

Les effets des énergies renouvelables, de l'ouverture économique et de l'urbanisation sur les émissions de dioxyde de carbone dans les pays africains : Une évidence empirique

The effects of renewable energy, economic openness and urbanization on carbon dioxide emissions in African countries: Empirical evidence

Mohamed IDALFAHIM, (Doctorant)

Laboratoire d'Analyse Économique et Modélisation (LEAM)
Faculté des Sciences Juridiques Économiques et Sociales - Souissi
Université Mohamed V de Rabat, Maroc

Saad ELOUARDIRHI, (Professeur d'enseignement supérieur)

Laboratoire d'Analyse Économique et Modélisation (LEAM)
Faculté des Sciences Juridiques Économiques et Sociales - Souissi
Université Mohamed V de Rabat, Maroc

Adresse de correspondance :	Faculté des Sciences Juridiques Économiques et Sociales – Souissi Avenue Mohammed Ben Abdallah Ragraoui Al Irfane Université Mohamed V Maroc (Rabat) 6430 (+212) 5 37 67 17 19
Déclaration de divulgation :	Les auteurs n'ont pas connaissance de quelconque financement qui pourrait affecter l'objectivité de cette étude et ils sont responsables de tout plagiat dans cet article.
Conflit d'intérêts :	Les auteurs ne signalent aucun conflit d'intérêts.
Citer cet article	IDALFAHIM, M., & ELOUARDIRHI, S. (2024). Les effets des énergies renouvelables, de l'ouverture économique et de l'urbanisation sur les émissions de dioxyde de carbone dans les pays africains : Une évidence empirique. <i>International Journal of Accounting, Finance, Auditing, Management and Economics</i> , 5(7), 494-507. https://doi.org/10.5281/zenodo.12988169
Licence	Cet article est publié en open Access sous licence CC BY-NC-ND

Received: June 20, 2024

Accepted: July 22, 2024

International Journal of Accounting, Finance, Auditing, Management and Economics - IJAFAME

ISSN: 2658-8455

Volume 5, Issue 7 (2024)

Les effets des énergies renouvelables, de l'ouverture économique et de l'urbanisation sur les émissions de dioxyde de carbone dans les pays africains : Une évidence empirique

Résumé :

Le changement climatique, avec la nécessité de stabiliser les émissions de CO_2 mondiales qui en découlent, constitue l'une des problématiques les plus complexes de notre époque et une préoccupation majeure pour les décideurs politiques. Les déterminants des émissions de carbone suscitent depuis longtemps une large attention chez les chercheurs. La recherche quantitative sur les déterminants revêt une importance considérable pour la formulation d'une politique de réduction des émissions de CO_2 . Cet article vise à évaluer l'impact des énergies renouvelables, de l'ouverture économique et de l'urbanisation sur les émissions de CO_2 pour un panel de données provenant de 29 pays africains. La période de l'étude s'étend de 2007 à 2021. À cet égard, en utilisant le Logiciel R, l'estimation du modèle vecteur autorégressif en panel (VAR-P) permet de dégager la relation à court terme qui lie nos variables. Les résultats obtenus, tirés de l'analyse en fonction des réponses impulsionnelles démontrent globalement que les énergies renouvelables et l'ouverture économique réduisent les émissions de CO_2 . En revanche, l'urbanisation participe à leur augmentation. Ces résultats contribuent à enrichir la littérature existante, et représentent des données intéressantes pour la prise de la décision des politiques publiques des pays africains.

Mots clés : Les émissions de CO_2 ; les énergies renouvelables ; l'ouverture économique ; l'urbanisation ; Afrique ; VAR-P.

Classification JEL : C33 ; J11 ; F15 ; F64 ; Q40 ; Q54.

Type de l'article : Recherche appliquée.

Abstract:

Climate change is one of the most complex issues of our time, and dealing with the need to stabilize global CO_2 emissions is a major concern for policymakers. The determinants of carbon emissions have long attracted significant attention from researchers. Quantitative research on the determinants is critically important for formulating policies to reduce CO_2 emissions. This article aims to assess the impact of renewable energy, economic openness and urbanization on CO_2 emissions for a panel of data from 29 African countries. The study period is from 2007 to 2021. In this regard, by using the R software, we can employ panel autoregressive vector model (VAR-P) estimation to uncover the short-term relationship between our variables. The results of the impulse response analysis indicate that CO_2 emissions are reduced by renewable energies and economic openness. On the other hand, urbanization contributes to their increase. These results contribute to the existing literature, and represent interesting data for public policy decision-making in African countries.

Keywords : CO_2 emissions ; renewable energies ; economic openness ; urbanization ; Africa ; P-VAR.

JEL Classification : C33 ; J11 ; F15 ; F64 ; Q40 ; Q54.

Paper type : Empirical research.

1. Introduction :

La période actuelle se caractérise par un changement important dans l'environnement mondial. Cela se traduit par une augmentation continue de la température moyenne annuelle de la planète, qui a débuté avec la révolution industrielle au début du XXe siècle. Cette augmentation résulte essentiellement de l'activité humaine. Au cours des dernières années, la fréquence et la gravité des événements météorologiques extrêmes s'accroissent, soulignant l'acuité des débats sur le réchauffement de la terre. Le changement de température s'explique notamment par l'accroissement de l'activité industrielle et économique, qui constitue une part importante des principales émissions mondiales de gaz à effet de serre (dont le dioxyde de carbone).

La hausse de la population dans les zones métropolitaines se traduit par une accélération des émissions de gaz à effet de serre. Les zones rurales abritent près de la moitié de la population mondiale. Toutefois, la forte croissance récente de la population urbaine laisse présager une élévation significative de la demande énergétique, avec potentiellement des conséquences environnementales. La part de la population urbaine sur les continents asiatique et africain devrait augmenter de trois fois entre 2000 et 2030, avec une cooccurrence de l'urbanisation. La population urbaine mondiale, évaluée à 1,45 milliard en 1969, devrait atteindre les 5 milliards d'ici 2040. La majorité de cette population se concentrera principalement dans les pays asiatiques et africains. Les activités économiques dans les zones urbaines sont susceptibles d'être alimentées par des combustibles fossiles polluants.

