

Cointégration et relations dynamiques entre la dégradation de l'environnement et la croissance économique en Algérie

Coitegration and dynamic relations between environmental degradation and economic growth in Algeria

Mouhouni Malika¹ / Chouchaoui Lamia²

¹ Université d'Alger 3 - Algérie, mouhouni.malika@univ-alger3.dz

² École Nationale Supérieure des Travaux Publics, l.chouchaoui@enstp.edu.dz

Reçu le : 10/04/2023

Accepté le 01/06/2023

Publié le: 17/06/2023

Résumé

L'objectif principal de cet article est d'étudier la relation entre la croissance économique et l'évolution des émissions de dioxyde de carbone en Algérie durant la période de 1971 à 2020. L'étude utilise le modèle autorégressif à retards échelonnés (ARDL) pour tester la relation de cointégration et estimer les relations dynamiques à long et court terme. L'hypothèse de la courbe de Kuznets environnementale (CEK) a été testée dans l'économie algérienne afin d'explorer la relation entre le PIB par habitant et les émissions de dioxyde de carbone par habitant.

Les résultats de l'estimation du modèle d'émission de dioxyde de carbone indiquent une relation de cointégration entre les variables. L'étude soutient également l'hypothèse de la courbe de Kuznets, selon laquelle la relation entre les émissions de dioxyde de carbone et la croissance est de forme de U inversé.

Mots clés: Emissions de CO₂ ; Hypothèse de CEK; modèle ARDL; Croissance économique; Consommation d'énergie.

Codes: Q50, Q56, C20, O4, Q4.

Abstract:

The objective of this article is to study the relationship between economic growth and the evolution of CO₂ emissions in Algeria during the period 1971-2020. The study uses autoregressive distributed lags to test cointegration relationships and estimate long and short term dynamic relationship. The Environmental Kuznets Curve (EKC) hypothesis was tested in the Algerian economy to explore the relationship between GDP per capita and CO₂.

The results estimated by the carbon emission model show that there is a cointegration relationship among the variables. The study also supports the Kuznets curve hypothesis, which states that the relationship between carbon emissions and growth is inverted U-shaped.

Keywords: CO₂ emissions; EKC Hypothesis; ARDL model; Economic growth; Energy consumption.

Jel Classification Codes: Q50, Q56, C20, O4, Q4.

Auteur correspondant: Mouhouni Malika, Email: mouhouni_m@yahoo.fr

1. Introduction:

Les préoccupations environnementales mondiales dues aux impacts négatifs du changement climatique sur la planète Terre ont orienté les économies mondiales vers l'utilisation d'énergies vertes (Abbes. Y & Benmensour.L, 2022, p. 34), en plus de réduire considérablement les émissions de dioxyde de carbone. Selon des études récentes, la plupart des émissions de carbone proviennent des pays en développement, ce qui est dû, à une croissance économique rapide (Li.S, Deng.H, Zhang.K, 2019, p. 3). Malgré les avantages de la mondialisation pour le développement de l'économie, elle présente des inconvénients en raison desquels la consommation d'énergie augmente, ce qui entraîne à son tour une

augmentation de la pollution de l'environnement. Actuellement, la situation a atteint un point où ni la pollution de l'environnement ni la croissance économique ne peuvent être menacées. Cependant, transformer une croissance économique simple en une croissance respectueuse de l'environnement est une voie à suivre.

De nombreuses études ont porté sur l'analyse de la relation entre les problèmes environnementaux, la croissance économique et la consommation d'énergie. En fait, la menace du changement climatique causée principalement par les émissions polluantes (CO₂) a attiré l'attention sur la relation qui existe entre ces dernières et la croissance économique, car la forte relation entre eux suggère qu'avec un taux élevé de croissance économique, les émissions de dioxyde de carbone augmentent plus rapidement.

Nous constatons dans la plupart de la littérature, que la croissance économique et les émissions de dioxyde de carbone sont liées sous l'hypothèse de la courbe environnementale de Kuznets pour déterminer la relation entre eux. Cette courbe est une relation de forme de U-inversé entre la croissance économique et les taux d'émission de dioxyde de carbone qui est basée sur une théorie proposée par les économistes néoclassiques (Grossman, G.M., Krueger, A.B, 1991) et (Shafik, N. Bandyopadhyay, S, 1992). Cette courbe est basée sur l'hypothèse que les taux d'émissions sont élevés au premier stade du développement des pays, mais après un certain niveau de développement, la croissance économique se poursuit mais les émissions diminuent de plus en plus. En fait, la croissance du produit intérieur brute nécessite une plus grande utilisation des ressources et libère plus d'émissions polluantes. Cependant, selon l'hypothèse de la courbe de Kuznets, le pays a la capacité d'investir une partie de sa richesse dans la recherche et le développement des moyens de production les plus respectueux de l'environnement et ainsi réduire les émissions en assurant une augmentation du produit intérieur brute.

L'économie Algérienne se caractérise par sa dépendance vis-à-vis des recettes pétrolières. D'après (Ministère de l'Énergie et des Mines) les hydrocarbures représentant une part de 30% du produit intérieur brute, 60 % des ressources budgétaires ainsi que plus de 97 % des recettes d'exportation. L'Algérie détient les 10 plus grandes réserves au monde dont la 3^{ème} plus grande réserve de gaz de schiste et est le 6^{ème} exportateur de gaz. De plus, son économie se caractérise par une production peu diversifiée, ce qui signifie qu'il a été dominé par les industries extractives de gaz. En outre, (Omri, A, 2013, p. 660) a indiqué dans son étude que certains pays comme l'Algérie ont tendance à augmenter considérablement leurs émissions de dioxyde de carbone alors qu'ils tentent d'industrialiser et de moderniser l'économie, cela est dû au fait que la relance de la croissance économique entraîne la consommation de grandes quantités d'énergie, notamment de pétrole et de gaz.

