

Analyse des effets de la croissance économique sur la dégradation de l'environnement au Mali

Abdoulaye MAIGA^{1*} ; Amadou BAMBA² ; Souaïbou Samba Lamine TRAORE³ ;
Abdoulaye Soumaïla Moulaye⁵ et Djimé Silamakan DIAWARA⁶

1*, 2, 3, 4, 5 & 6: *Enseignants chercheurs; Faculté des Sciences Economiques et de Gestion (FSEG), Université des Sciences Sociales et de Gestion de Bamako (USSGB), Centre Universitaire en Recherche Economique et Sociale (CURES), Mali*

1*: Auteur de correspondance, Abdoulaye MAIGA; Email: maigis@yahoo.fr

Résumé

Cette étude se donne pour objectif d'analyser l'effet de la croissance économique sur la dégradation de l'environnement au Mali durant la période 1991-2021. Après les différents tests de stationnarité, le modèle Autorégressive Distributed lag (noté ARDL) proposée par Pesaran et al. (2001) a été choisi pour faire l'estimation. A l'issue de cette analyse, les résultats ont montré qu'à court terme, la croissance économique est sans effet sur les émissions de CO₂. En revanche, à long terme la croissance économique a un effet négatif et significatif sur les émissions de CO₂, une augmentation de 1% du taux de croissance engendre une diminution de -0.234309% du CO₂. Nous constatons par la suite qu'à court terme la croissance démographique contribue à l'augmentation des émissions de dioxyde de carbone. Les résultats de long terme confirment l'hypothèse de la courbe environnementale de Kuznets dans le contexte de l'économie malienne.

Mots clés : Croissance économique, émissions de CO₂, courbe environnementale de Kuznets

Summary

This study aims to analyze the effect of economic growth on environmental degradation in Mali during the period 1991-2021. After the various stationarity tests, the Autoregressive Distributed lag model (denoted ARDL) proposed by Pesaran et al. (2001) was chosen to make the estimate. At the end of this analysis, the results showed that in the short term, economic growth has no effect on CO₂ emissions. On the other hand, in the long term economic growth has a negative and significant effect on CO₂ emissions, an increase of 1% in the growth rate generates a decrease of -0.234309% in CO₂. We subsequently note that in the short term population growth contributes to the increase in carbon dioxide emissions. The long-term results confirm the hypothesis of the Kuznets environmental curve in the context of the Malian economy.

Keywords: Economic growth, CO₂ emissions, environmental Kuznets curve

1. Introduction

Avec le changement climatique, l'environnement est devenu un thème central de débat public tant au niveau national qu'international. L'accumulation de problèmes environnementaux engendrés par l'activité humaine semble être au cœur d'une telle prise de conscience. Parmi les dégradations de l'environnement naturel, on peut citer la pollution de l'air, des sols et de l'eau, la déforestation ou la surexploitation des ressources (Domguia et Ndieupa, 2017). Le résultat de plusieurs auteurs, comme ceux de Malthus (1798), Ricardo (1817) ou Jevons (1865) qui concluaient qu'une croissance économique nulle était une fin inévitable en raison du caractère limité des ressources, ces rapports préconisent une croissance zéro afin d'éviter une catastrophe économique à venir. En se focalisant sur la dimension environnementale, le Club de Rome considère que la dégradation environnementale engendrée par l'activité économique est inéluctable et conclut ainsi que la seule solution pour assurer la subsistance de l'environnement est de stopper la croissance économique (Meadows et al., 1972).

C'est ainsi qu'après l'adoption par le Mali, de l'Accord de Paris sur le climat, la question environnementale est en train de renforcer la mobilisation nationale qui se traduit aujourd'hui par une série d'actes visant à améliorer l'état de l'environnement dans une perspective de développement durable. On retient à cet effet, l'appropriation par le Mali des Objectifs de Développement Durable, la présentation de sa Contribution Déterminée au niveau National (CDN), la multiplication d'initiatives et actions sur le changement climatique, la relecture de plusieurs textes environnementaux afin de les adapter au contexte actuel, etc. (AEDD, 2018). Les émissions de gaz à effet de serre, en particulier les émissions de dioxyde de carbone (CO₂), sont considérées comme la principale cause du réchauffement planétaire. Afin de prévenir le réchauffement climatique et ses conséquences, plusieurs pays ont signé le protocole de Kyoto et promis de réduire leurs niveaux d'émission. Récemment, la 23^e session de la Conférence des parties des Nations Unies (COP24), tenue en Pologne en décembre 2018, a constitué une étape majeure dans les efforts de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de lutter contre le réchauffement climatique (Ouattara, 2021). La croissance économique est un objectif fondamental pour de nombreux pays dans le monde, car elle est souvent considérée comme un indicateur clé de progrès.

Cependant, cette croissance est souvent accompagnée d'une augmentation des émissions de dioxyde de carbone (CO₂), qui est un gaz à effet de serre responsable du réchauffement climatique. Ce phénomène soulève de nombreuses questions sur la durabilité de la croissance économique à long terme et sur la nécessité de trouver des solutions pour réduire les émissions de CO₂ tout en maintenant la croissance économique. La consommation d'énergie des ménages est une des premières sources d'émissions de gaz à effet de serre (GES) du Mali, représentant entre 2 et 10 millions de tonnes d'équivalent gaz carbonique (CO₂) par an. Le total des émissions de GES du Mali est estimé à 8 460 millions de tonnes. Les émissions du sous-secteur énergie domestique proviennent d'une part, de la combustion des combustibles domestiques et, d'autre part, de l'exploitation anarchique des ressources forestières pour l'approvisionnement en bois-énergie et en bois de service, qui réduit la capacité de séquestration du gaz carbonique (CO₂) de ces ressources. Les énergies renouvelables (solaire, éolienne, etc.) sont actuellement utilisées à un niveau insignifiant.

Au regard de ces constats, il apparaît pertinent de s'intéresser à la relation entre la croissance économique et le changement climatique au Mali. L'idée étant de contribuer à une meilleure compréhension de la relation complexe et multidimensionnelle entre l'évolution du climat et la croissance économique. C'est ce à quoi nous nous employons dans cette étude qui s'inscrit dans la suite des travaux préexistants en économie de l'environnement. Vu les nombreux enjeux du

changement climatique, notre étude s'appuie sur une dynamique de relance de protection de l'environnement du Mali d'où l'intérêt pour notre part d'analyser la relation entre la croissance économique et les émissions de CO₂ au Mali. D'où notre question principale : Quels sont les effets de la croissance économique sur la dégradation environnementale au Mali ? Ce travail va se structurer autour de la revue de littérature, méthodologie, les analyses empiriques et la conclusion.

