)$$

donc,

$$\frac{\partial X'AX}{\partial X_k} = 2a_{kk}x_k + \sum_{j \neq k} a_{kj}x_j + \sum_{i \neq k} a_{ik}x_i = \sum_{j=1}^p a_{kj}x_j + \sum_{i=1}^p a_{ik}x_i \quad (22)$$

et,

$$\frac{\partial X'AX}{\partial X_k} = \begin{pmatrix} \sum_{j=1}^p a_{1j}x_j & \vdots & \sum_{i=1}^p a_{i1}x_i \\ \sum_{j=1}^p a_{kj}x_j & \vdots & \sum_{i=1}^p a_{ik}x_i \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \sum_{j=1}^p a_{pj}x_j & \vdots & \sum_{i=1}^p a_{ip}x_i \end{pmatrix} = AX + A'X \quad (23)$$

On fait l'hypothèse que la matrice A est symétrique ($AX = A'X$). On a :

$$\frac{\partial X'AX}{\partial X_k} = 2AX \quad (24)$$

Ainsi donc, une équation quadratique est une équation du second degré. Ce qui signifie que l'exposant le plus élevé de cette équation est 2. La forme standard d'une équation quadratique est $y = ax^2 + bx + c$, où a, b et c sont des nombres et le paramètre a est différent de 0. Ce paramètre caractérise l'ouverture et le sens de la concavité du graphique en forme de parabole qui représente cette fonction dans un plan cartésien (Weber, 1976 ; Michel, 1989 ; Roure et Butery, 1987).

3.2.2. Modèle empirique et spécification

La formulation mathématique de la Courbe Environnementale de Kuznets (CEK) est une équation quadratique qui décrit la forme en U inversé. Elle fait apparaître une relation quadratique entre le niveau de développement économique et l'indicateur de dégradation environnementale, avec un point de retournement correspondant au sommet de la courbe en U-inversé. Ce point est estimé afin de déterminer le niveau de développement économique à partir duquel la dégradation environnementale commence à diminuer.

$$E = \alpha + \beta_1 y^\psi + \beta_2 y^\delta, \text{ avec : } \begin{cases} \psi = 1 \\ \delta = 2 \end{cases} \quad (25)$$

Où : E représente l'indicateur de dégradation environnementale (ici, les émissions de CO₂ par tonne d'habitant) et Y, le taux de croissance économique (mesuré par le PIB par habitant). Les paramètres du modèle à estimer empiriquement sont α , β_1 et β_2 . Le paramètre α est le terme constant, qui représente l'impact environnemental de base indépendamment du niveau de développement économique. $\beta_1 > 0$, est le coefficient linéaire qui indique la variation de l'impact environnemental lorsque le niveau de développement économique augmente d'une unité. $\beta_2 < 0$, est le coefficient quadratique, qui capture la courbure de la relation entre le développement économique et l'impact environnemental. Le point d'inflexion où l'impact environnemental commence à diminuer se situe au niveau du revenu.

$$\frac{dE}{dY} = 0, \text{ soit } Y = \frac{-\beta_1}{2\beta_2}$$

(26)

La valeur et le signe de ces paramètres permettent de déterminer la forme de la CEK et d'identifier le point de retournement à partir duquel la dégradation environnementale commence à diminuer. Posons $f(x) = y$, où : $E = y$, représentant les émissions de CO₂ par habitant et $Y = x$: représentant le PIB par habitant ; $\alpha = \beta_0$: représentant l'impact environnemental au début de la croissance (PIB/hbt. = 0).

L'équation (25), devient : $f(x) = y = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2x^2$

(27)

L'équation (26) devient : $\frac{dy}{dx} = 0$, soit $x = \frac{-\beta_1}{2\beta_2}$, alors : $\lim_{x \rightarrow +\infty} y = 0$, et $\lim_{x \rightarrow 0} y = \beta_0$

Le tableau 4 présente le sens de variation de $f'(x)$ (augmentation et diminution de la pollution).