L'urbanisation a été anticipée en réponse à la mondialisation économique des dernières décennies. De nombreux pays émergents réorganisent leur économie, ce qui entraîne une augmentation considérable des zones urbaines. Au fil du temps, l'urbanisation depuis les zones rurales vers les zones urbaines se trouve influencée par les nouveaux logements, la taille des familles, les évolutions de l'industrie, la répartition par taille des villes et les infrastructures gouvernementales.

La mondialisation s'est accélérée ces dernières décennies, avec une ouverture commerciale de plus en plus importante, notamment sur les marchés émergents d'Asie et d'Afrique. Le commerce international global enregistre ainsi une croissance de 75 % entre 2000 et 2020. Selon la Banque mondiale, le commerce international contribue également au produit intérieur brut (PIB) avec une évolution de 25 % en 1970 à 52 % en 2020 (Banque mondiale, 2023b). Si l'ouverture commerciale favorise le développement économique, elle se révèle également liée à une hausse de la pollution environnementale. Par exemple, les émissions mondiales de dioxyde de carbone témoignent d'une hausse de 67 % par rapport à 1990 en 2019, selon les données de la Banque mondiale (2023a).

Or, la production et la consommation d'énergie s'avèrent indispensables pour atteindre et maintenir une croissance économique durable. Dans le même temps, elles génèrent des inquiétudes environnementales à grande échelle. En effet, ces sources d'énergie non renouvelables comme les combustibles fossiles tels que le charbon, le gaz et le pétrole conduisent à une élévation des émissions globales de CO_2 tout en entraînant une augmentation progressive des coûts d'énergie. De nombreuses régions du monde se trouvent confrontées à des situations où le manque d'énergie a non seulement engendré des problèmes économiques, mais semble également avoir contribué à une aggravation de la pauvreté et aux problèmes de changement climatique en raison de l'intensification des émissions de CO_2 .

Les défis énergétiques à l'échelle mondiale nécessitent une gestion et une utilisation adéquates des ressources énergétiques renouvelables. L'énergie renouvelable renvoie généralement à l'énergie solaire, éolienne, géothermique, marémotrice et houlomotrice. Contrairement aux énergies conventionnelles, les énergies renouvelables sont propres, sûres et inépuisables.

Dès lors, au regard de tout ce qui précède, l'objectif de ce travail vise à explorer et à évaluer empiriquement la relation entre la consommation des énergies renouvelables, l'ouverture

économique, l'urbanisation et les émissions de CO_2 dans les pays africains pour la période 2007-2021.

Ce travail s'organise comme suit : la section 2 présente les mécanismes théoriques et les hypothèses sur la manière dont les variables retenues affectent les émissions de carbone. La section 3 examine la littérature empirique en mettant l'accent sur les techniques utilisées pour l'analyse du lien entre les émissions de CO_2 , la consommation d'énergie renouvelable, l'ouverture économique et l'urbanisation dans les économies émergentes et en développement. La section 4 expose la méthodologie et les données. Les résultats empiriques figurent dans la section 5, et la conclusion clôt l'article en évoquant les implications politiques susceptibles de découler des résultats des estimations.

2. Cadre théorique et hypothèses de recherche :

2.1. Les énergies renouvelables et les émissions de CO_2 :

Le changement climatique s'analyse en un enjeu significatif du monde moderne. La consommation d'énergie, au cours des décennies précédentes, représente l'un des facteurs importants contribuant au changement climatique. Compte tenu du problème du réchauffement climatique, de la rareté des sources d'énergie renouvelable et de la lutte pour une économie verte, la relation complexe entre la consommation d'énergie renouvelable et la dégradation de l'environnement constitue une préoccupation croissante dans la littérature. Plusieurs études mobilisent l'hypothèse de la courbe environnementale de Kuznets (EKC) pour étudier la relation entre la consommation d'énergie renouvelable et les émissions de carbone dans un modèle de croissance. Théoriquement, l'hypothèse EKC induit une relation non linéaire entre la consommation d'énergie renouvelable et les émissions de carbone, ce qui confirme que la consommation d'énergie renouvelable possède une fonction non monotone avec les émissions de carbone (Ofori-Sasu et al., 2023). La consommation d'énergie renvoie à un autre facteur déterminant de la qualité de l'environnement. La consommation d'énergie détériore l'environnement, car les sources d'énergie conventionnelles émettent des gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Toutefois, le recours à une part importante d'énergies renouvelables et nucléaires se traduit par une amélioration de la qualité de l'environnement (Majeed & Luni, 2019). Ceci conduit à formuler la première hypothèse ainsi :

H 1 : Les énergies renouvelables réduiraient les émissions de CO_2

2.2. L'ouverture économique et les émissions de CO_2 :

La mondialisation joue un rôle important dans l'ouverture commerciale des économies émergentes. Celle-ci indique le degré d'ouverture d'une économie aux échanges commerciaux avec l'ensemble des économies mondiales. Elle favorise la hausse des exportations des pays et se traduit pour ces derniers par le développement de leur production nationale, en augmentant la taille des industries. Le corolaire de cette croissance consiste dans l'amplification de la pollution.