2. Revue de la littérature

La relation entre la croissance économique et les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) a suscité un grand intérêt dans la littérature économique au cours des dernières décennies. Nous allons présenter certaines de ces études ainsi que les résultats dans cette section. En utilisant la méthode ARDL, Hilaire et Herve ont analysé en 2012 l'effet de la croissance économique sur les émissions de CO₂ dans quatre pays du Bassin du Congo (Cameroun, Congo, Gabon et RDC) sur la période 1978-2012. Ils ont constaté que la croissance économique entraînait une augmentation des émissions de CO₂ dans ces pays, de même que la consommation d'énergie, la densité de la population et les activités industrielles et ont aussi remarqué que l'ouverture commerciale réduisait significativement les émissions de CO₂ au Cameroun, mais dans les autres pays. De même que Domguia et Ndieupa en 2017 qui ont examiné les effets de la croissance économique sur les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) et sur l'évolution de la température au Cameroun sur la période 1972–2010 à l'aide de la méthode Autorégressive Distributed Lags (ARDL), les résultats montrent que la consommation d'énergie et les activités industrielles accroissent les émissions de CO₂ mais pas l'évolution des températures au Cameroun.

Ainsi qu'en 2021, YOUNICI et BELHADI 2021 ont fait une analyse empirique sur la relation entre les émissions de CO₂ et le niveau de revenu en examinant la validité de la courbe environnementale de Kuznets dans le cas de l'Algérie à l'aide de la méthode des moindres carrés ordinaire (MCO), les résultats ont confirmé l'existence de la courbe de Kuznets environnementale, en montrant que la croissance économique a un effet positif sur la qualité de l'environnement et qu'au-delà d'un certain niveau de revenu (6950\$ constant de 2010) De même que Senzélé en 2022 qui a analysé la relation entre croissance économique et la dégradation de l'environnement en Côte d'Ivoire sur la période de 1990-2020 à l'aide de la méthode Autorégressive Distributed Lags (ARDL), Les résultats du test indiquent une relation de long terme entre les variables, et les résultats du modèle de long terme confirment l'hypothèse de la courbe environnementale de Kuznets pour l'économie ivoirienne avec un seuil de tournement du PIB par habitant de 2008 Dollars US.

3. Méthodologie et source des données

Dans cette section, nous aborderons les lignes suivantes : le cadre théorique de l'étude, la spécification du modèle, la détermination des variables et leurs sources.

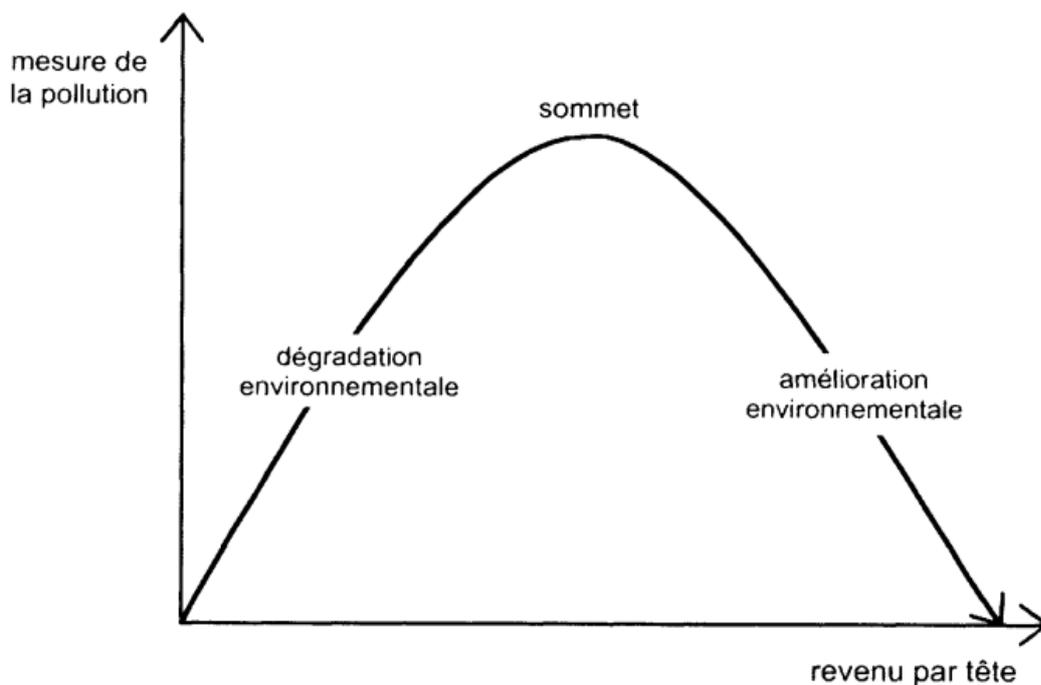
3.1 Cadre théorique de l'étude

Les années 1990 marquent l'avènement des premiers travaux qui visent à donner un contenu empirique à la relation entre la croissance économique et la qualité de l'environnement. L'objectif principal de ces travaux est de vérifier l'hypothèse de la courbe de Kuznets ou d'une courbe en U inversé entre la croissance économique et les indicateurs de qualité environnementale (CO₂, SO₂, déforestation, les particules volatiles etc.). (Hilaire et Hervé 2012). L'hypothèse de cette courbe stipule qu'au début de la croissance économique, la pollution augmente en raison de l'industrialisation et de l'urbanisation, mais une fois qu'un

certain niveau de revenu est atteint, la pollution commence à diminuer grâce à l'adoption de technologies plus propres et à une prise de conscience accrue de l'impact environnemental. Et ceci est schématisé par un U renversé dont l'axe horizontal représente le niveau de revenu et l'axe vertical représente les émissions de gaz à effet de serre.

Une autre explication de le CEK est que lorsque la population atteint un niveau de revenu élevé, elle accorde une plus grande importance aux équipements environnementaux. En général, ceci se manifeste par de dons aux organisations de protection de l'environnement, la demande et la consommation de produits moins polluants. A ce niveau l'élasticité revenue de la demande d'une qualité de l'environnement est supérieur à l'unité ; un environnement de qualité et sa préservation deviennent des biens de luxe. L'application de cette théorie à l'environnement (CEK) par Gene Grossman et Alan Krueger en 1990 à suscité beaucoup de discussion. A cette époque, le débat sur les relations entre commerce international et environnement était en pleine expansion. Alors que les accords de libre-échange se multipliaient à travers le monde, certains acteurs commençaient à s'inquiéter des conséquences potentiellement négatives sur l'environnement. Il y'avait un besoin croissant de comprendre les interactions entre le commerce internationale et la protection de l'environnement.