De ce fait, nous avons constaté qu'il est important d'étudier et d'analyser la relation entre les émissions de CO₂ et la croissance économique dans ce pays en développement. Dans ce sens, Il est donc important de vérifier la fiabilité de l'hypothèse de la courbe de Kuznets (CEK) car, comme indiqué par (Narayan, P.K, Narayan, S, 2010, pp. 661–666), cela permet aux décideurs économiques de déterminer la réaction de l'environnement face à la croissance économique. Ainsi, les résultats de cette recherche peuvent contribuer à aider

les décideurs politiques algériens d'établir une telle politique énergétique qui assure un équilibre entre croissance économique et prospérité environnementale.

Au vu de ce qui précède, la présente étude vise à analyser empiriquement la relation d'équilibre entre les émissions de dioxyde de carbone (CO_2) et la croissance économique en Algérie, où nous essayerons de fournir une réponse à la question suivante:

La relation entre la croissance économique et la dégradation de l'environnement en Algérie, pour la période 1971-2020, est-elle compatible avec l'hypothèse de la courbe environnementale de Kuznets ?

Pour répondre à la question, nous étudions d'abord les relations d'équilibre entre les émissions de CO_2 par habitant, le PIB par habitant le carré du PIB par habitant et la consommation d'énergie sur des séries annuelles au prix constant de 2010, en utilisant la méthode ARDL, et nous testons ensuite la validité de l'hypothèse de Kuznets.

Le document est organisé de la manière suivante: la section 1, traite une revue de quelques études antérieures dans ce domaine, suivie dans la deuxième section d'une discussion des données et de la méthodologie sur lesquelles l'étude est basée, et enfin les analyses des résultats sont présentées dans la section 3.

2. Revue de littérature

Plusieurs études ont été menées pour déterminer le lien qui existe entre les émissions de dioxyde de carbone, la consommation d'énergie et les performances économiques d'un pays. Les chercheurs (Grossman,G.M., Krueger,A.B, 1991), (Shafik, N. Bandyopadhyay,S, 1992) et (Stern.DI, Common.M.S, Barbier.E.B, 1996, pp. 1151–1160) ont examiné si l'efficacité économique et la consommation d'énergie augmentaient les émissions de CO_2 et contribuaient ainsi à la pollution de l'environnement. Ils soutiennent que pollution de l'environnement et la performance économique augmentent avec la consommation de l'énergie.

Les recherches de (Soytas. U, Sari.R, Ewing.BT, 2007, pp. 482–489) montrent qu'il existe une relation dynamique entre la consommation d'énergie, les émissions de carbone et la croissance économique aux États-Unis, et que cette dernière entraîne une augmentation de la consommation énergétique, augmentant ainsi les émissions de CO_2 .

Les résultats des travaux de (Ang.JB, 2007, pp. 4772–4778), conclut que la croissance économique en France et en Malaisie, entraîne une consommation d'énergie et des émissions de CO_2 . L'étude de (Chang C.C, 2010, pp. 3522–3527) montrent qu'il existe une relation directe entre la performance économique de la Chine, la consommation d'énergie et les émissions de CO_2 .

Une étude a été menée sur l'économie Turque (Ozturk.I, Acaravci.A, 2012, pp. 262–267) pour évaluer les effets du progrès financier, de l'utilisation de l'énergie, de l'ouverture commerciale et de la croissance économique sur les émissions de dioxyde de carbone au cours de la période 1960-2007, dont les résultats démontrent une relation de cointégration entre les variables et la validation de l'hypothèse de Kuznets (CEK) en Turquie.

Outre l'activité économique, des pays comme le Bangladesh et l'Indonésie ont d'autres sources d'émissions de CO_2 , tandis que d'autres pays sont confrontés à des

émissions de CO₂ dues à l'augmentation des performances économiques et de la consommation d'énergies.

A travers de nombreuses recherches, une étude (Salahuddin.M, Grow.J, Ozturk.I, 2015, pp. 317–326) a conclu que la consommation d'électricité augmente les émissions de dioxyde de carbone, ce qui à son tour augmente le PIB par habitant et le développement économique. Selon (Alshehry. AS, Belloumi.M, 2015, pp. 237–247), l'Arabie Saoudite a tenté de réduire ses émissions de CO₂, mais cela a eu des impacts négatifs sur la croissance économique du pays. La consommation d'énergie, le prix de l'énergie et les émissions de carbone sont les facteurs de la croissance économique. La civilisation industrielle utilise l'énergie fossile pour les activités économiques. Les émissions de gaz à effet de serre augmentent, indiquant que les activités humaines augmentent. (Fei.Li, 2011, pp. 568–574) Ont conclu que, dans le cas de la Chine, les émissions de CO₂ sont positivement corrélées avec la croissance économique.