Tableau 4 : Sens de Variation de $f'(x)$

x	$0 \qquad \qquad \qquad \frac{-\beta_1}{2\beta_2} \qquad \qquad \qquad +\infty$	
$\frac{dy}{dx}$	+	-
	Augmentation de la pollution	Diminution de la pollution

Source : Auteur, 2024

$$\forall x \in [0, \frac{-\beta_1}{\beta_2^2} [, \frac{dy}{dx} > 0, \text{ alors } f(x) \text{ est strictement croissant sur } [0, \frac{-\beta_1}{\beta_2^2} [,$$

$$\forall x \in [\frac{-\beta_1}{\beta_2^2} , +\infty [, \frac{dy}{dx} < 0, \text{ alors } f(x) \text{ est strictement décroissante sur } [\frac{-\beta_1}{\beta_2^2} , +\infty [.$$

$$f(0) = \beta_0, \text{ et } f' \left(\frac{-\beta_1}{2\beta_2} \right) = 0$$

Le tableau 5, présente l'allure générale de la courbe environnementale de Kuznets.

Tableau 5 : Allure générale de la CEK

x	$0 \qquad \qquad \qquad \frac{-\beta_1}{2\beta_2} \qquad \qquad \qquad +\infty$	
$\frac{dy}{dx}$	$+$	$-$
$f(x)$	$\beta_0 \quad \nearrow \quad f\left(\frac{-\beta_1}{2\beta_2}\right) \quad \searrow \quad 0$	

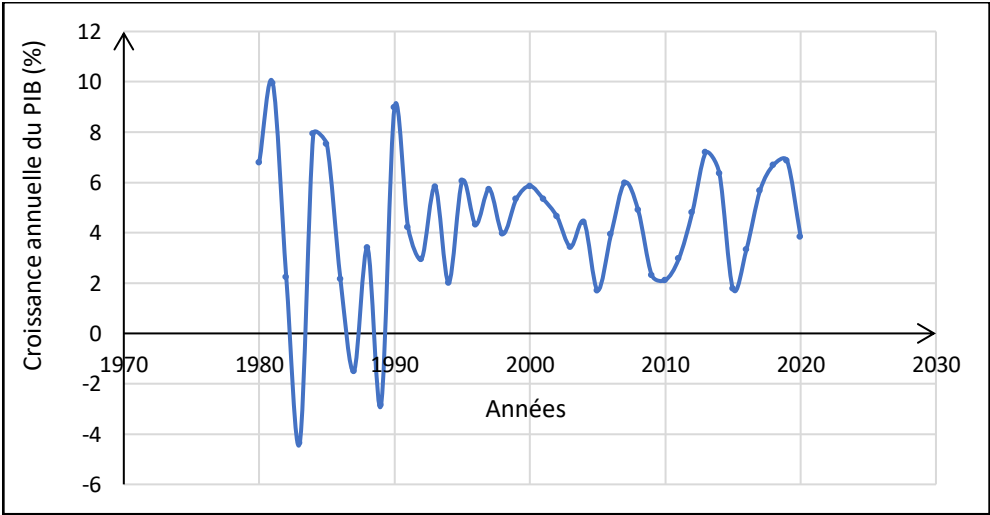
Source : Auteur, 2024

3. Résultats

3.1. Analyse de la situation économique et environnementale du Bénin de 1980-2020

La croissance annuelle du PIB en % reflète l'augmentation (ou la baisse dans le cas d'une croissance négative) du niveau d'activité économique au Bénin. De 1980 à 2020, la moyenne de la croissance au Bénin est de 4,267 %, avec un pic en 1991 (9,954%) et trois années de croissances négatives (1983, -4,35%), (1987, -1,50%) et (1989, -2,85%). Autrement dit, sur la même période, la croissance économique connaît une évolution erratique de 1980-1989, mais retrouve une certaine stabilité sur la période 1991-2000 avant de présenter une tendance à la baisse jusqu'en 2004 (Figure 1).