Figure 1: La courbe environnementale de Kuznets (CEK)



Source : Nourry (2007)

Cette courbe est destinée à représenter une relation à long terme entre l'impact environnemental et la croissance économique. Le développement économique s'accélérant avec l'intensification de l'agriculture, la consommation de l'énergie, et de l'extraction d'autres ressources. Au stade du décollage, le taux d'épuisement des ressources commence à dépasser le taux de régénération des ressources, et la production de déchets polluants augmente en quantité et en toxicité. À des niveaux de développement plus élevés, l'évolution structurelle vers des industries et des services à forte intensité d'information, associée à une sensibilisation accrue à l'environnement, à l'application de réglementations environnementales, à une meilleure technologie et à des dépenses environnementales plus élevées, entraîne une stabilisation et une diminution

progressive de la dégradation de l'environnement (Senzélé, 2022). Les résultats des études empiriques sur la courbe environnementale de Kuznets (CEK) dans la littérature ne sont pas unanimes. Certains éléments peuvent expliquer cela : les résultats sont généralement influencés par la période d'études, le niveau de développement des économies étudiées, les techniques économétriques utilisées, le degré d'homogénéité de l'échantillon ou la prise en compte de variables de contrôle. Par ailleurs, la revue de la littérature montre que malgré la littérature considérable sur la CEK, il y'a très peu d'études sur cette question pour le cas du Mali.

Au cours de notre étude, nous allons vérifier l'existence de cette courbe tout en analysant l'effet de la croissance économique sur l'environnement au Mali sur la période de 1981 à 2021. L'évaluation de l'effet de la croissance économique sur l'environnement au Mali nécessite l'utilisation d'indicateurs environnementaux pertinents. Les indicateurs environnementaux permettent de mesurer et de suivre les changements et les pressions exercées sur l'environnement en raison des activités économiques. Ils fournissent des données quantitatives et qualitatives sur les différentes dimensions de l'environnement, telles que la qualité de l'air, la disponibilité de l'eau, la biodiversité, la dégradation des terres, etc. Dans le cadre de travail, nous allons utiliser les émissions du CO₂ qui agissent sur la qualité de l'air comme instrument de mesure de l'environnement.

3.2 Cadre empirique de l'étude

3.2.1 Présentation du modèle d'estimation ARDL

Pour mener notre études, nous utiliserons le modèle Autorégressive Distributed lag (noté ARDL) proposée par Pesaran et al. (2001). Cette méthode économétrique a pour but d'étudier les relations à long terme entre les variables. Le modèle ARDL permet de modéliser à la fois les ajustements dynamiques à court terme et les équilibres à long terme entre les variables. Il est particulièrement utile lorsque les séries temporelles étudiées présentent des propriétés de non-stationnarité, c'est-à-dire lorsque les variables peuvent présenter des tendances ou des cycles. L'approche ARDL est basée sur l'utilisation d'équations autorégressives à retard distribué. Cela signifie que les valeurs passées des variables sont prises en compte pour expliquer les variations présentes. Le modèle ARDL utilise une combinaison linéaire des différentes variables et de leurs retards pour estimer la relation à long terme entre elles.

Une fois que le modèle ARDL est estimé, il permet d'analyser les effets à court terme et à long terme des variables sur la relation étudiée. Les coefficients du modèle ARDL fournissent des informations sur l'impact immédiat (à court terme) des changements dans les variables explicatives, ainsi que sur l'impact cumulatif (à long terme) sur la variable dépendante.

3.2.2 Spécification du modèle

Cette recherche prend appui sur l'équation suivante, dans laquelle les variables explicatives ont été sélectionnées à partir d'une littérature variée :

$$CO2 = f(t_croiss, esp_vie, ide, pop) \quad (1)$$

Où **CO2** représentent les émissions de dioxyde de carbone utilisé comme proxy de la pollution atmosphérique. **t_croiss** Est le taux de variation du PIB qui permet de mesurer la croissance économique effective exprimé en pourcentage, **ide** capture l'investissement direct étranger et **pop** représente la population.

Sous sa forme log-linéaire, l'équation 1 peut se réécrire comme suit :

$$\ln CO2_t = \alpha_0 + \alpha_1 \ln t_croiss + \alpha_2 \ln esp_vie + \alpha_3 \ln ide + \alpha_4 \ln pop + \varepsilon \quad (2)$$

Avant d'appliquer le modèle ci-dessus, il est d'abord nécessaire d'effectuer un test de racine unitaire sur chaque variable pour vérifier la stationnarité. Ensuite nous avons le modèle ARDL suivant qui sera utilisé au cours de cette étude :

$$\begin{aligned} \Delta \ln CO2_t = & \alpha_0 + \alpha_1 \ln t_croiss + \alpha_2 \ln esp_vie + \alpha_3 \ln ide + \alpha_4 \ln pop \\ & + \sum_{i=1}^n \alpha_1 \Delta \ln CO2_{t-i} + \sum_{i=1}^n \alpha_2 \Delta t_croiss_{t-i} + \sum_{i=1}^n \alpha_3 \Delta esp_vie_{t-i} \\ & + \sum_{i=1}^n \alpha_4 \Delta IDE_{t-i} + \sum_{i=1}^n \alpha_5 \Delta lpop_{t-i} + \varepsilon \quad (3) \end{aligned}$$

Où les termes à niveau capturent la dynamique de long terme et les termes en différence première approximent la dynamique de court terme ;

Si la Co-intégration est acceptée, alors estimer l'équation 2 qui représente la dynamique de long terme par la méthode des moindres carrés ordinaires. Les résidus obtenus de l'estimation de l'équation 2 sont ensuite introduits de manière retardée dans le modèle à correction d'erreur.

Afin d'estimer la dynamique à court terme, le modèle de correction suivant est formulé :

$$\begin{aligned} \Delta \ln CO2_t = & \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_1 \Delta \ln CO2_{t-i} + \sum_{i=1}^n \alpha_2 \Delta t_croiss_{t-i} + \sum_{i=1}^n \alpha_3 \Delta esp_vie_{t-i} \\ & + \sum_{i=1}^n \alpha_4 \Delta IDE_{t-i} + \sum_{i=1}^n \alpha_5 \Delta lpop_{t-i} + \mu ECT_{t-1} + \varepsilon \quad (4) \end{aligned}$$

Où : ECT_{t-1} est le terme de correction d'erreur ou force de rappel et μ son coefficient. L'hypothèse de Co-intégration est confirmée si le coefficient de ECT est négatif et significatif.