(Magazzino.C, 2014, pp. 546–553) a utilisé le modèle VAR pour déterminer le lien entre la croissance économique, l'utilisation de l'énergie et les émissions de CO₂ durant la période allant de 1971 à 2007 pour six pays de l'Asie du Sud Est. Les résultats montrent que la consommation d'énergie est statistiquement significative dans l'équation de croissance de PIB, ce qui implique qu'une consommation intensive d'énergie conduit à une meilleure activité économique. Les résultats du modèle VAR suggèrent que l'hypothèse de croissance est valable pour les pays de l'ASEAN. La conclusion retirée de cette étude est que l'énergie a un effet restrictif sur la croissance économique et que l'approvisionnement en énergie peut avoir un impact négatif sur la croissance économique. Dans une autre étude il a démontré une corrélation entre la performance économique, les émissions de CO₂ et la consommation d'énergie en Italie. L'auteur a utilisé plusieurs méthodes économétriques, telles que la cointégration et les modèles VAR pour la corrélation à long terme, et le test de causalité Toda Yamamoto (TY) pour l'analyse de causalité. Les résultats montrent une relation causale à double sens entre les émissions de CO₂ et la performance économique, et que les émissions de CO₂ et le PIB réel entraînent une augmentation de la consommation d'énergie. L'étude conclut que l'Italie devrait réduire ses émissions de CO₂ en réduisant sa consommation d'énergie.

Sur des recherches menées en Tunisie (Farhani.S, Ozturk.I, 2015, pp. 15663–15676), portait sur la relation causale entre le PIB réel, le développement financier, l'urbanisation, les émissions de CO₂, les exportations et la consommation d'énergie durant la période 1971-2012, en utilisant le modèle ARDL pour estimer la corrélation à long terme et méthode de correction d'erreur pour analyser la dynamique de cette relation. Les résultats montrent que les progrès budgétaires de la Tunisie se réalisent au détriment de la pollution de l'environnement. L'étude n'a pu déterminer la validité de la courbe de Kuznets dans ce pays.

Une autre étude, menée par (ESSO Loesse. Yaya, 2016, pp. 492–497), a étudié l'impact des émissions de CO₂ dans 12 pays de l'Afrique subsaharienne durant la période 1971 à 2010, en utilisant le test F-Bound pour vérifier la cointégration et la causalité entre les variables. Les travaux révèlent une relation directe entre les émissions de CO₂, la consommation d'énergie et la croissance économique et une relation causale

bidirectionnelle entre la croissance économique et les émissions de dioxyde de carbone en République du Congo, Gabon et au Nigeria. Ce résultat confirme la littérature et les hypothèses sur l'interaction entre les niveaux d'activité économique et les émissions de CO₂.

L'impact de l'ouverture commerciale, de la performance économique et du progrès financier sur l'énergie est discuté pour l'économie Sud-Africaine (Rafindadi.A.A, Ozturk I, 2017, pp. 74-85) durant la période allant de 1970 à 2011. Les auteurs ont utilisé le test de stationnarité de Ng-Perron et Zivot Andrew pour une rupture structurelle, l'approche ARDL pour examiner la relation à long terme et le test de causalité pour tester la causalité. L'étude a conclu que le progrès financier avait un effet stimulant sur la demande d'énergie en Afrique du Sud. L'étude soutient que l'énergie devrait être considérée comme faisant partie de la cause du développement économique stratégique et de la croissance économique durable.

3. Spécification du modèle et méthodologie d'estimation

3.1 Spécification du modèle

Cette étude est basée sur des études antérieures réalisées dans ce domaine par (Grossman,G.M., Krueger,A.B, 1991) et adoptées par la suite par (Ang.JB, 2007, pp. 4772–4778). Pour examiner la relation à long terme, également connue sous le nom de relation cointégration entre les émissions de CO₂, la croissance économique et la consommation d'énergie, et de tester la validité de l'hypothèse de la courbe Environnementale de Kuznets(CEK), la forme suivante est proposée:

$$\ln\text{CO}_2_t = \beta_1 + \beta_2 \ln\text{PIB}_t + \beta_3 (\ln\text{PIB}_t)^2 + \beta_4 \ln\text{CE}_t + \varepsilon_t \dots (1)$$

Tel que:

$\ln\text{CO}_2_t$, $\ln\text{PIB}_t$, $(\ln\text{PIB}_t)^2$ et $\ln\text{CE}_t$ représentent respectivement: les émissions de CO₂/habitant, le PIB / habitant, le carré du PIB réel/ habitant et la consommation d'énergie par habitant, ε_t l'erreur aléatoire. Les coefficients β_2 , β_3 et β_4 désignent respectivement, les élasticités à long terme des émissions de CO₂ par rapport à $\ln\text{PIB}_t$, $(\ln\text{PIB}_t)^2$ et $\ln\text{CE}_t$.

L'équation (1) suppose la pollution environnementale comme fonction du PIB et du PIB au carré, où le PIB étant utilisé pour exprimer la relation entre la croissance économique et l'environnement au début du processus de développement, tandis que le carré du PIB pour tester la validité de la courbe de Kuznets pour l'Algérie.

D'après l'étude réalisée par (Dinda, S, 2004, p. 441), les paramètres de ce modèle et la relation entre les variables peuvent être interprétées comme suit:

1. Si: $\beta_2 > 0, \beta_3 = 0$: Une relation monotone croissante ou une relation linéaire entre PIB et CO₂. A mesure que le PIB augmente, cela entraîne une pression accrue sur l'environnement.
2. Si : $\beta_2 < 0, \beta_3 = 0$: la relation entre les variable PIB et CO₂ est de forme linéaire et décroissante. À mesure que le PIB augmente, les pressions sur l'environnement diminuent.
3. Si : $\beta_2 > 0, \beta_3 < 0$: Fait référence à la courbe de Kuznets en forme de U-inversé, lorsque le PIB atteint une certaine valeur, la pression environnementale diminue.

4. Si : $\beta_2 > 0, \beta_3 > 0$: Fait référence à la courbe de Kuznets en forme de U où la pression environnementale diminue (augmente) avec la diminution (l'augmentation) du PIB.