Figure 1 : Évolution du taux de croissance du PIB du Bénin de 1980 à 2020

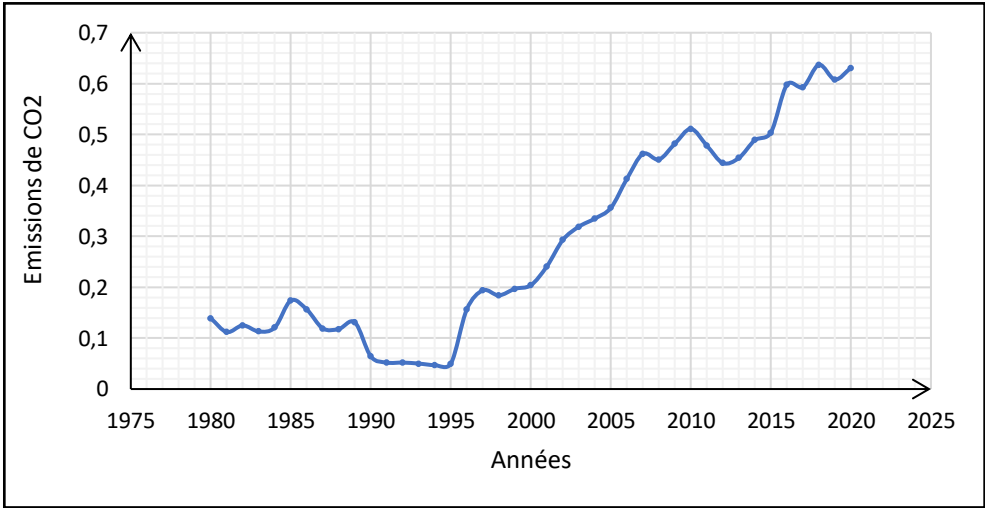


Source : Réalisée à partir des données de la BAD (2022), 2024

Les fluctuations ont été fortes sur la période de 1981-1995. Au cours de la période de 1991 à 2004, les fluctuations de taux sont faibles. Celles-ci se situent en moyenne à 4,5 % par an. De 2006 à 2020, le PIB connaît une croissance moyenne de 4,59 %. L'évolution du PIB du Bénin de 1980 à 2020 respecte-t-elle la qualité de l'environnement en général ou l'évolution des émissions de CO₂ en particulier ?

Quant à la situation environnementale du Bénin de 1980-2020, elle est relative à l'ECO₂ en kilogramme de tonne (kt). L'évolution des émissions de CO₂ au Bénin entre 1980-2020, se situent globalement sur deux (02) périodes et tournent autour d'un taux moyen de 0,289 t/hbt (Figure 2). Une fluctuation entre 1980-1999 au cours de laquelle de faibles émissions de CO₂ sont constatées dont la moyenne tourne autour de 0,117 t/hbt. Ensuite une période de croissance d'émissions de CO₂ entre 2000-2020, dont la moyenne tourne autour de 0,452 t/hbt. Ce taux d'émissions de CO₂ sur ladite période est consécutif au volume d'activités économiques élevées (4,486% de croissance de PIB), supérieure au taux de croissance sur toute la période d'étude (4,267 %). On peut donc déjà noter que la croissance économique évolue avec les ECO₂.

Figure 2 : Évolution des émissions du CO₂ au Bénin de 1980 à 2020



Source : Réalisée à partir des données de la BAD (2022), 2024

3.2. Prévisions

Pour faire les prévisions des émissions du dioxyde de carbone (ECO₂) et des taux de croissance économique, on calcule les moyennes de « x », « y » et de « Z », ensuite on détermine les deux équations $Y = aX + b$ et $Z = aX + b$ ainsi que la corrélation linéaire “r” entre “XY” respectivement entre “XZ” :

- En ce qui concerne les émissions du CO₂, on a les résultats suivants :
 $\bar{x} = 21$; $\bar{Y} = 0,2892$; $a = 0,0001954704$; $b = \bar{y} - a\bar{x} = 0,2867$ et $R(XY) = 0,917420878$.
L'équation recherchée est : $Y = 0,0001144161X + 0,2867$
- En ce qui concerne les taux de croissance économique, on a les résultats suivants :
 $\bar{x} = 21$; $\bar{Z} = 4,267$; $a = 0,0001181845$; $b = \bar{Z} - a\bar{x} = 4,263$ et $R(XZ) = 0,10325412$.
L'équation recherchée est : $Z = 0,0001954704X + 4,263$

Les résultats des prévisions des émissions du CO₂ et des taux de croissance économique au Bénin de 2025, 2030 et 2050 sont présentés dans le tableau 6.