3.3 Source des données

Les données de cette étude proviennent de la base de données du Banque Mondiale (Indicateurs du développement dans le monde) qui s'étalent sur la période allant de 1991-2021 pour le Mali. Pour la création de notre base, nous nous sommes servis du logiciel Excel 2016 et le logiciel Eviews10 pour les estimations.

Variables	Définition	Sources
LCO2	Le logarithme de dioxyde de carbone	Banque mondiale
T-croiss	Taux de croissance	Banque mondiale
Esp-Vie	Esperance de vie	Banque mondiale
IDE	Investissements directs étrangers	Banque mondiale
LPOP	Le logarithme de la Population	Banque mondiale

La variable dépendante est le dioxyde de carbone exprimé en kilotonne (Kt).

4. Analyse économique et interprétation des résultats

4.1 Tests de stationnarité

Avant d'estimer le modèle en utilisant l'approche ARDL, il est nécessaire d'effectuer le test de racine unitaire afin de connaître la stationnarité des variables et leurs degrés d'intégration. Nous ferons recours aux tests de Dickey-Fuller Augmented (1981) (noté : ADF) qui est l'un des tests les plus utilisées dans les travaux économétriques.

La règle de décision est la suivante :

- Si le t-statistique est inférieur à la valeur critique, on rejette l'hypothèse nulle. La série est donc stationnaire.
- Si le t-statistique est supérieur à la valeur critique, on accepte l'hypothèse nulle de présence de racine unitaire. La série est donc non stationnaire

Ce tableau ci-dessous fait ressortir les récapitulatifs du test de Dickey Fuller Augmented

Tableau 1: Test de Dickey-Fuller Augmented

Variable	Dickey Fuller Augmented		Ordre D'intégration
	Niveau	Différence première	
LCO2	-1.327601***	-5.350605***	I(1)
T-Croiss	-7.650340***		I(0)
Esp-Vie	-1.279048**	-3.664600**	I(1)
IDE	-5.149034***		I(0)
LPOP	-0.844093*	-2.846120*	I(1)

Source : Eviews 10

NB : Seuils conventionnels : 1%= ***, 5%=**, 10%=*

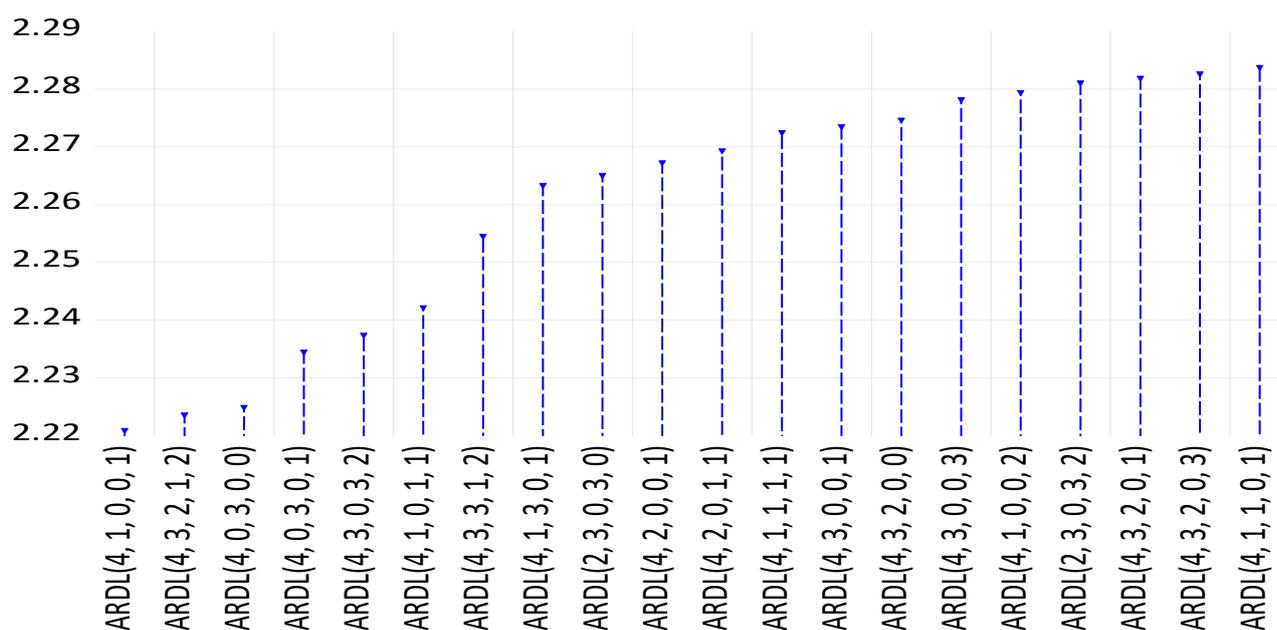
Suite aux tests, les résultats montrent que les variables taux de croissance et investissements directs étrangers sont intégrés en niveau et les variables émissions dioxyde de carbone (CO2), espérance de vie et population sont intégrés en différence première.

4.2 Détermination du retard optimal

Nous nous servons du critère d'information d'Akaike(AIC) pour choisir le modèle ARDL Optimal (celui qui donne des résultats statistiquement significatifs avec les moins des paramètres), le graphique ci-dessous fait ressortir le modèle le plus optimal à choisir :

Figure 2: Valeurs graphique AIC

Akaike Information Criteria (top 20 models)



Source : Eviews 10

Le modèle ARDL (4, 1, 0, 0,1) est le plus optimal parmi les 20 modèles, car il donne la plus petite valeur de l'AIC et les résultats statistiquement significatifs d'après le graphique ci-dessus et selon le critère AIC.

4.3 Test de cointégration aux bornes

Afin de s'assurer de l'existence de cointégration entre les émissions de Dioxyde de carbone (CO2) et les autres variables explicatives, nous allons procéder au test de cointégration aux bornes de Pesaran et par la suite comparée la valeur de la statistique du test calculée par rapport aux valeurs critiques qui forment les bornes.