La relation entre pollution et ouverture commerciale n'emporte pas de consensus. D'un point de vue théorique, l'ouverture commerciale possède trois implications profondes en termes de pollution, à savoir : l'effet d'échelle, l'effet de composition et enfin celui technologique. L'effet d'échelle signifie qu'une augmentation des échanges commerciaux entraîne une consommation accrue d'énergie, ce qui entraîne une détérioration de l'environnement. L'effet de composition repose sur l'hypothèse selon laquelle les avantages comparatifs inhérents à un pays déterminent la composition de sa production en fonction de la prédominance des industries à forte intensité de main-d'œuvre ou de capital. L'hypothèse de la dotation en facteurs indique que la seconde est de nature plus polluante que la première. Troisièmement, l'effet technologique montre que l'intensification des échanges commerciaux facilite davantage le transfert de technologie entre

partenaires commerciaux, ce qui se traduit par l'adoption de pratiques plus propres et plus efficaces (Karedla et al., 2021 ; Sharma et al., 2021). La deuxième et la troisième hypothèse peuvent se formuler ainsi :

H 2 : L'ouverture économique générerait les émissions de CO₂

H 3 : L'ouverture économique réduirait les émissions de CO₂ grâce à l'effet technologique.

2.3. L'urbanisation et les émissions de CO₂ :

Les théories suivantes posent les bases de l'urbanisation et de la qualité de l'environnement. Tout d'abord, selon la théorie de la transition environnementale urbaine, les villes font face à différents défis environnementaux pendant les périodes d'industrialisation et de développement. Ensuite, selon la théorie de l'urbanisation écologique, l'urbanisation contribue à la durabilité lorsqu'elle recourt aux méthodes suivantes : i) elle favorise l'augmentation globale des revenus, ce qui incite les personnes à utiliser des services respectueux de l'environnement, ii) elle accroît la sensibilisation à l'environnement en offrant des services interactifs et sociaux, et iii) elle encourage les activités de recherche et de développement (R&D) et les innovations respectueuses de l'environnement, préservant ainsi la qualité de l'environnement.

Enfin, la théorie des villes compactes soutient que l'augmentation de l'urbanisation contribue à améliorer la qualité de l'environnement en accroissant la productivité, l'efficacité et les économies d'échelle dans les domaines publics (Majeed et Mazhar, 2019). La quatrième hypothèse est donc formulée ainsi :

H 4 : L'urbanisation diminuerait les émissions de CO₂

De plus, la littérature théorique propose différents moyens par lesquels l'urbanisation impacte l'environnement. Premièrement, la croissance de l'urbanisation entraîne une augmentation de la demande d'infrastructures essentielles, ce qui conduit à une aggravation de la déforestation et de la détérioration de l'environnement. Deuxièmement, l'urbanisation engendre une augmentation des déplacements, de la consommation de carburant et d'autres activités humaines, et donc une pollution de l'air. Troisièmement, elle favorise l'intensification de la production industrielle (effet d'échelle), avec une augmentation des polluants dans l'air. Elle met en péril l'équilibre des écosystèmes naturels, car les villes instaurent de nouveaux habitats pour certaines espèces (pigeons, moineaux, mouches) et en détruisent d'autres espèces. Cinquièmement, elle engendre d'autres problèmes environnementaux tels que la congestion routière, les décharges industrielles, la propagation de la pollution, les déchets municipaux et l'émergence de bidonvilles (Majeed et Tauqir ,2020). La cinquième hypothèse est donc formulée ainsi :

H 5 : L'urbanisation favoriserait les émissions de CO₂

3. Revue de littérature empirique :

Plusieurs études examinent les effets des variables telles que le PIB, la consommation d'énergie, le tourisme et l'urbanisation sur les émissions de CO₂. Concernant les pays émergents, **Hanif (2018)** étudie le rôle de la croissance économique, l'expansion urbaine, la consommation de combustibles fossiles, de combustibles solides et des énergies renouvelables sur les émissions de CO₂ d'un groupe de 34 économies émergentes au cours de la période de 1995 à 2015. L'étude s'appuie sur la méthode des moments généralisés. Elle révèle que la consommation de combustibles fossiles et solides et l'expansion des zones urbaines contribuent de manière significative aux émissions de CO₂ et l'utilisation d'énergies renouvelables améliore la qualité de l'air en contrôlant les émissions de CO₂. De même, **Aydogan et Gülin (2020)** étudient les liens dynamiques entre les émissions de CO₂ par habitant, la croissance

économique, la valeur ajoutée agricole, la consommation d'énergie renouvelable et non renouvelable pour un panel des pays du E7 couvrant la période 1990-2014. Ils en ressortent que les pays du E7 devraient continuer à augmenter la part des énergies renouvelables pour améliorer le secteur agricole, réduisant ainsi la consommation d'énergie fossile pour l'amélioration de l'environnement.

Par ailleurs, **Adedoyin et Bekun (2020)** évaluent la relation causale entre les arrivées de touristes internationaux, le PIB réel par habitant, les émissions de CO_2 , la consommation d'énergie renouvelable et l'urbanisation. L'analyse est menée pour sept pays au cours de la période 1995 - 2014 en utilisant l'approche VAR par panel. Les auteurs concluent que le tourisme et les énergies renouvelables réduisent les émissions de CO_2 . En revanche, le PIB réel par habitant participe à leur augmentation. Les auteurs soulignent en outre, que les émissions de CO_2 ne réagissent que marginalement aux chocs d'urbanisation au fil des périodes. En exploitant la même méthode, **Armeanu et al. (2021)** analysent le lien entre les énergies renouvelables, les émissions de CO_2 , la croissance économique et l'urbanisation au niveau mondial pour un panel de données provenant de 106 pays. La période de l'étude s'étend de 1990 à 2014. Les résultats indiquent pour l'ensemble du panel que l'intensité énergétique contribue de manière notable à la réduction des émissions de CO_2 .