Tableau 6 : Prévisions des ECO2 et des taux de croissance économique de 2025-2050

Périodes	Nombre d'années (Xi)	Prévision des émissions moyennes de CO2 (Yi)	Prévision des taux de croissance économique moyenne (Zi)
2025	X ₂₀₂₅ = 46	Y ₂₀₂₅ = 0,2837	Z ₂₀₂₅ = 4,272
2030	X ₂₀₃₀ = 51	Y ₂₀₃₀ = 0,2832	Z ₂₀₃₀ = 4,273
2050	X ₂₀₅₀ = 71	Y ₂₀₅₀ = 0,2808	Z ₂₀₅₀ = 4,277

Source : Auteur, 2024

En 2020, les ECO₂ étaient 0,121t/hbt, pour un taux de croissance égal à 3,849. Les prévisions de 2025 donnent une moyenne de 0,2837t/hbt d'ECO₂ pour une croissance moyenne de 4, 272. De 2020 -2025, le CO₂ a augmenté de 53,35%, pour une croissance de 9,9%. Cinq ans plus tard (2025 -2030), cette pollution passe de 0,2837 à 0,2832, soit une diminution de 0,17%. Au même moment, le taux de croissance économique moyenne passe de 4,272 à 4,273, soit une augmentation de 0,023%. Vingt ans plus tard (2030 -2050), les ECO₂ ont diminué de 0,85%, passant de 0.2832 à 0.2808 t/habitant pour une augmentation de taux de croissance de 0,094%, soit de 4,273 à 4,277. Ainsi, à court terme (d'ici 2025), une augmentation de 1% de croissance, provoque une augmentation d'ECO₂ de 5,38%, tandis qu'à long terme, une augmentation de 1% de croissance, provoquera une baisse de 7,39% d'ECO₂ entre 2025 – 2030 et une baisse de 9,04% d'ECO₂ entre 2030 – 2050.

Les tendances d'émissions de CO2 et de taux de croissance économique de CT et de LT sont présentées ans le tableau 7

Tableau 7 : Tendances de CT et de LT

Périodes		Taux de croissance économique	Émissions de CO2	
			Augmentation	Diminution
D'ici - 2025	Court Terme (CT)	1%	5,38%,	
2025 - 2030	Long Terme (LT)	1%	-	7,39%
2030 -2050	Long Terme (LT)	1%	-	9,04%

Source : Auteur, 2024

A partir du tableau 7 des prévisions de CO2 et des taux de croissance de 2025-2050, on constate que le Bénin fournit des efforts (mais pas suffisants), pour renverser la situation actuelle de dégradation environnementale en diminuant les émissions de CO2 et en augmentant le taux de sa croissance économique. En effet, l’analyse du cadre institutionnel pour la mise en œuvre de l’Agenda 2030 au Bénin a permis de constater les capacités institutionnelles dont le pays dispose pour la réalisation des Objectifs du Développement Durable (ODD). Le pays dispose d’un appareil institutionnel transversal et d’une volonté politique forte qui pourraient lui permettre d’obtenir d’importants résultats à l’horizon 2030 (UNSDSN, 2023). Par ailleurs, selon le Programme des Nations, 2030 marquera la fin de la dégradation de l’environnement et l’objectif 2050 marquera la neutralité carbone à l’échelle planétaire. Car selon les experts du Groupe d’Experts Intergouvernemental sur l’Évolution du Climat (GIEC), atteindre la neutralité carbone d’ici 2050 est une condition sine qua non de la limitation du réchauffement climatique à +1,5°C (GIEC, 2019).

3.3. Analyse de la représentation graphique de la CEK pour l’économie du Bénin

Bien que le Bénin soit un pays en développement, il est intéressant d’appliquer l’équation de Kuznets environnementale ($y = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2x^2$) à son économie. Les estimations empiriques des études réalisées au Bénin (Dossa, 2021, Dossa, 2022 et Voda & Eggoh, 2022), indiquent les valeurs estimées des paramètres de l’équation dans le tableau 8.

Tableau 8 : Estimation des valeurs des paramètres de l’équation

Paramètres	β_0	β_1	β_2
Valeurs estimées	0,8	0,05	-0,0001

Source : (Dossa, 2021 et Dossa, 2022 et Voda & Eggoh, 2022)

L’équation : $y = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2x^2$ devient : $y = 0,8 + 0,05x - 0,0001x^2$

Quelques valeurs significatives de (x, y) sont présentées dans le tableau 9 ci-dessous.