La règle de décision est la suivante :

- Si la valeur du Fisher est supérieure à la borne supérieure, il y'a une cointégration entre les deux variables
- Si la valeur du Fisher est inférieure à la borne inférieure, il n'y a pas de cointégration.
- Si la valeur de Fisher est comprise entre les deux bornes, on ne peut pas conclure.

Tableau 2: Test de cointégration de Pesaran et al. (2001)

Test Statistic	Value	Signif	I(0)	I(1)
F-statistic	6.889243	10%	3.03	4.06
k	4	5%	3.47	4.57
		2.5%	3.89	5.07
		1%	4.4	5.72

Source : Eviews 10

Les résultats de la procédure « Bounds test » ci-dessus montrent que la statistique de Fisher (6.889243) est supérieure à la borne supérieure pour les différents seuils de significativité (1%, 2.5%, 5%, et 10%).

Ces résultats confirment l'existence d'une relation de cointégration entre les émissions de CO2 et les autres variables explicatives. Donc nous rejetons l'hypothèse H0 d'absence de relation de long entre les variables.

4.4 La dynamique de Court terme

Les résultats de la dynamique de court terme sont ceux obtenus en prenant en compte les variables retardées. Nous nous intéressons principalement aux signes et la significativité des différents coefficients estimés.

Tableau 3: La Dynamique de Court Terme

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	1160.079***	175.4072	6.613636	0.0000
@TREND	2.089278***	0.319555	6.538087	0.0000
D (LCO2 (-1))	0.802859***	0.183454	4.376354	0.0005
D (LCO2 (-2))	0.439855***	0.181783	2.419670	0.0287
D (LCO2 (-3))	0.298259***	0.135167	2.206590	0.0433
D(T_CROISS)	-0.184694***	0.035998	-5.130629	0.0001
D(LPOP)	195.5422***	65.38196	2.990766	0.0091
CointEq (-1)*	-1.312968	0.198771	-6.605443	0.0000

Source : Eviews 10

D'après les résultats du tableau (Tableau), nous constatons que le coefficient d'ajustement ou de correction d'erreur (CointEq (-1)) est statistiquement significatif (Prob= 0.0000) avec un signe négatif (-1.312968), ce qui confirme l'existence d'une relation de long terme (cointégration) entre les variables.

A court terme, le taux de croissance a un effet négatif et significatif sur les émissions de Dioxyde de carbone.

Par contre la population impacte positivement et significativement la croissance de Dioxyde de carbone. Ce qui veut dire que la croissance démographique contribue à accentuer les émissions de CO2.

4.5 La dynamique de long terme

Tableau 4: Estimation des Coefficients de Long Terme

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
T_CROISS	-0.234309***	0.077043	-3.041282	0.0082
ESP_VIE	0.813686***	0.216634	3.756045	0.0019
IDE	0.029168	0.090379	0.322730	0.7514
LPOP	-57.94145**	30.87173	-1.876845	0.0801
C	1160.079***	543.2562	2.135418	0.0496

$$EC = LCO2 - (-0.2343*T_CROISS + 0.8137*ESP_VIE + 0.0292*IDE - 57.9414*LPOP)$$

Source : Eviews 10

Le tableau ci-dessus présente les résultats de l'estimation des effets de la croissance économique et de ses déterminants sur les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) au Mali, dans ce tableau, on constate que toutes les variables ont des coefficients significatifs à long terme sauf la variable IDE.

Les coefficients estimés de la relation à long terme montrent que le taux de croissance à un effet négatif et significatif sur les émissions de CO₂. Une augmentation de 1% du taux de croissance engendre une diminution de -0.234309 du CO₂. Ces résultats sont conformes à ceux de Senzélé (2022), Belhadi (2021) et Kasproicz (2015). Ces auteurs ont trouvé une corrélation négative et significative entre la croissance économique et les émissions de CO₂, et ont confirmé l'existence de la courbe environnementale de Kuznets.

Par contre la variable espérance de vie impacte positivement et significativement les émissions de CO₂. Sur ce point, une espérance de vie plus longue implique généralement une population plus âgée. Les personnes âgées ont souvent des besoins médicaux plus importants, ce qui peut nécessiter l'utilisation de technologies médicales avancées, de médicaments et de traitements. Ces technologies et médicaments peuvent avoir une empreinte carbone élevée en raison de leur production, de leur transport et de leur élimination. Par conséquent, une population plus âgée avec une espérance de vie plus longue peut contribuer à des émissions de CO₂ plus élevées.

De même, il existe une relation positive entre la variable Investissement Direct étranger (IDE) et les émissions du dioxyde de carbone (CO₂) mais n'est pas significatif. Contrairement à la dynamique de court terme, la variable population a un effet négatif et significatif sur les émissions de Dioxyde de Carbone (CO₂)

4.6 Test de validation du modèle

Cette étape (validation du modèle) consiste à faire le test d'autocorrélation des erreurs, le test d'hétéroscédasticité des erreurs, le test de normalité des résidus et le test de stabilité de modèle pour permettre de tester la validité du modèle.

4.6.1 Test d'autocorrélation des erreurs

Tableau 5: Test d'Autocorrélation des Erreurs de Breush et Godfrey

Breush-Godfrey Serial Correlation LM Test:			
F-statistic	0.114208	Prob. F(1,14)	0.7404
Obs*R-squared	0.218476	Prob. Chi-Square(1)	0.6402

Source : Eviews 10

Suite aux résultats du test : on constate que la probabilité est égale à **(0.7404)** et supérieure au seuil critique **(5%)**, alors on peut conclure que les résidus ne sont pas auto-corrélés

4.6.2 Test d'hétéroscédasticité :

Les hypothèses du test de Breusch-Pagan-Godfrey sont les suivants :

Hypothèse nulle (H₀) : les résidus sont homoscédastiques

Hypothèse alternative (H_A) : les résidus sont hétéroscédastiques

Tableau 6 : Test d'hétéroscédasticité de Breusch-Pagan-Godfrey

Heteroskedasticity Test: Breusch-Pagan-Godfrey			
F-statistic	2.768458	Prob. F(11,15)	0.0346
Obs*R-squared	18.08970	Prob. Chi-Square(11)	0.0795
Scaled explained SS	10.27303	Prob. Chi-Square(11)	0.5060

Source : Eviews 10

D'après le tableau ci-dessus du test de Breusch-Pagan-Godfrey, on obtient la Probabilité de F-statistic (**0.0346**), et cette valeur est inférieure au seuil de significativité de **5%**. Cela signifie qu'il y'a des preuves statistiques pour soutenir la présence d'hétéroscédasticité dans le modèle. Pour conclure, nous rejetons l'hypothèse nulle d'homoscédasticité.