A partir de là, nous observons que la CEK n'est qu'un des résultats possibles du modèle (1). A partir de (3), le point de retournement ou de rupture de la CEK est obtenu par:

$$\ln \text{PIB}^* = -\frac{\beta_2}{2\beta_3}.$$

Dans cette étude, nous avons utilisé la méthode ARDL dite aussi black box, en raison de ses procédures statistiques supérieures dans des échantillons de petite taille par rapport aux modèles VAR et VEC. De plus, cette approche surmonte le problème des niveaux d'intégration, et pourrait être appliquée indépendamment des variables I(1) ou I(0) ou mutuellement intégrées, le problème d'endogénéité ne se pose pas (Harris.R., Sollis.R, 2003), et elle permet en outre d'estimer les dynamiques de long et de court terme dans le même modèle (Akpan.G.E, Akpan.U.F, 2012, p. 297).

Selon (Pesaran.H. & al, 2001), l'approche ARDL s'applique en trois étapes. La première consiste à estimer les paramètres du modèle (2) par les moindres carrés ordinaire(MCO) dans le but de tester l'existence d'une relation de long terme entre les variables. Une fois cette hypothèse établie, dans une deuxième étape, le modèle ARDL pour déterminer la relation dynamique à long terme peut être estimé comme en équation (3), Enfin, l'objectif final est d'estimer le modèle de correction d'erreur à court terme (l'équation 4) à l'aide des moindres carrés ordinaire. De plus la stabilité de la correction d'erreur de l'équation (4) est vérifiée par les tests CUSUM et (CUSUMSQ).

Ces trois équations peuvent être écrites comme suit:

$$\Delta \ln \text{CO2}_t = \beta_1 + \delta_1 \ln \text{CO2}_{t-1} + \delta_2 \ln \text{PIB}_{t-1} + \delta_3 (\ln \text{PIB}_{t-1})^2 + \delta_4 \ln \text{CE}_{t-1} +$$

$$\sum_{i=1}^h V_{1i} \Delta \ln \text{CO2}_{t-i}$$

$$+ \sum_{i=0}^h V_{2i} \Delta \ln \text{PIB}_{t-i} + \sum_{i=0}^h V_{3i} \Delta (\ln \text{PIB}_{t-i})^2 + \sum_{i=0}^h V_{4i} \Delta \ln \text{CE}_{t-i} + \varepsilon_{1t} \dots (2)$$

$$\ln \text{CO2}_t = \beta_2 + \sum_{i=1}^h \delta_{1i} \ln \text{CO2}_{t-1} + \sum_{i=0}^h \delta_{2i} \ln \text{PIB}_{t-1} + \sum_{i=0}^h \delta_{3i} (\ln \text{PIB}_{t-1})^2$$

$$+ \sum_{i=0}^h \delta_{4i} \ln \text{CE}_{t-1} + \varepsilon_{2t} \dots (3)$$

$$\Delta \ln \text{CO2}_t = \beta_3 + \sum_{i=1}^h V_{11} \Delta \ln \text{CO2}_{t-i} + \sum_{i=0}^h V_{12} \Delta \ln \text{PIB}_{t-i} + \sum_{i=0}^h V_{13} \Delta (\ln \text{PIB}_{t-i})^2$$

$$+ \sum_{i=0}^h V_{14} \Delta \ln \text{CE}_{t-i} - \tau_1 \text{ecm}_{t-1} + \varepsilon_{3t} \dots (4)$$

Où:

β_i ($i= 1,2,3$) les termes constants, V_i ($i= 1,\dots,4$) les coefficients à court terme, τ_1 le coefficients du terme de correction d'erreur, à savoir ecm_{t-1} , ε_{it} ($i= 1,\dots,3$) le terme d'erreur, h la longueur de décalage sélectionnée à l'aide de critère d'AIC, δ_i ($i= 1,\dots,4$) les coefficients à long terme utilisés pour vérifier la cointégration. (Pesaran.H. & al, 2001, pp. 289-326) ont établi deux types de statistiques F (F limites et F critiques). Ils ont élaboré des tableaux statistiques pour couvrir seulement deux types de niveau d'intégration I(0) et I(1).

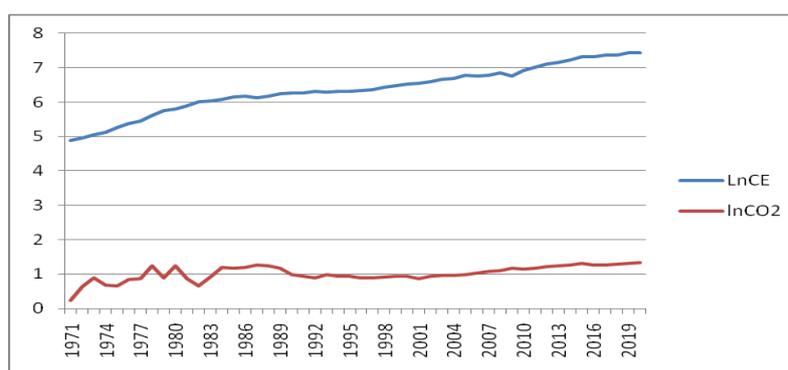
Pour déterminer la décision de cointégration, la statistique F limites (c'est-à-dire la statistique F calculée) est comparée aux valeurs critiques de la statistique F des deux niveaux d'intégration (I(0) et I(1)), si la statistique F calculée est supérieure à la valeur F critique de la borne supérieure (I(1)), la décision est de rejeter l'hypothèse $H_0: \delta_i = 0$, de sorte que les variables dans le modèle sont cointégrées. Lorsque la valeur calculée est entre les deux bornes, la décision d'accepter ou de rejeter cette hypothèse n'est pas décisif.