Tableau 9 : Valeurs significatives des émissions de CO2 et du PIB/tête

X	0	50	100	200	250	300	400	500
Y	0,8	3,05	4,8	6,8	7,05	6,8	4,8	0,8

Source : Auteur, 2024

Pour des revenus égaux à 0 ou de 500 dollars USD, la pollution est de 0,8t/hbt et pour des revenus par tête de 100 ou de 400 dollars USD par tête, la pollution est de 4,8. Le point de retournement de la situation environnementale au Bénin est obtenu par une pollution de CO2 égale à 7,05 t/hbt pour un revenu de 250 dollars USD. Le tableau 10 présente l’allure générale de la CEK pour l’économie béninoise relative aux points (X, Y) du tableau 9.

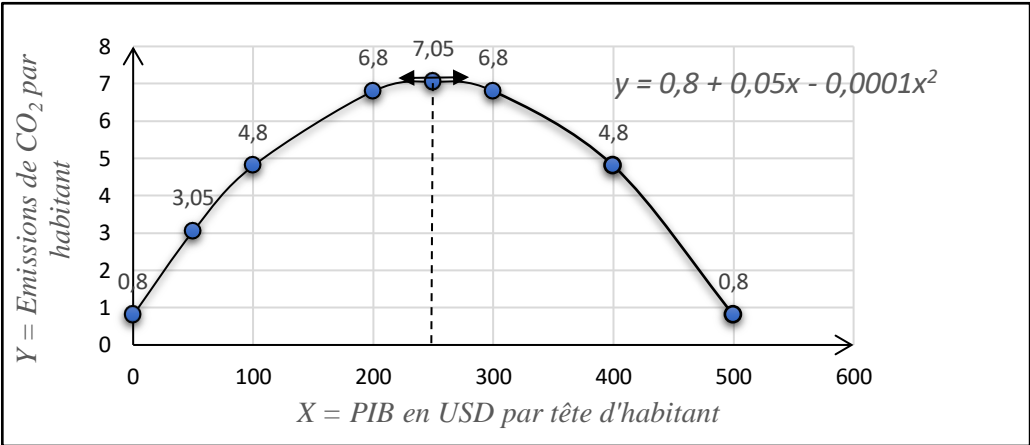
Tableau 10 : Allure générale de la CEK pour l'économie béninoise

X = PIB/Tête en dollars USD	PIB = 0 Point de retournement (250 dollars USD) +∞	
$f'(x) = \frac{dCO_2}{dPIB}$	Augmentation de CO ₂	Diminution de CO ₂
y = Emissions de CO ₂ en t/Tête	<div>$\beta_0 = 0,8$<div><div>$f\left(\frac{-\beta_1}{2\beta_2} = 7,05\right)$</div><div>0</div></div></div>	

Source : Auteur, 2024

La validité de la CEK appliquée à l'économie béninoise est marquée par trois (03) principales phases : (i) - le stade initial de développement, (ii)- le point de retournement et (iii)- le stade avancé de développement.

Figure 3 : Représentation graphique de la CEK pour l'économie béninoise



Source : Auteur, 2024

3.1.1. Stade initial de développement

Lorsque X = 0 ; Y= 0,8 tonne de CO₂/habitant (Figure 3). C'est la pollution initiale engendrée par un revenu nul. Au début du développement économique, le niveau de dégradation environnementale est faible, car l'économie est principalement agraire et l'industrialisation limitée ou inexistante. Mais au fur et à mesure que X croît, passant de 100 à 200, les émissions augmentent rapidement dans les mêmes proportions, de 4,8 à 6,8. C'est la phase de la dégradation environnementale croissante. Le niveau de développement économique est faible, le coefficient linéaire $\beta_1 = 0,05 > 0$, indiquant que l'impact environnemental augmente avec la croissance économique. Cela s'explique par l'utilisation de technologies polluantes et le manque de réglementations environnementales strictes dans les premières phases de développement.