4.6.3 Test de normalité des résidus

Nous allons procéder au test de normalité des résidus pour évaluer si les résidus du modèle statistique suivent une distribution normale. Pour cela, on fera recours au test de «Jarque Bera fondé sur la notion de Skewness (asymétrie) et de Kurtosis (aplatissement)» (BOURBOUNNAIS, R.2000).

On a les hypothèses suivantes :

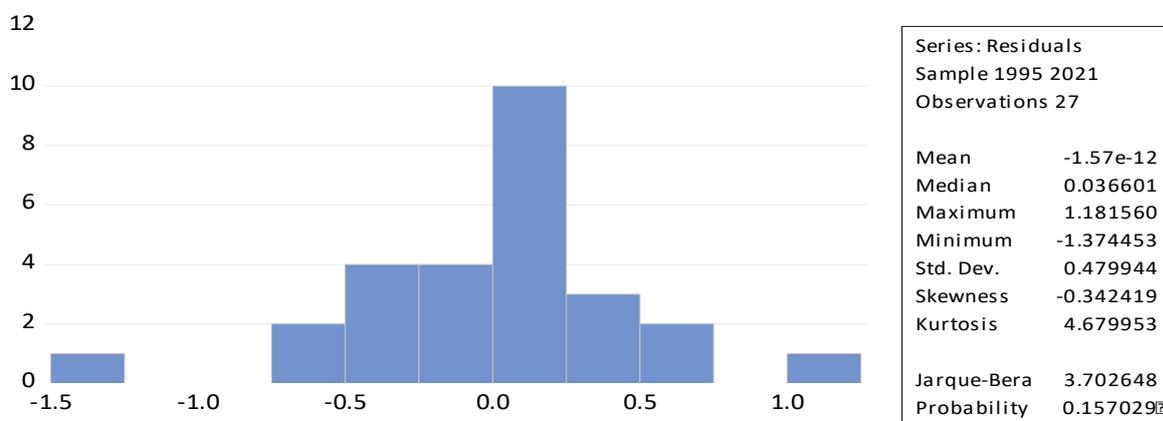
- Hypothèse nulle : les résidus sont normalement distribués

Si la valeur de la Probabilité (**P**) associé à la statistique de test de Jarque-Bera est supérieure au seuil de significativité (**5%**), on ne dispose pas suffisamment de preuves pour rejeter l'hypothèse nulle. Alors les résidus sont normalement distribués

- Hypothèse alternative : les résidus ne sont pas normalement distribués

Si la valeur de la Probabilité (**P**) associé à la statistique de test de Jarque-Bera est inférieure à 0,05, on rejette l'hypothèse nulle au seuil de significativité de **5%** et on conclut que les données ne suivent pas une distribution normale.

Tableau 7 : L'histogramme de la Distribution des Résidus



Source : Eviews 10

En observant le tableau ci-dessus, on constate que la probabilité de Jarque-Bera est de (**0.287645**), et est supérieure au seuil de significativité de 5%.

Dans ce cas nous ne rejetons pas l'hypothèse nulle, donc les résidus sont normalement distribués.

4.6.4 Test de stabilité du modèle

Le test CUSUM (Cumulative Sum) est une méthode statistique utilisée pour détecter les changements structurels dans une série de données. Il est couramment utilisé pour analyser les séries chronologiques et détecter les moments où des changements significatifs se produisent.

Le test CUSUM consiste à calculer la somme cumulative des écarts par rapport à une valeur de référence préétablie. Pour chaque observation, la différence par rapport à la valeur de référence est calculée et ajoutée à la somme cumulative précédente. Cela permet de suivre l'accumulation des écarts au fil du temps.

Ainsi les paramètres du modèle sont instables si la courbe se situe hors de la zone critique entre les deux lignes critiques et stable si la courbe se situe entre les deux lignes critiques. La même procédure est appliquée pour réaliser le test CUSUM of Square.

Tableau 8: Test de CUSUM

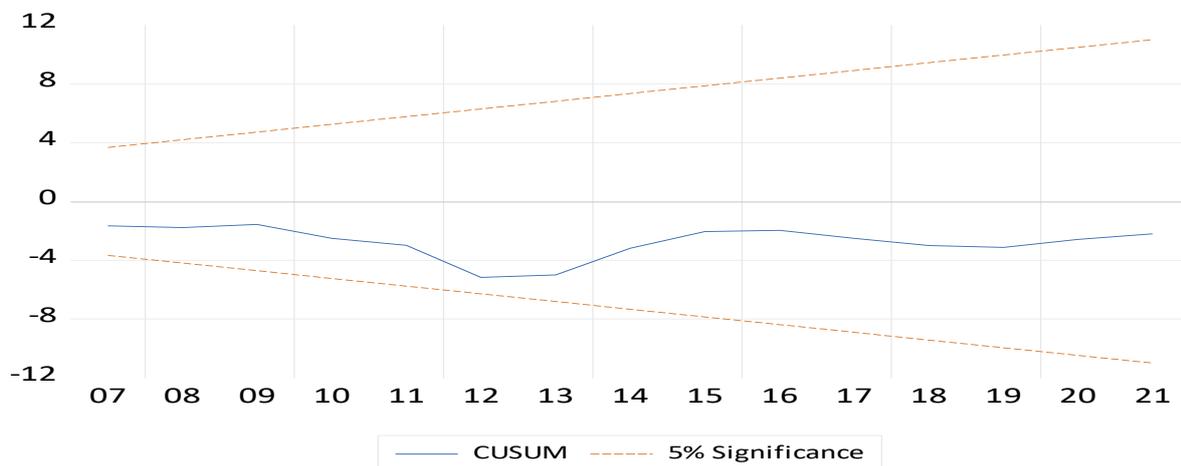
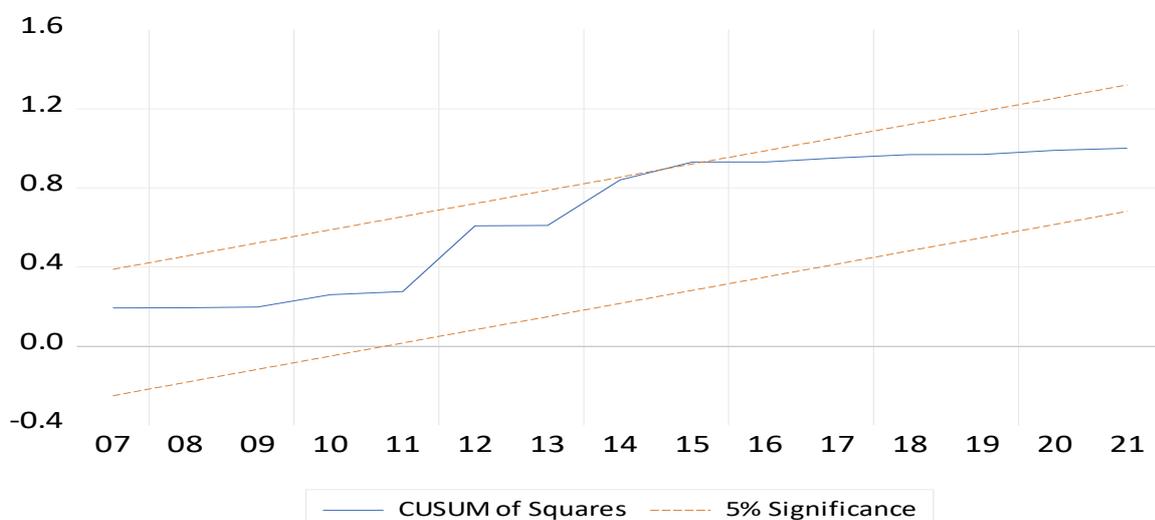