3.2 Description des variables

Nous essayons d'analyser la relation d'équilibre entre les émissions de CO₂, le PIB, le PIB au carré et la CE, en trois étapes. Tout d'abord, on détecte les niveaux d'intégration des variables par le test de Dickey-Fuller augmenté (ADF) et le test Phillips-Perron (PP). Deuxièmement, la méthode ARDL est utilisée pour tester la cointégration entre les variables et estimer les relations d'équilibre. Enfin, nous testons la validité de l'hypothèse de la courbe de Kuznets dans l'économie algérienne.

Avant de commencer notre étude économétrique, nous présentons la série de variable incluses dans le modèle, à savoir la croissance économique, les émissions de dioxyde de carbone et la variable énergétique de 1971 à 2020. La croissance économique est mesurée par le PIB/ habitant en dollar constant de 2010. Les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) ont été utilisées comme indicateur de la pollution de l'environnement, la mesure est exprimée en tonnes métriques/habitant. La variable énergétique représente la consommation d'électricité (CE), la mesure étant exprimée en KW/h par habitant. Toutes ces variables ont été issues de base de données de la Banque mondiale (La Banque Mondiale, 2022). Pour réduire le problème d'hétéroscédasticité, toutes ces variables sont exprimées sous forme logarithmique. Les graphiques 1 et 2 représentent l'évolution de ces variables au cours de la période d'étude.

Figure N° 1. Evolution des émissions de CO₂, consommation d'électricité de 1971 à 2020

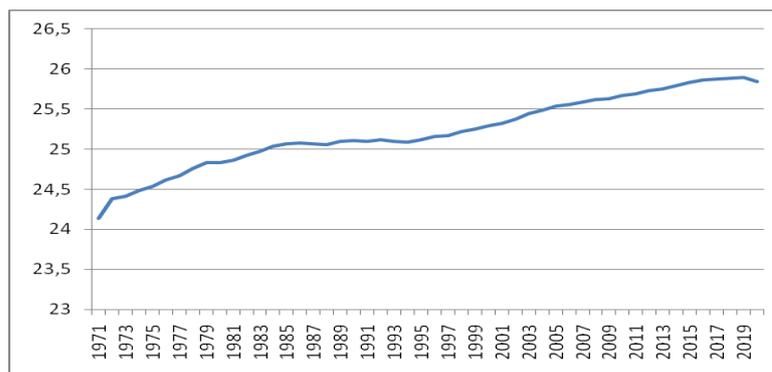


Source: Réalisé à partir des données de la Banque mondiale (2022).

Au cours des dernières années, la consommation d'énergie en Algérie a évolué de manière considérable, ce qui a conduit à une augmentation des émissions de dioxyde de carbone. La figure 1 montre que cette dernière a connu une forte évolution au cours de la période 1971-2020, avec un taux de croissance annuel important, qui peut être lié aux programmes lancés par le gouvernement algérien.

Conformément à (Sahnoune.F& al, 2013, pp. 1286-1294), l'Algérie est l'un des plus importants émetteurs parmi les pays en voie de développement. La moyenne annuelle des émissions globales de dioxyde de carbone est de 4,7 Tonne/habitant, soit moins que le Qatar (55,4 Tonne/habitant) et les Emirats Arabes Unis (31,1 Tonne/habitant), mais plus que la Tunisie (2,4 Tonne/habitant) et l'Inde (1,4 Tonne/habitant). En termes de production et de consommation, le secteur de l'énergie est le plus émetteur, représentant environ 75% des émissions totales.

Figure N° 2. Evolution du PIB/ habitant durant la période 1971-2020



Source: Réalisé à partir des données de la Banque mondiale (2022)

Le graphique 2 présente l'évolution du PIB/ habitant sur la période 1971-2020, où l'on constate une tendance à la hausse jusqu'en 1985, suivie d'une période à la baisse jusqu'en 1995 et d'une tendance à la hausse depuis lors.

Comme indiqué par (Chemingui.M, 2003), de 1962 à 1985, l'Algérie a connu sa plus forte croissance économique tirée principalement par l'évolution du secteur de l'industrie de transformation, qui a été favorisée par d'importants investissements publics.

Durant la période allant de 1985 à 1995, l'Algérie a connu dans un premier temps, une période caractérisée par une déstabilisation macroéconomique, due d'une part à la baisse des prix du pétrole sur le marché international, aux difficultés d'ajustement et à la faiblesse de la croissance économique. Et d'autre part, à la mise en œuvre du premier plan d'ajustement, où la croissance économique a continué de baisser.

Depuis 1995 la croissance économique en Algérie a commencé à s'améliorer, ce qui peut être lié aux prix élevés du pétrole, et à la mise en œuvre de la deuxième réforme économique soutenue par la Banque mondiale et le Fonds Monétaire International.

4. Analyse et discussion des résultats

4.1 Résultats des tests de racines unitaires

Pour appliquer la méthode ARDL, il faut être certain que toutes les variables ne sont pas intégrées d'ordre deux ou plus. La première étape est donc de tester la stationnarité des séries des variables pour déterminer leurs niveaux d'intégration.

Les tests de Dickey Fuller Augmenté (ADF) et de Phillips Perron (PP) sont utilisés pour déduire l'état stationnaire de nos variables. Le tableau 1 présente les résultats obtenus en appliquant ces deux tests.

A partir de ces résultats, nous remarquons que toutes les séries sont stationnaires en 1^{ère} différence et qu'aucune n'est intégrée d'ordre 2, la technique ARDL est donc appropriée

pour estimer l'éventuelle relation de cointégration entre les variables incluses dans le modèle.