Binlin et al. (2021) évaluent quant à eux, les effets de la consommation d'énergie renouvelable, le PIB, l'ouverture commerciale et l'urbanisation sur les émissions de CO_2 dans les pays du G7 de 1979 à 2019. Les auteurs mobilisent le modèle de décalage distribué autorégressif du panel (ARDL) pour illustrer la dynamique à long terme et à court terme entre les variables après avoir testé l'hétérogénéité, la dépendance transversale et la cointégration à long terme. Les résultats empiriques vérifient l'existence de la courbe environnementale de Kuznets (EKC) à long terme. En revanche, une augmentation de 1 % de la consommation d'énergie propre a entraîné une diminution des émissions de CO_2 de 0,099 % à long terme et de 0,33 % à court terme. En outre, les résultats démontrent que l'ouverture commerciale augmente les émissions de CO_2 et l'urbanisation accrue diminue les émissions de CO_2 .

Une autre étude de **Gieraltowska et al. (2022)** étudie l'effet des énergies renouvelables et de l'urbanisation sur les émissions de CO_2 sur un panel de 163 pays pour la période de 2000 à 2016. Les résultats empiriques révèlent que l'urbanisation entretient une relation en forme de U inversé avec les émissions de CO_2 , tandis que la consommation d'énergies renouvelables atténue les émissions de CO_2 .

Dans le cadre d'études connexes menées dans les pays africains, **Esily et al. (2023)** s'intéressent aux relations entre les émissions de CO_2 , les ressources énergétiques renouvelables et non renouvelables, la croissance économique, l'urbanisation et la pauvreté énergétique dans la région de l'Afrique du Nord, à savoir : la Tunisie, le Soudan, le Maroc, la Libye et l'Égypte de 1993 à 2021 avec l'approche PMG-ARDL. Le constat majeur est que la lutte contre la pauvreté énergétique (accès à l'électricité), la croissance économique et l'utilisation de sources d'énergie renouvelables et non renouvelables aggravent la dégradation de l'environnement, tandis que l'urbanisation réduit les émissions de CO_2 .

En 2023, **Lui et al.**, mettent en évidence la relation entre la consommation d'énergie, du développement économique et de l'urbanisation sur les émissions de CO_2 en s'appuyant sur des données de panel du pays chinois au cours de la période 1995 – 2020 à l'aide de l'approche PMG-ARDL. Ils en déduisent que l'urbanisation n'a pas d'impact appréciable sur la qualité de l'environnement, ni dans l'immédiat ni à long terme. En revanche, ils prouvent que la consommation d'énergie augmente considérablement les dommages environnementaux, immédiatement et au fil du temps. De même, **Wang et al., (2023)** examinent l'impact de l'ouverture commerciale (mesurée par le volume des échanges, les importations et les exportations) et la diversification commerciale (mesurée par la diversification des importations et des exportations) sur les émissions de CO_2 sur la base des données provenant des pays de

l'OCDE et du G20 entre la période 1997 et 2019. Les résultats démontrent que l'ouverture commerciale se traduit par une élévation des émissions de CO_2 , tandis que la diversification commerciale engendre une réduction des émissions de CO_2 .

4. Méthodologie de recherche :

Cette étude s'appuie sur des données annuelles couvrant la période 2007 à 2021 pour 29 pays africains pour évaluer l'impact de la consommation d'énergie renouvelable, l'ouverture économique, l'urbanisation sur les émissions de CO_2 décrit dans le tableau 1.

Tableau 1 : Description des variables :

Variable (Abréviation)	Définition	Unité de mesure	Source
Les émissions de de dioxyde de carbone (CO_2)	Les émissions de dioxyde de carbone sont celles qui proviennent de la combustion de combustibles fossiles et de la fabrication de ciment. Elles comprennent le dioxyde de carbone produit lors de la consommation de combustibles solides, liquides et gazeux, ainsi que le brûlage de gaz à la torche.	Kilotonne	Banque Mondiale
La consommation d'énergie renouvelable (CER)	L'énergie renouvelable provient de sources naturelles qui se renouvellent à un rythme plus élevé qu'elles ne sont consommées. La lumière du soleil et le vent, par exemple, constituent des sources qui se renouvellent constamment.	Pourcentage	Banque Mondiale
Le taux d'ouverture économique (TOV)	Il mesure le degré d'intégration d'un pays dans l'économie mondiale. La manière la plus courante de le calculer est de réaliser la moyenne des exportations et des importations divisées par le PIB.	Pourcentage	Calcul des auteurs
La population urbaine (PU)	Il s'agit des personnes résidant dans le milieu urbain.	Unité	Banque Mondiale

Source : Auteurs

Pour examiner la relation dynamique entre l'énergie renouvelable, l'urbanisation, l'ouverture économique et les émissions de CO_2 , nous utilisons le modèle Autorégressif Vectoriel de Panel (VAR-P). Ce modèle permet de traiter nos variables d'intérêt comme endogènes et d'examiner la réponse des émissions de CO_2 à un choc positif sur les autres variables. Notre modèle VAR-P peut s'écrire comme suit :

$$Y_{it} = \mu_i + A(L)Y_{it} + \alpha_i + \delta_t + \varepsilon_{it}$$

Où ; Y_{it} représente le vecteur des séries stationnaires (les émissions de CO_2 , l'énergie renouvelable, l'ouverture économique et l'urbanisation) ; μ_i renvoie à la matrice des effets fixes spécifiques au pays. $A(L)$ est une matrice d'opérateur de décalage ; α_i et δ_t correspondent respectivement aux effets individuels et temporels de chaque pays. ε_{it} indique le vecteur des perturbations aléatoires représentant les erreurs de spécification et les effets des variables

omises ; et les indices $i = 1, 2, \dots, N$ et $t = 1, 2, \dots, T$ s'assimilent respectivement au pays et à la période du temps.

La modélisation VAR-P présente des avantages essentiels pour étudier les changements dans les variables macroéconomiques. De plus, ce modèle permet de représenter l'hétérogénéité singulière non observée pour l'ensemble des données en introduisant des impacts fixes qui améliorent la solidité et la fiabilité de l'estimation. Chaque variable dans le modèle VAR-P dépend de ses valeurs historiques ainsi que de différents facteurs, démontrant une véritable synchronisation entre les variables étudiées et leur traitement. Le VAR-P fournit également un modèle pour examiner et évaluer les chocs, qui constituent incontestablement les sources les plus importantes de la dynamique macroéconomique.