Tableau 9: Test de CUSUM of Squares



Source: Eviews 10

D'après les résultats des tests de CUSUM et CUSUM of Squares dans la figure ci-dessus, on peut dire que le modèle estimé est stable (car la courbe ne sort pas du corridor en pointillés). Les coefficients sont alors stables dans le temps. Sur le plan statistique, on peut conclure que les résultats de différents tests diagnostiques conduisent à la validation de notre modèle ARDL (4, 1, 0, 0,1).

5. Conclusion

L'objectif de cette recherche était d'analyser les effets de la croissance économique sur l'environnement au Mali mesurée par les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) en utilisant les données annuelles provenant de la base de données de la Banque mondiale (WDI) couvrant la période 1991-2021. Pour y parvenir, nous nous sommes servis du modèle ARDL proposé par Pesaran et Shin (1998) et Pesaran et Al. (2001) qui permet de modéliser la dynamique de long terme et de court terme des variables.

A l'issue de cette analyse, les résultats ont montré qu'à court terme, la croissance économique est sans effet sur les émissions de CO₂. En revanche, à long terme la croissance économique a un effet négatif et significatif sur les émissions de CO₂, une augmentation de 1% du taux de croissance engendre une diminution de -0.234309% du CO₂. Nous constatons par la suite qu'à court terme la croissance démographique contribue aux émissions de dioxyde de carbone. Ainsi l'étude a confirmé l'hypothèse de la courbe environnementale de Kuznets pour l'économie Malienne. Ces résultats permettent de renforcer le cadre de conception et d'analyse des politiques de développement notamment les politiques visant l'accélération de la croissance économique et celle visant une gestion durable de l'environnement et des ressources naturelles. Par ailleurs, nous recommandons que le Mali puisse promouvoir une croissance inclusive verte, qui passera nécessairement par les investissements en recherche et développement (politique d'innovation), la sensibilisation des populations sur la question du risque environnemental (politique de participation et d'adaptation) ainsi que la collecte et le suivi des indicateurs environnementaux dans toutes les zones économiques du pays. En plus, le Mali doit instituer le recours au gaz naturel, au gaz bio combustibles issus de déchets ou régénérés, aux énergies renouvelables (hydraulique, solaire) pour la satisfaction des besoins d'énergie (éclairage et électricité) de l'industrie et de l'urbanisation.

Des recherches futures pourraient être consacrées à l'analyse des effets de la croissance économique sur la température, l'une des variables décisionnelles dans la lutte contre les effets néfastes des changements climatiques. De même, d'autres indicateurs comme la valeur ajoutée du secteur industriel ou du secteur agricole, la consommation totale d'énergie électrique peuvent être utilisées comme variables explicatives dans l'analyse de la relation examinée, ainsi que l'interaction de variables

Bibliographie

- AEDD. (2011). *POLITIQUE NATIONALE SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES*. Mali: MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE L'ASSAINISSEMENT .
- AEDD. (2012). *RAPPORT NATIONAL SUR LE DEVELOPPEMENT DURABLE AU MALI Dans la perspective de RIO+20*. Conseil National de l'Environnement.
- AEDD. (2018). *RAPPORT NATIONAL SUR L'ETAT DE L'ENVIRONNEMENT AU MALI- EDITION DE 2017*. MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT DE L'ASSAINISSEMENT ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE .

- AEDD, PNUD, & fem. (2017). *RAPPORT: TROISIEME COMMUNICATION NATIONALE DU MALI A LA CONVENTION CADRE DES NATIONS UNIES SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES*. MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT, DE L'ASSAINISSEMENT ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE.
- Akpan , U., & Chuku, A. (2019). Economic Growth and Environmental Degradation in Nigeria: Beyond the Environmental Kuznets Curve. <https://mprapa.ub.uni-muenchen.de/31241/>, MPRA_paper_31241.
- Alex O, A. (2018). Economic growth, CO2 emissions and energy consumption: What causes what and where? *Energy Economics*, p:16, 677-692.
- AURELIA , B. M., INMACULADA, FRANCISCO, H. T., & MARTINEZ, Z. (2001). Croissance économique et émissions de CO2 dans l'Union européenne. *Environmental and Resource Economics*, 19 : 165-172.
- Béatrice, S. (2022). *Chiffres clés du climat France, Europe et Monde*. France: Le service des données et études statistiques (SDES).
- Catalina , B., & Goïta, M. (2015). *Rapport d'analyse d'état des lieux des données et informations existantes en matière des changements climatiques au Mali pour une analyse de vulnérabilité*. Mali: MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT DE L'ASSAINISSEMENT ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE.
- Catalina , B., & Modibo, G. (2015). *Rapport d'analyse d'état des lieux des données et informations existantes en matière des changements climatiques au Mali pour une analyse de vulnérabilité*. Mali.
- Catia , C. (2007). Croissance économique et qualité de l'environnement : Une analyse économétrique et une décomposition. *Gestion de la qualité de l'environnement : une revue internationale* , Vol. 18 No. 5 pp. 568-577.
- Christelle Flore , T. m. (2020). Changement climatique au Mali : impact de la secheresse sur l'agriculture et stratégies d'adaptation. *Economies et finances. Université Clermont Auvergne* <https://theses.hal.science/>, NNT : 2018CLFAD011.
- Cuma , B., & Yusuf, A. (2014). Croissance économique, émissions de CO2 et consommation d'énergie : Le cas turc . *Journal international de l'économie et de la politique de l'énergie*, Vol.4 n° 3, 2014, pp.484-494 ISSN : 2146-4553 www.econjournals.com.
- Drs. Floris Deodatus, D. S. (2022). *Evaluation environnementale intégrée du Mali, Rapport d'évaluation*. Mali: Isaure Vicarini, Chercheur associé.
- Edmond , N. D., & Henri , N. N. (2017). *African Development Review*, vol. 29, No.4 2017, 615-629.
- Felix , N. (2018). THE ENVIRONMENT AND GROWTH NEXUS: AN EMPIRICAL EXAMINATION OF THE ENVIRONMENTAL KUZNETS CURVE HYPOTHESIS IN COTE D'IVOIRE. *International Journal of Development Research*, 19.
- GIEC. (2018). *Réchauffement planétaire de 1,5°C, Résumé à l'intention des décideurs, Résumé technique et Foire aux questions*. ISBN 978-92-9169-253-8: Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.