Table N°1. Les résultats de stationnarités

	Le test de ADF	Le test de P.P	La décision
	Valeur de t-Stat	Valeur de t-Stat	
Les variables au niveau			
lnCO ₂	0,56	0,64	Existence de racine unitaire
lnPIB	4,12	4,32	Existence de racine unitaire
(LnPIB) ²	-0,99	-3,01	Existence de racine unitaire
lnCE	-2,69	-2,65	Existence de racine unitaire
Les variables à la 1^{ère} différence			
DlnCO ₂	-6,92**	-10,18**	I(1)
DlnPIB	-6,68**	-6,68**	I(1)
D(LnPIB) ²	-7,79*	-7,06*	I(1)
DlnCE	-6,68**	-6,86**	I(1)

Source : Réalisé à partir des résultats du logiciel Eviews 12.

I(1) : la variable est stationnaire après la différence 1^{ère}.

* et ** indiquent la signification aux seuils de 5% et 1%, respectivement.

4.2. Le test de cointégration

La table 2 rapporte les résultats du test des F-limites (F-Bounds test) de la relation de cointégration fondée sur l'équation (3). Sur la base des quatre critères de sélection que sont AIC, SC, LR et HQ, Le nombre de retard optimal est de deux (h=2). Ce tableau révèle que l'hypothèse ($H_0: \delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = \delta_4 = 0$), selon laquelle il n'y a pas de cointégration entre les variables LnCO_{2t}, LnGDPT, (LnPIB)² et LnCE_t est rejetée (16,06 > 5,41 au seuil de signification de 1%).

Table N°2. Les résultats du test de cointégration (F-Limites)

Valeurs critiques de F-limites: modèle avec constante et absence de tendance				
F- Calculée	Seuil de signification 5%		Seuil de signification 1%	
16,06	I(0)	I(1)	I(0)	I(1)
	3,08	4,02	4,27	5,41

Source : Réalisé à partir des résultats du logiciel Eviews 12.

4.3 L'estimation des relations dynamique à long et à court terme

Le tableau 3 présente les résultats de l'estimation des coefficients à court et à long terme par les moindres carrés ordinaires. Les critères AIC et SC ont été utilisés pour sélectionner le nombre optimal de retards pour le modèle ARDL

Table N°2. Analyses des relations dynamiques

Relation à long terme (ARDL(2,1,2,2))		
Les variables	Le coefficient	t-Statistique
lnCO2(-1)	-0.44**	-1.72
LnCO2(-2)	-0.29	1.43
lnPIB(-1)	2.69***	4.04
(lnPIB(-1)) ²	-0.10***	-2.92
lnCE	0.36	-1.52
lnCE(-1)	0.63***	2.68
C	-14.07***	-5.46
Relation à court terme		
Les variables	Le coefficient	t-Statistique
$\nabla(\ln\text{CO}_2)$	-0.25**	-2.27
$\nabla(\ln\text{PIB}(-1))$	1.88**	2.29
$\nabla(\ln\text{PIB}(-1))^2$	-0.08**	-2.32
$\nabla(\ln\text{CE}(-1))$	0.07**	2.33
$\nabla(\ln\text{CE}(-2))$	0.44**	2.35
CointEq(-1)	-0.87***	-4.33
$R^2 = 0,86, \bar{R}^2 = 0,76$		

Source : Réalisé à partir des résultats du logiciel Eviews 12.

* et ** indiquent la signification aux seuils de 5% et 1%, respectivement.

A partir de ces résultats, nous remarquons que l'élasticité relative au PIB réel par habitant est positive et significative à la fois dans les relations à long terme et à court terme, avec des valeurs de 2,69 et 1,88 respectivement. En outre, le coefficient estimé associé au carré du PIB par habitant est négatif et significatif, confirmant l'hypothèse selon laquelle les émissions de CO₂ diminuent lorsque les pays atteignent des niveaux de revenu élevés.

Ce résultat confirme l'hypothèse de la courbe environnementale de Kuznets, selon laquelle les niveaux d'émissions de CO₂ augmentent d'abord avec le revenu, puis se stabilisent avant de diminuer. Par conséquent, les décideurs algériens peuvent encourager la croissance économique et s'en tenir à leurs objectifs d'INDC. Ces résultats sont cohérents avec ceux rapportés pour les pays africains (Narayan.P.K, Narayan.S, 2010). Dans cette étude, les auteurs concluent que le Ghana, l'Afrique du Sud, l'Algérie, l'Éthiopie, le Kenya, le Nigéria et le Congo sont les pays de la région africaine qui soutiennent la courbe de Kuznets.

Selon (Dinda, S, 2004, p. 441), le point de rupture (pour une valeur logarithmique) peut être calculé comme le rapport entre le coefficient du lnPIB et $2 * (\ln\text{PIB})^2$, cette valeur étant calculée à partir du résultat estimé comme étant : $2,69 / 2 * 0,1 = 13,45$. Cependant, tout au long de la période étudiée, le maximum logarithmique du PIB par habitant était de 13,02. Ces résultats suggèrent que la croissance économique en Algérie continuera d'augmenter les émissions de CO₂.

Le tableau 3 montre également que les coefficients estimés pour la variable consommation d'énergie LnCE sont positifs. Ce résultat suggère qu'une augmentation de la consommation d'énergie par habitant augmente les émissions de CO₂.

L'estimation de la relation de court terme a montré que le facteur d'ajustement ou de correction d'erreur (CointEq(-1)) est négatif et significatif au niveau de signification de 1%, ce qui implique une relation à long terme entre les variables. Sa valeur est de 0,87, indiquant que la vitesse d'ajustement du modèle dynamique pour rétablir l'équilibre à long terme sera corrigée de 87%.