Le recours à l'estimateur de la méthode des moments généralisés (GMM) développé par Love et Zicchino (2006) a pour but de réaliser les fonctions de réponse impulsionnelle.

Le recours à la forme logarithmique des variables permet d'assurer un comportement plus stable. L'expression de la forme d'équation du modèle VAR-P vise à capturer les variables d'intérêt de notre étude comme indiqué ci-dessous :

$$\begin{cases} \Delta LCO_{2it} = \mu_{1i} + \sum_{p=1}^{\rho} a_1 \Delta LCO_{2it-p} + \sum_{p=1}^{\rho} b_1 \Delta LCER_{it-p} + \sum_{p=1}^{\rho} c_1 \Delta LTOV_{it-p} + \sum_{p=1}^{\rho} d_1 \Delta LPU_{it-p} + \alpha_{1i} + \delta_{1t} + \varepsilon_{1it} \\ \Delta LCER_{it} = \mu_{2i} + \sum_{p=1}^{\rho} a_2 \Delta LCO_{2it-p} + \sum_{p=1}^{\rho} b_2 \Delta LCER_{it-p} + \sum_{p=1}^{\rho} c_2 \Delta LTOV_{it-p} + \sum_{p=1}^{\rho} d_2 \Delta LPU_{it-p} + \alpha_{2i} + \delta_{2t} + \varepsilon_{2it} \\ \Delta LTOV_{it} = \mu_{3i} + \sum_{p=1}^{\rho} a_3 \Delta LCO_{2it-p} + \sum_{p=1}^{\rho} b_3 \Delta LCER_{it-p} + \sum_{p=1}^{\rho} c_3 \Delta LTOV_{it-p} + \sum_{p=1}^{\rho} d_3 \Delta LPU_{it-p} + \alpha_{3i} + \delta_{3t} + \varepsilon_{3it} \\ \Delta LPU_{it} = \mu_{4i} + \sum_{p=1}^{\rho} a_4 \Delta LCO_{2it-p} + \sum_{p=1}^{\rho} b_4 \Delta LCER_{it-p} + \sum_{p=1}^{\rho} c_4 \Delta LTOV_{it-p} + \sum_{p=1}^{\rho} d_4 \Delta LPU_{it-p} + \alpha_{4i} + \delta_{4t} + \varepsilon_{4it} \end{cases}$$

Dans l'estimation, nous adoptons le critère d'information pour décider de la longueur de décalage autorégressive idéale, p .

5. Résultats et discussions :

Une analyse statistique descriptive pour nos données a été réalisée. D'après le tableau 2, l'émission de dioxyde de carbone, pour notre échantillon, varie entre un minimum de 409 Kt en Gambie (en 2007) et un maximum de 448298,1 Kt en Afrique du sud (en 2014). De même, la Libye enregistre une consommation minimale d'énergie renouvelable (en 2014) à hauteur de 2,31%, tandis que la consommation maximale de l'énergie renouvelable s'élève à 97,17% en République du Congo (en 2007). Le taux d'ouverture économique révèle également des variations importantes. Cette variable s'échelonne entre 6,087 % en Nigeria (en 2017) et 47,622 % au Mozambique (en 2013). La population urbaine varie entre un minimum de 776 396 en Namibie (en 2007) et un maximum de 108 242 753 en Nigeria (en 2020).

L'étude de la corrélation (tableau 3) met en exergue que :

- La consommation d'énergie renouvelable est corrélée négativement avec les émissions de CO₂. La corrélation est d'une intensité moyenne (-0,5076) ;
- Les émissions de CO₂ et l'ouverture économique évolue en sens inverse avec une acuité de la relation de valeur -0,1091, qui renvoie à une intensité faible ;
- La population urbaine est positivement corrélée avec les émissions de CO₂ (le coefficient de corrélation équivaut à 0,5175), donc la population urbaine varie dans le même sens que les émissions de CO₂.

Tableau 2 : Statistiques descriptives :

Variable	Émissions de dioxyde de carbone	Consommation d'énergie renouvelable	Taux d'ouverture économique	Population urbaine
Min	409	2,31	6,087	776396
Moyenne	37008	57,936	21,361	14037872
Médian	7097,35	70,425	19,371	8636815
Max	448298,1	97,17	47,622	108242753
Écart type	86255,14	28,975	8,326	17029016

Source : Auteurs (à l'aide du Logiciel R)

Tableau 3 : Corrélation entre les émissions du CO₂ et les autres variables :

	Émissions de dioxyde de carbone
Consommation d'énergie renouvelable	-0,5076
Taux d'ouverture économique	-0,1091
Population urbaine	0,5175

Source : Auteurs (à l'aide du Logiciel R)

Avant d'estimer le modèle VAR-P et les résultats de l'analyse de la fonction de réponse impulsionnelle, il convient d'examiner les propriétés de la stationnarité des données en utilisant le test Levin, Lin et Chu. Il s'agit en effet de tester l'hypothèse nulle de la présence de racine unitaire.