3.1.2. Point de retournement

Lorsque $X = 250$, $Y = 7,05$ t de CO_2 /habitant (Figure 3). C'est le point de retournement, où la dérivée de la fonction d'émission de CO_2 est nulle ($\frac{dy}{dx} = 0$, soit $x = \frac{-\beta_1}{2\beta_2}$). Ce point indique que la pollution a atteint le sommet. C'est le niveau de dégradation environnementale maximale. En effet, à un certain niveau de revenu par habitant (ici 250 USD/habitant), la dégradation environnementale atteint son niveau le plus élevé, reflétant l'impact maximal du développement économique sur l'environnement. Ainsi, le coefficient quadratique ($\beta_2 = -0,0001 < 0$) devient négatif, indiquant que l'impact environnemental commence à diminuer. Ce point de retournement correspond au sommet de la courbe en U-inversé.

3.1.3. Stade avancé de développement

Lorsque $X = 300$, $Y = 6,8$ (comme pour $X=200$), de la même manière, lorsque $X = 400$, $Y = 4,8$ (comme pour $X = 100$), et lorsque $X = 500$, $Y = 0,8$ (comme pour $X = 0$). Cela indique qu'au fur et à mesure que le revenu/tête augmente, l'environnement redevient décent et la pollution diminue aussi dans la même proportion. En effet, lorsque le niveau de développement économique est élevé, l'impact environnemental continue de diminuer, car les pays les plus riches ont les moyens d'investir dans des technologies plus respectueuses de l'environnement et de mettre en place des réglementations plus strictes. Pour le cas du Bénin, la pollution par le CO_2 est nulle ($Y = 0$), pour deux (02) valeurs de X (X_1, X_2) :

$$y = 0,8 + 0,05x - 0,0001x^2. \text{ Le discriminant : } \Delta = \beta_1^2 - 4\beta_2\beta_0 = 0,00282$$

$$X_1 = f'(0) + \frac{\sqrt{\Delta}}{2 \cdot 10^{-4}} = 250 + \frac{\sqrt{0,00282}}{2 \cdot 10^{-4}} \approx 515,51836 \text{ dollars USD}$$

$$X_2 = f'(0) - \frac{\sqrt{\Delta}}{2 \cdot 10^{-4}} = 250 - \frac{\sqrt{0,00282}}{2 \cdot 10^{-4}} \approx -15,51836 \text{ dollars USD}$$

$X \in \mathbb{R}_+$, alors $X = X_1 = 515,51836$ dollars USD est la seule racine de l'équation pour une pollution nulle ($Y = 0$).

4. Discussion

L'application de l'équation environnementale de Kuznets dans le cas du Bénin a permis de comprendre que l'impact environnemental augmente avec la croissance économique et atteint son sommet pour les valeurs : $((x, y) \rightarrow (250, 7,05))$. Toutefois en observant le revenu /tête ayant permis le retournement (250 \$ US), on note que la forme en U-inversé est vérifiée jusqu'à atteindre un environnement relativement non pollué (0,8 t/habitant) pour 500 \$ US. On peut donc en déduire, qu'à un faible revenu, est associée une faible émission au Bénin, car là où y a moins d'industrialisation, il y a moins de pollution. Or, contrairement à l'hypothèse de Beckerman (1992), les objectifs de protection de l'environnement seraient d'autant plus faciles à atteindre lorsque la croissance serait forte. Cette position, est soutenue par la Commission Européenne, qui souligne que des taux de croissance de 3 % l'an, permettront de créer des ressources nécessaires pour réduire les niveaux de pollution actuels (Froger, 2004).

Par ailleurs, les résultats de la présente recherche, confirment les trois explications menant à la CEK, proposées par [Grossman et Krueger \(1991\)](#) : il s'agit de l'« effet échelle », l'« effet technique » et l'« effet composition », développées dans la revue empirique. L'effet composition permet, à lui seul, d'expliquer les deux autres « effets » ([Marechal, 1996](#)). C'est le cas du Bénin qui montre que la relation entre le développement économique et la qualité de l'environnement, suit effectivement une CEK. Cela signifie que la dégradation environnementale augmente dans un premier temps avec la croissance économique (« effet échelle »), puis commence à diminuer à partir d'un certain seuil de développement (« Effet technique ») et « l'Effet de composition » qui débouche sur les implications importantes de politiques publiques. Ces résultats suggèrent qu'il est possible de concilier développement économique et protection de l'environnement, à condition de mettre en place des politiques d'investissements adaptées, notamment dans les domaines de l'innovation technologique, de la réglementation environnementale et de la sensibilisation.