. Pour valider ce modèle, des tests de diagnostic ont été réalisés sur les résidus. L'hypothèse d'une corrélation entre les résidus a été rejetée par le test de Breusch Godfrey (Prob- F-Statistique=0,744>0,05). Le test de Breusch Pagan Godfrey a confirmé l'absence d'hétéroscédasticité dans les variances résiduelles, tandis que le test de Jarque Berra a montré qu'ils étaient normalement distribués.

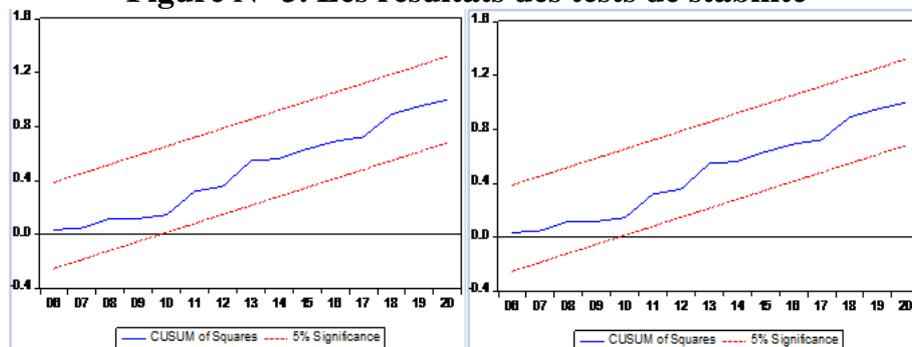
De plus, la figure 3 montre les courbes de test pour la somme cumulative récursive des résidus (CUSUM) et la somme des cumulative récursive des carrés des résidus (CUSUMSQ), et les résultats montrent que les coefficients du modèle à correction d'erreur sont stables durant cette période.

Table N°4. Résultats de diagnostic des résidus

Test de Jarque Berras		Test de Breusch Godfrey		Test de Breusch Pagan Godfrey	
J- B statistique	Prob- (J-B) statistique	F-Statistique	Prob- F- Statistique	F-Statistique	Prob- F- Statistique
0,693	0,707	0,298	0,744	0,369	0,914

Source : Réalisé à partir des résultats du logiciel Eviews 12.

Figure N° 3. Les résultats des tests de stabilité



Source : Réalisé à partir des résultats du programme Eviews 12

5. Conclusion:

Le réchauffement climatique est devenu un enjeu très important ces dernières décennies. Pour éviter ce problème, certains pays ont développé de nouvelles technologies pour réduire les émissions de dioxyde de carbone et la consommation d'énergie sans limiter la croissance économique. Par conséquent, le contrôle des émissions de CO₂, la réduction de la consommation de combustibles fossiles et la promotion de la croissance économique sont des tâches importantes auxquelles sont confrontés les pays du monde entier, y compris l'Algérie.

Le présent document estime les relations dynamiques entre les émissions de dioxyde de carbone (CO₂), le Produit Intérieur Brute, le Produit Intérieur Brute élevé au carré et la

consommation d'énergie pour la période 1971-2020 et vérifie la validité de l'hypothèse de la courbe environnementale de Kuznets pour l'Algérie. Il utilise les tests de racines unitaires de Dickey Fuller Augmenté (ADF) et de Phillips Perron (PP) pour détecter les niveaux d'intégration des variables, et l'approche ARDL pour tester la cointégration et estimer les relations dynamiques. Les résultats des tests de stationnarités montrent que toutes les variables sont intégrées au premier ordre (I(1)). Quant aux résultats du test des F-limites (F-Bounds test), il indique qu'elles sont cointégrées.

Les résultats montrent que le coefficient associé au PIB réel par habitant est positive et significative, et le coefficient associé au PIB par habitant au carré est négatif et significatif. Ceci confirme l'existence d'une relation entre la croissance économique et la dégradation de l'environnement en Algérie au cours de la période 1971-2020, compatible avec la courbe de Kuznets. De plus, la consommation d'énergie (CE) est positivement corrélée avec les émissions de CO₂, qui signifie que plus la consommation de l'énergie est élevée, plus les émissions de CO₂ sont importantes.

Nos résultats sont conformes avec ceux de (Narayan.P.K, Narayan.S, 2010, pp. 661–666) confirmant une relation entre la croissance économique et la dégradation de l'environnement en forme de U inversé dans 43 pays, dont l'Algérie. Cela signifie qu'un développement durable peut être atteint sur la base de la croissance économique et de l'augmentation des revenus. Cette hypothèse est également étayée par l'idée d'un changement dans les structures des économies à travers l'utilisation de techniques de consommation des ressources plus propre et plus efficace, ce qui justifier l'étape descendante de la courbe de Kuznets (Dinda, S, 2004, pp. 431–455). Les décideurs Algérien devraient donc continuer à mettre en œuvre une politique nationale de technologie verte pour assurer une croissance économique durable du PIB et de la consommation d'énergie, tout en réduisant les émissions de CO₂.

Cependant, certaines recommandations s'imposent au vu des résultats obtenus:

- Soutenir les agents économiques qui introduisent des innovations économique-techniques dans la consommation d'énergie et d'émissions de CO₂;
- Augmentation de la capacité des arbres ou forêts par l'encouragement et le développement des programmes d'agriculture biologique et de reforestation, afin de lutter contre les émissions excessives de CO₂;
- Taxer les grands pollueurs pour les encourager à prendre des décisions en vue de réduire les émissions de dioxyde de carbone;
- La nécessité d'investir dans des sources d'énergie alternatives et propre telles que l'éolien, le solaire, et l'hydraulique, notamment en fournissant le cadre législatif et réglementaire.
- Bien que l'étude suggère que les émissions de CO₂ peuvent être atteintes le point de rupture de la courbe de Kuznets, mais à cause de la croissance démographique, il reste encore beaucoup à faire pour les réduire en dessous des niveaux actuels. À cet égard, l'étude recommande la conception et la mise en œuvre de politiques visant à vérifier la qualité des voitures d'occasion. des véhicules, des machines, des engrais et des mines.