Tableau 4: Test de la racine unitaire :

Séries	Ordre d'intégration retenu par le test levinlin	Variable retenue
L_CO₂	I (1)	D_CO ₂
L_CER	I (0)	CER
L_TOV	I (0)	TOV
L_PU	I (1)	D_PU

Source : Auteurs (à l'aide du Logiciel R)

Tableau 5 : Test de causalité de Dumitrescu Hurlin :

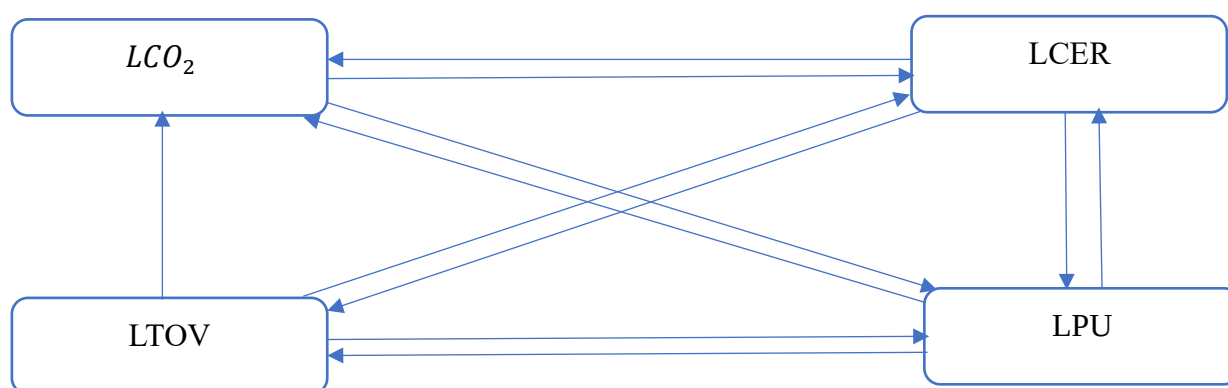
	Z-bar-Stat.	P-Value	Décision
Hypothèse nulle : pas de causalité			
Variable dépendante : LCO₂			
LCER	21,965	0,0000	Rejeter
LTOV	1,1548	0,0000	Rejeter
LPU	5,342	0,0000	Rejeter
Variable dépendante : LCER			
LCO ₂	3,5196	0,0004	Rejeter
LTOV	2,4907	0,0127	Rejeter
LPU	3,5076	0,0004	Rejeter
Variable dépendante : LTOV			
LCO ₂	6,3401	0,2482	Accepter
LCER	3,0189	0,0025	Rejeter
LPU	5,7031	0,0000	Rejeter
Variable dépendante : LPU			
LCO ₂	11,385	0,0000	Rejeter
LCER	13,415	0,0000	Rejeter
LTOV	10,274	0,0000	Rejeter

Source : Auteurs (à l'aide du Logiciel R)

Le test de racine unitaire sur les variables de l'étude révèle que les émissions de CO_2 et la population urbaine sont stationnaires en première différence (tableau 4). En revanche, la consommation de l'énergie renouvelable et le taux d'ouverture économique s'avèrent stationnaires au niveau.

Ainsi, comme le montre le tableau 5, une causalité unidirectionnelle est trouvée, qui va de l'ouverture économique à l'émission de CO_2 . En revanche, une causalité bidirectionnelle existe entre les émissions de CO_2 , l'urbanisation et l'énergie renouvelable. Il existe également une causalité bidirectionnelle entre la consommation d'énergie renouvelable, l'ouverture économique et l'urbanisation. Implicitement, ces trois s'influencent mutuellement dans le modèle.

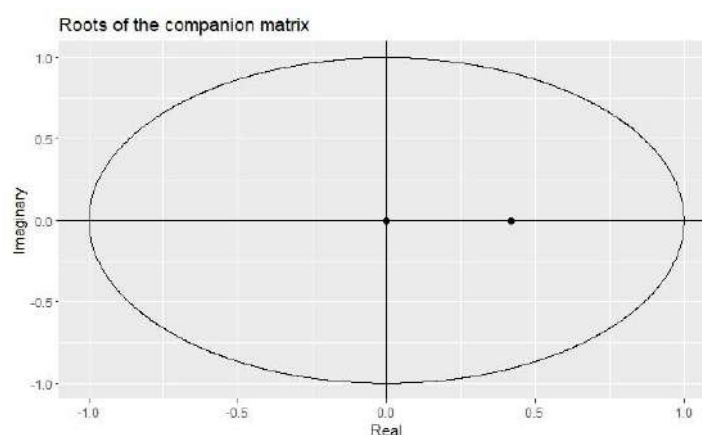
Figure 1: Résultats du test de causalité de Dumitrescu et Hurlin (2012) :



Source : Auteur :

Pour examiner les fonctions de réponse impulsionnelle, nous devons contrôler la stabilité du VAR-P estimé en vérifiant si toutes les valeurs propres se situent à l'intérieur du cercle. La figure 2 qui en résulte confirme la stabilité de l'estimation et la fiabilité des réponses aux impulsions.

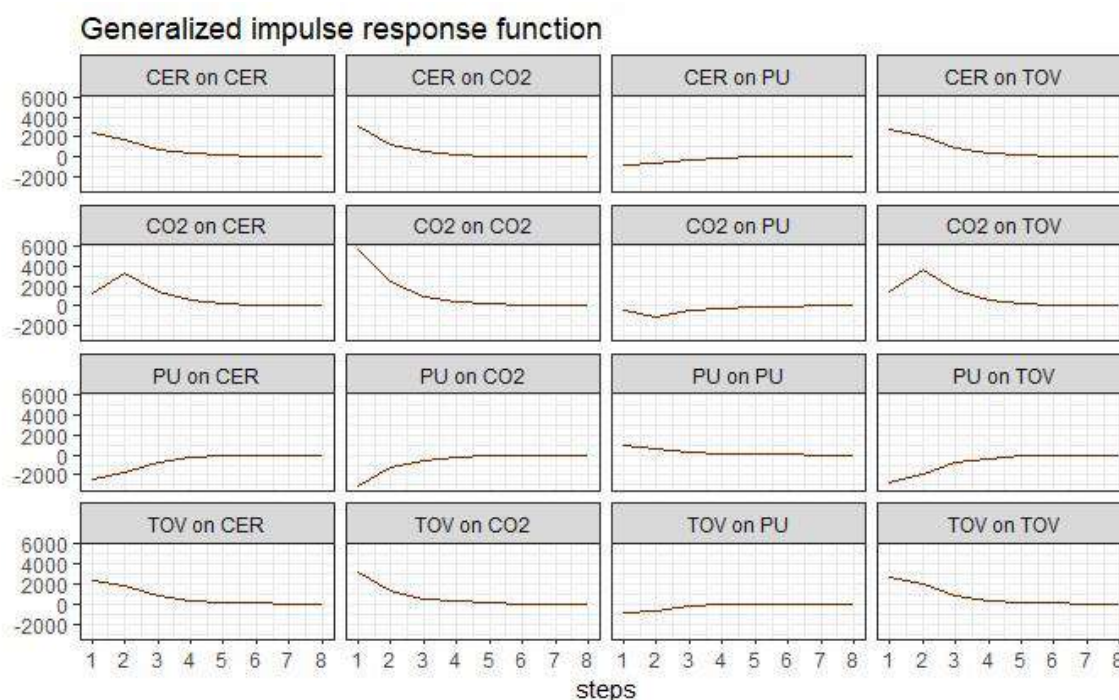
Figure 2: Stabilité du modèle PVAR :