Enfin, bien que l'équation de Kuznets environnementale fournisse des informations intéressantes, elle présente également certaines limites. En effet, cette approche ne tient pas compte de la complexité des interactions entre les sphères économiques, sociale et environnementale. Malgré ces limites, l'équation de Kuznets environnementale reste un outil précieux pour mieux comprendre les dynamiques entre croissance économique et qualité de l'environnement. Elle peut notamment guider la conception de politiques publiques visant à concilier les objectifs socioéconomiques et environnementaux pour atteindre le développement durable au Bénin.

5. Conclusion

L'estimation de la Courbe Environnementale de Kuznets dans le contexte économique du Bénin a permis de mieux comprendre la relation complexe entre la croissance économique et la dégradation de l'environnement. Les résultats montrent que le Bénin suit une courbe de Kuznets en U-inversé, avec une phase initiale de dégradation environnementale suivie d'une phase d'amélioration à partir d'un certain niveau de développement économique.

Cependant, des efforts importants doivent encore être consentis par le Bénin pour atteindre une véritable transition vers un développement durable. Les principales recommandations pour les décideurs politiques comprennent des investissements massifs dans des technologies vertes, un renforcement de la réglementation environnementale et une sensibilisation accrue de la population. La mise en œuvre de ces politiques permettra au Bénin de concilier croissance économique et protection de l'environnement à long terme. Par ailleurs, la pertinence des résultats obtenus, permet de recommander qu'il faille promouvoir des mesures d'atténuation (reboisement, gestion durable des forêts et des sols, restauration des sols dégradés, création de pâturages, retenues d'eau, forages, développement des technologies propres, promotion des énergies renouvelables...) dans les principaux secteurs émetteurs de gaz à effet de serre (GES) à savoir l'agriculture et l'énergie.

6. Références bibliographiques

- Banque Africaine de Développement, (2022). *Perspectives économiques au Bénin*, 25 mai 2022, URL <https://www.afdb.org/fr/pays-afrique-de-louest-ben>
- Beckerman, W., (1992). Economic growth and the environment : whose growth ? Whose environment? *World Development*, 20 (1992), pp.148-496. [https://doi.org/10.1016/0305-750X\(92\)90038-W](https://doi.org/10.1016/0305-750X(92)90038-W)
- Coondoo, D. et Dinda S., (2008). Carbon dioxide emission and income : A temporal analysis of cross-country distributional patterns. *Ecological Economics* 65 (2008), pp. 375-385. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.07.001>
- Coste, M., (2003). *Formes quadratiques, groupe orthogonal*. Unité de Formation et de Recherche en mathématiques sur les formes quadratiques de l'Université de Rennes I Mars 2003, 11 p. <https://agreg-maths.univ-rennes1.fr/documentation/docs/Quadrarev.pdf>
- Dossa, A. B. K., (2021). Croissance économique et émissions du dioxyde de carbone au Bénin. *J. Rech. Sci. Univ. Lomé (Togo)*, 2021, 23(4):149-166.
- Dossa, A. B. K. (2022). Croissance économique et émissions du dioxyde de carbone en Afrique. *Afrique Science* 21(1) (2022) 29 pp. 43 29. <https://www.afriquescience.net/admin/postpdfs/d5a4d5280f566fc1bfcaaf5a07eb78fa1725637602.pdf>
- Faucheux, S., Hamaide, B., Neve, M., O'Connor, M. (2012). Croissance et environnement : la pensée et les faits. *Reflets et Perspectives de la Vie Économique*, 2012/4, Tome LI, pp. 9-24. <https://doi.org/10.3917/rpve.514.0009>
- Fourastié, J., Levy, S. (1993). *Statistiques appliquées à l'économie*, Paris : Masson
- Froger, G., (2004). Revue Problèmes économiques, n° 2863 du 24 novembre 2004. *Développement durable et territoires* (2004), pp. 1-6. <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.957>
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B., (1991). Environmental impacts of a North American free trade agreement. *National Bureau of Economic Research Working Paper* No. 3914. <https://doi.org/10.3386/w3914>, 57 p.
- Grossman, G. M. & Krueger, A. B., (1995). Economics growth and the Environnement. *Quarterly Journal of Economics*, Vol.110, No. 2, (1995), pp. 353-377. <https://doi.org/10.2307/2118443>
- Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat, GIEC (2019). Réchauffement planétaire de 1,5°C : Résumé à l'intention des décideurs, Résumé technique et Foire aux questions. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15_Summary_Volume_french.pdf
- Hettige, H., Mani, M., & Wheeler, D. (2000). Industrial pollution in economic development: the environmental Kuznets curve revisited. *Journal of Development*