- Incorporer les considérations environnementales dans la formulation et le développement des politiques macroéconomiques visant à réduire l'impact des pressions environnementales sur les ressources environnementales pour parvenir à une croissance économique durable.
- Toute politique de croissance économique doit tenir compte de son impact sur l'environnement, et toute stratégie liée à la conservation doit tenir compte de son impact sur la croissance

En effet, des travaux futurs pourraient élargir ce document en ajoutant d'autres variables moteurs de la croissance économique dans la fonction d'émissions de CO₂.

5. Liste Bibliographique

- Abbes.Y & Benmensour.L. (2022, Décembre 31). The use of solar energy in public lighting in Algeria to achieve environmental sustainability (A Case Study in Bordj Bou Arreridj). *Economic Sciences, Management and Commercial Sciences Review* , 15 (2), pp. 34-35.
- Akpan.G.E, Akpan.U.F.(2012).Electricity consumption, carbon emissions and economic growth in Nigeria. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 4, pp. 292-306.
- Alshehry.AS, Belloumi.M. (2015). Energy consumption, carbon dioxide emissions and economic growth: The case of Saudi Arabia. *Sust. Energ. REV* , 41, pp. 237-247.
- Ang.JB. (2007).CO2 emission, energy consumption and output in France. *Energy Policy*, 30 (10), pp. 4772-4778.
- Ang.JB. (2008). Economic development, pollutant emissions and energy consumption in Malaysia. *Journal of Policy Modeling* (2), pp. 271-278.
- Chang C.C. (2010). A multivariate causality test of Carbone dioxide emissions, energy consumption and economic growth in China. *Appl. Energy*, 11 (87), pp. 3522-3527.
- Chemingui.M. (2003). What macroeconomics factors explain Algeria's poor economic growth performance? Kuwait Institute for Scientific Research.
- Dinda, S. (2004). Environmental Kuznets curve hypothesis: a survey. *Ecological economics*, 49 (4), pp. 431-455.
- ESSO Loesse. Yaya. (2016). Energy consumption, economic growth, and Carbone emissions: Cointegration and causality evidence from selected African countries. *Energy*, pp. 492-497.
- Farhani.S, Ozturk.I. (2015). The causal relationship between CO₂ emissions, real GDP, energy consumption, financial development, trade openness and urbanization in Tunisia. *Sci.Pollut.Res* , 22 (20), pp. 15663-15676.
- Fei.Li. (2011). Energy consumption economic growth relationship and Carbon dioxide emissions in China. *Energy Policy*, 39, pp. 568-574.
- Grossman,G.M., Krueger,A.B. (1991). Environmental Impacts of a North American Free trade agreement. Cambridge MA: National Bureau of Economic of Economic Research, NBER.
- Harris.R.,Sollis.R. (2003). Applied time series modeling and forecasting. Wiley.

- La Banque Mondiale. (2022). la Banque Mondiale. Données. Consulté le 10 5, 2022, sur <http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=World-Development-Indicators>.
- Li.S, Deng.H, Zhang.K. (2019, Octobre). The impact of economy on carbon emissions: An empirical study based on the synergistic effect of gender factors. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19 (16), p. 1.
- Magazzino.C. (2014). A panel VAR approach of the relationship among economic growth, CO2 emissions and energy use in the ASEAN-6 countries. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 2 (4), pp. 564-553.
- Ministère de l'Énergie et des Mines. (s.d.). Ministère de l'Énergie et des Mines. Consulté le 03 26, 2022, sur www.energy.gov.dz
- Narayan.P.K, Narayan.S. (2010). Carbon dioxide emissions and economic growth: panel data evidence from developing countries. *Energy Policy*, 38 (1), pp. 661-666.
- Omri.A. (2013). CO2emissions, energy consumption and economic growth nexus in MENA countries: evidence from simultaneous equation equations models. *Energy Econ* (40), pp. 657-664.
- Ozturk.I, Acaravci.A. (2012). The long run and causal analysis of energy, growth, openness and financial development on carbon emissions in Turkey. *Energy Econ*, 36 (2013), pp. 262-267.
- Pesaran.H. & al. (2001). Bounds testing approach to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics* (16(3)), pp. 289-326.
- Rafindadi.A.A, Ozturk I. (2017). Dynamic effects of financial development, Trade openness and economic growth on energy consumption: Evidence from South Africa. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 7 (3), pp. 74-85.
- Sahnoune.F& al. (2013). Climate change in Algeria: Vulnerability and strategy of migration and adaptation. *Energy Procedia* (36), pp. 1286-1294.
- Salahuddin.M, Grow.J, Ozturk.I. (2015). Is the long run relationship between economic growth, electricity consumption, carbon dioxide emissions and financial development in Gulf cooperation Council Countries robust? *Sust. Energ. Rev*, pp. 317-326.
- Shafik, N. Bandyopadhyay,S. (1992). Economic growth and environmental quality: time series and cross country evidence. Washington DC: The word Bank.
- Soytas. U, Sari.R, Ewing.BT. (2007). Energy consumption, income and carbon emissions in the United States. *Ecol. Econ*, 62 (3-4), pp. 482-489.
- Stern.DI, Common.M.S, Barbier.E.B. (1996). Economic growth and environmental degradation: The environmental Kuznets curve and sustainable development. *World Development*, 24 (7), pp. 1151-1160.