Source : Auteurs (à l'aide du Logiciel R)

La fonction de la réponse impulsionnelle généralisée d'une variable donnée au choc d'une autre variable est illustrée à la figure 3. Il révèle que l'émission de CO_2 répond négativement à un choc sur la consommation de l'énergie renouvelable pendant les deux premières années, mais revient à l'équilibre à la troisième année. La réponse de l'émission de CO_2 à un choc sur l'ouverture économique est similaire à celle de la consommation de l'énergie renouvelable. Il existe une réponse positive depuis la première année jusqu'à la quatrième année. Cependant, à partir de la cinquième année, l'émission de CO_2 revient à l'équilibre.

Figure 3 : Fonction de réponse impulsionnelle généralisés :



Source : Auteurs (à l'aide du Logiciel R)

Les résultats de cette étude s'avèrent cohérents avec les études précédentes contenues dans la revue de la littérature empirique. Les résultats démontrent que les énergies renouvelables réduisent les émissions de CO_2 dans les pays cibles. Ce résultat concorde avec celui de **Hanif (2018)** pour les économies émergentes, **Balsalobre-Lorente et al. (2020)** pour les États insulaires touristiques et **Armeanu et al. (2021)** pour un ensemble de 106 pays.

Pour l'urbanisation, la relation positive entre croissance économique et l'urbanisation corrobore les conclusions de **Hanif (2018)** et d'**Armeanu et al. (2021)**. Cependant, cette conclusion s'oppose à celle de **Gieraltowska et al. (2022)** et de **Lui et al. (2023)**.

Les conclusions selon lesquelles l'ouverture économique impacte négativement sur les émissions de CO_2 oppose les conclusions de **Binlin et al. (2021)** et **Wang et al. (2023)**.

6. Conclusion :

Cette étude analyse les effets des énergies renouvelables, de l'ouverture économique et de l'urbanisation sur les émissions de CO_2 pour un panel de 29 pays africains au cours de la période 2007-2021. L'analyse empirique est réalisée à l'aide de techniques économétriques de panel VAR. Des tests de racine unitaire ont été adoptés avec les tests de causalité de Granger. Les principaux résultats suggèrent que l'urbanisation augmentent les émissions de CO_2 , alors que l'ouverture économique et les énergies renouvelables réduisent les émissions de CO_2 .

Les conclusions mentionnées ci-dessus suggèrent plusieurs implications économiques et politiques.

Premièrement, des investissements intensifs dans les projets d'énergies renouvelables existants peuvent conduire à une réduction significative des émissions de CO_2 . Ainsi qu'à un soulagement environnemental. De même, l'optimisation et la création d'interconnexions grâce à des projets d'énergies renouvelables (tels que le pool énergétique de l'Afrique de l'Est) constituent des solutions potentielles visant à répondre à la demande énergétique accrue de la région et à entraîner une réduction des émissions de CO_2 .

Deuxièmement, promouvoir l'urbanisation ne signifie pas simplement augmenter la population urbaine. Durant le processus d'urbanisation, les dirigeants municipaux se doivent de maintenir la population à des niveaux optimaux et les villes à des tailles raisonnables, afin de garantir une supériorité des effets écologiques au regard des effets polluants.

Troisièmement, le progrès technologique joue un rôle médiateur dans la réduction des émissions de carbone dans l'effet de l'ouverture commerciale sur les émissions de carbone. Les résultats indiquent que la promotion de l'amélioration du niveau technique constitue une étape impérative pour parvenir à un développement vert et durable. Plus précisément, l'accent doit être porté sur l'encouragement du développement de technologies d'énergie propre, de technologies d'économie d'énergie et de technologies d'économie circulaire. Le gouvernement peut faciliter l'application et le développement de ces technologies grâce à des politiques ou mesures commerciales appropriées.

À l'instar de tout travail scientifique, cette étude présente certaines limites qui peuvent être résolues par des recherches futures. Premièrement, la taille de l'échantillon et la période de temps méritent d'être étendues afin de s'assurer du caractère généralisable des résultats. Deuxièmement, il serait judicieux d'inclure dans l'analyse d'autres variables pertinentes telles que l'énergie nucléaire comme autre source d'énergie propre, la déforestation, la rente des ressources naturelles, le développement financier, la liberté économique et ses indicateurs.