- Economics*, Vol. 62, No.2, pp. 445- 476. [https://doi.org/10.1016/S0304-3878\(00\)00092-4](https://doi.org/10.1016/S0304-3878(00)00092-4)
- Institut National de la Statistique et de la Démographie, INStaD (2022). *Analyse structurelle de l'activité économique au Bénin*. Direction de la Comptabilité Nationale et des Statistiques Économiques, (DCNSE)/INStaD/MEF, République du Bénin, Octobre 2022, 63 p
- Jalil, A., Feridum, M. (2011). The impact of growth, energy and financial development on the environment in China : A cointegration analysis. *Energy Economics* 33 (2011), pp. 284-291. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.10.003>
- Kaika, D., & Zervas, E. (2013). The Environmental Kuznets Curve (EKC) theory—Part A: Concept, causes and the CO2 emissions case. *Energy Policy*, Vol. 62, pp. 1392-1402. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.07.131>
- Kuznets, S. (1955). Economic growth and income inequality. *American Economic Review* 45 (1), pp.1–28. <https://assets.aeaweb.org/asset-server/files/9438.pdf>
- Lantz, V. and Feng, Q. (2006). Assessing income, population, and technology impacts on CO2 emissions in Canada : where's the EKC ? *Ecological Economics* 57(2006), pp.229-238. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.04.006>
- Liu, S. (2014) : *Notes de cours d'Économétrie*. 39 p - Shuyan.Liu@univ-paris1.fr
- Marechal, J. (1996). L'écologie de marché, un mythe dangereux. *Le Monde Diplomatique*, 511, pp.26-27.
- Michel, P. (1989). Cours de mathématiques pour économistes. *Economica, Paris*, 2^{ème} Edition. http://41.204.94.197/index.php?lvl=notice_display&id=1862
- Richmond, A. K., and Kaufman, R. K. (2006). Is there a turning point in the relationship between income and energy use and/or carbon emission. *Ecological Economics* 56(2), pp. 176-189. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.01.011>
- Roure, F. et Butery, A., (1987). Mathématiques pour les sciences économiques et sociales. *Presses Universitaires de France, Paris*, 3^{ème} Edition.
- Selden, T. M., & Song, D. (1994). Environmental quality and development: is there a Kuznets curve for air pollution emissions? *Journal of Environmental Economics and management*, 27(2), pp. 147-162. <http://dx.doi.org/10.1006/jeem.1994.1031>
- Shafik, N. (1994). Economic Development and Environmental Quality : An Econometric Analysis. *Oxford Economic Papers*, 46(Supplement_1), pp. 757-773. https://doi.org/10.1093/oep/46.Supplement_1.757
- Shafik, N. & Bandyopadhyay S. (1992). Economic growth and environmental quality : time series and cross-country evidence. *Policy Research Working Paper Series* 904, The World Bank.
- Torras, M., & Boyce, J. K., (1998). Income, inequality, and pollution: a reassessment of the environmental Kuznets curve. *Ecological Economics*, 25(2), pp. 147-160. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(97\)00177-8](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(97)00177-8)

- United Nations Sustainable Development Solutions Network, UNSDSN (2023). *Rapport sur le Développement Durable pour le Bénin 2023 : Renforcement du Capital Humaine et Lutte contre les Inégalités*, 108 p. <https://finances.bj/wp-content/uploads/2023/07/Rapport-sur-le-Développement-Durable-pour-le-Bénin-2023.pdf>
- Voda R. & Eggoh, J., (2022) ; *Courbe environnementale de Kuznets : un réexamen des canaux de transmission dans les pays en développement*. Revue d'Economie Théorique et Appliquée. Volume 13 – Numéro 1 – juin 2023. pp. 21-40. <https://doi.org/10.62519/reta.v13n1a2>
- Weber, J. P., (1976). *Mathematical Analysis: Business and Economic. Applications*. Harper & Row, New York.