- H.-O. Pörtner, D. R. (2022). : Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Cambridge University Press, UK and New York, NY, USA*, IPCC, pp:3056.
- Hlalefang , K., & Pierre , I. (2017). The relationship between energy consumption, the economy growth and carbon dioxide emissions: the case of south Africa. *Revue internationale d'économie de l'énergie et* , 7(3), 102-109.
- Joel , S., & Cyrille , N. N. (2019). Consommation d'énergie, croissance économique et émissions de Co2 au Cameroun : une analyse de causalité . *African Integration and Development Review*, volume 11, (20).
- Kapnann, H. B. (2012). Croissance économique et pollution environnementale : le cas de la chine (1960-2008). *Archives RePEc personnelles de Munich <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/39965/>*, MPRA Paper No. 39965.
- Karima , Y., & Zahir , B. (2021). Analyse de la relation entre les émissions de CO2 et la croissance du PIB en Algérie : Test de l'hypothèse de Kuznets . *Economic Researcher Review*, VOL 09, PP 205-216.
- KARMI, H., & CHKIR, A. (2013). Croissance économique et développement durable : cas de la Tunisie . *International Conference on Business, Economics, Marketing & Management Research (BEMM'13)* , Vol.2, pp.58-63,2014.
- Le Ministre de l'Equipement, d. I. (2000). *CONVENTION CADRE DES NATIONS UNIES SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, COMMUNICATION INITIALE DU MALI*. Mali: CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE.
- METEOROLOGIE, D. N. (2007). *Programme d'Action National d'Adaptation aux Changements Climatiques*. Mali: MINISTERE DE L'EQUIPEMENT ET DES TRANSPORTS .
- Mohd, S. S., Nor, E. H., Hussin , A., & Syahida, K. (2014). Relation entre l'investissement étranger direct, la croissance économique et émission de CO2 : une analyse des données d'un panel. *Journal international de l'économie et de la politique de l'énergie*, Vol. 4, n° 4, 2014, pp.706-715 ISSN : 2146-4553.
- NKENGFAK , H., & KAFFO, F. H. (2014). : Effets de la croissance économique sur les émissions de CO2 dans les pays du Bassin du Congo . *Conférence: 1er COLLOQUE DE L'ASSOCIATION D'ÉCONOMIE THEORIQUE ET APPLIQUEE*At: Université d'Abomey-Calavi, 17.
- Oluyomi, A. O., Afolabi, O., Martha , A. O., & Adekunle, O. (2020). L'impact de la consommation d'énergie et de l'économie Croissance des émissions de dioxyde de carbone. *Sustainability*, 12, 7965.
- Ouattara , A. N. (2021). Croissance économique, énergie et dégradation de l'environnement dans les pays de l'UEMOA . *Revue Ivoirienne de Sciences Economiques et de Gestion (Rev. Iv. Sci. Eco. Gest.) - RISEG*, Vol 2 - N°1 pp.9-26.

- Ousmane , D. (2004). OUVERTURE COMMERCIALE ET CROISSANCE ECONOMIQUE: LE CAS DU MALI. *Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Faculté des Sciences Economiques et de Gestion* , p:102.
- Patrice , D., Sidi, B., Pierre , R., Abdelkrim , B. M., Sory , I. D., Chantal , G., . . . Jean, P. N. (s.d.). Changements climatiques: Vers l'après-2012. *Liaison Énergie-Francophonie*, ISSN 0840-7827.
- Rafael , A., & Elisa , T. (2017). Dégradation de l'environnement et croissance économique : preuves pour un pays en développement. *Développement de l'environnement et durabilité*, <https://www.researchgate.net/publication/301313579>, DOI 10.1007/s10668-016-9790-y.
- Rafal , K. (2015). Croissance économique et émissions de CO2 : l'analyse ECM. *journal des études internationales* , vol.8, n*3, 2015, p.91-98.
- SENZELE, J. (2022). Economic growth and Environmental degradation in cote d'ivoire : STIRPAT Model Implementation . *Online at <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/114754/>*, Paper No. 114754.
- Stefan, C. A., & Amy, D. (2014). La Gouvernance du Changement Climatique : Anatomie d'un schisme de réalité. *Paris, Éditions La Découverte*, pp. 97-132.
- Toumache , R. (2009). Croissance et Environnement, Modèle de Kuznet Applique à l'Algerie . *Revue d'économie et de statistique appliquée* , volume 6, Numéro 2, Pages 37-52.
- TRAORE Kalilou, M. L. (1998). *VOLUME II: POLITIQUE NATIONALE DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT*. Mali: MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT.
- Ulrich Berenger , M. N. (2022). ANALYSE DES EFFETS DE LA CROISSANCE ÉCONOMIQUE SUR LA QUALITÉ DE L'ENVIRONNEMENT MESURÉE PAR LES ÉMISSIONS DE DIOXYDE DE CARBONE : CAS DE LA RÉPUBLIQUE DU BÉNIN. *Revue des études Multidisciplinaires en sciences économiques et Sociales* , ISSN : 2489-2068 Vol 7 - Numéro 1 .
- UNDP, & Global Environment Facility . (2011). *SECONDE COMMUNICATION NATIONALE DU MALI SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES*. Mali: MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE L'ASSAINISSEMENT.