Références :

- (1). Ahmad, M., Jiang, P., Murshed, M., Shehzad, K., Akram, R., Cui, L., & Khan, Z. (2021). Modelling the dynamic linkages between eco-innovation, urbanization, economic growth and ecological footprints for G7 countries : does financial globalization matter?. *Sustainable Cities and Society*, 70, 102881.
- (2). Arellano, M., & Bond, S. (1991). Some tests of specification for panel data : Monte Carlo evidence and an application to employment equations. *The review of economic studies*, 58(2), 277-297.
- (3). Armeanu, D. S., Joldes, C. C., Gherghina, S. C., & Andrei, J. V. (2021). Understanding the multidimensional linkages among renewable energy, pollution, economic growth and urbanization in contemporary economies: Quantitative assessments across different income countries' groups. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 142, 110818.
- (4). Aydoğan, B., & Vardar, G. (2020). Evaluating the role of renewable energy, economic growth and agriculture on CO₂ emission in E7 countries. *International Journal of Sustainable Energy*, 39(4), 335-348.
- (5). Baltagi, B. H., & Baltagi, B. H. (2008). *Econometric analysis of panel data* (Vol. 4, pp. 135-145). Chichester : Wiley.
- (6). Banga, C., Deka, A., Kilic, H., Oztüren, A., & Ozdeser, H. (2022). The role of clean energy in the development of sustainable tourism: does renewable energy use help mitigate environmental pollution? A panel data analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(39), 59363-59373.
- (7). Banque mondiale. (2023a). Commerce (% du PIB). Récupéré de <https://data.worldbank.org/indicator/NE.TRD.GNFS.ZS>
- (8). Banque mondiale. (2023b). Émissions de CO₂ (kt). Récupéré de <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.KT>
- (9). Blundell, R., & Bond, S. (1998). Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models. *Journal of econometrics*, 87(1), 115-143.

- (10). Chien, F., Hsu, C. C., Ozturk, I., Sharif, A., & Sadiq, M. (2022). The role of renewable energy and urbanization towards greenhouse gas emission in top Asian countries: Evidence from advance panel estimations. *Renewable Energy*, 186, 207-216.
- (11). Croissant, Y., & Millo, G. (2019). *Panel data econometrics with R*. Wiley.
- (12). Croissant, Y., Millo, G., Tappe, K., Toomet, O., Kleiber, C., Zeileis, A., ... & Croissant, M. Y. (2015). Package 'plm'. *Choice*, 139(1), 227-240.
- (13). Dauda, L., Long, X., Mensah, C. N., Salman, M., Boamah, K. B., Ampon-Wireko, S., & Dogbe, C. S. K. (2021). Innovation, trade openness and CO2 emissions in selected countries in Africa. *Journal of Cleaner Production*, 281, 125143.
- (14). Esily, R. R., Yuanying, C., Ibrahim, D. M., Houssam, N., Makled, R. A., & Chen, Y. (2023). Environmental benefits of energy poverty alleviation, renewable resources, and urbanization in North Africa. *Utilities Policy*, 82, 101561.
- (15). Gierałtowska, U., Asyngier, R., Nakonieczny, J., & Salahodjaev, R. (2022). Renewable energy, urbanization, and CO2 emissions: a global test. *Energies*, 15(9), 3390.
- (16). Hanif, I. (2018). Impact of economic growth, nonrenewable and renewable energy consumption, and urbanization on carbon emissions in Sub-Saharan Africa. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(15), 15057-15067.
- (17). Holtz-Eakin, D., Newey, W., & Rosen, H. S. (1988). Estimating vector autoregressions with panel data. *Econometrica: Journal of the econometric society*, 1371-1395.
- (18). Hsiao, C. (2022). *Analysis of panel data* (No. 64). Cambridge university press.
- (19). Karedla, Y., Mishra, R., & Patel, N. (2021). The impact of economic growth, trade openness and manufacturing on CO2 emissions in India: an autoregressive distributive lag (ARDL) bounds test approach. *Journal of Economics, Finance and Administrative Science*, 26(52), 376-389.
- (20). Liobikienė, G., & Butkus, M. (2019). Scale, composition, and technique effects through which the economic growth, foreign direct investment, urbanization, and trade affect greenhouse gas emissions. *Renewable energy*, 132, 1310-1322.
- (21). Liu, H., Wong, W. K., Cong, P. T., Nassani, A. A., Haffar, M., & Abu-Rumman, A. (2023). Linkage among Urbanization, energy Consumption, economic growth and carbon Emissions. *Panel data analysis for China using ARDL model*. *Fuel*, 332, 126122.
- (22). Majeed, M. T., & Luni, T. (2019). Renewable energy, water, and environmental degradation : a global panel data approach. *Pakistan Journal of Commerce and Social Sciences (PJCSS)*, 13(3), 749-778.
- (23). Majeed, M. T., & Mazhar, M. (2019). Environmental degradation and output volatility : A global perspective. *Pakistan Journal of Commerce and Social Sciences (PJCSS)*, 13(1), 180-208.
- (24). Majeed, M. T., & Mazhar, M. (2019). Financial development and ecological footprint : a global panel data analysis. *Pakistan Journal of Commerce and Social Sciences (PJCSS)*, 13(2), 487-514.
- (25). Majeed, M. T., & Tauqir, A. (2020). Effects of urbanization, industrialization, economic growth, energy consumption, financial development on carbon emissions: an extended STIRPAT model for heterogeneous income groups. *Pakistan Journal of Commerce and Social Sciences (PJCSS)*, 14(3), 652-681.
- (26). Majeed, M. T., Samreen, I., Tauqir, A., & Mazhar, M. (2020). The asymmetric relationship between financial development and CO 2 emissions: the case of Pakistan. *SN Applied Sciences*, 2, 1-11.
- (27). Ofori-Sasu, D., Abor, J. Y., Agyekum Donkor, G. N., & Otchere, I. (2023). Renewable energy consumption and carbon emissions in developing countries : the role of capital markets. *International Journal of Sustainable Energy*, 42(1), 1407-1429.

- (28). Rehman, E., & Rehman, S. (2022). Modeling the nexus between carbon emissions, urbanization, population growth, energy consumption, and economic development in Asia: Evidence from grey relational analysis. *Energy Reports*, 8, 5430-5442.
- (29). Shahbaz, M., Sharma, R., Sinha, A., & Jiao, Z. (2021). Analyzing nonlinear impact of economic growth drivers on CO2 emissions: Designing an SDG framework for India. *Energy Policy*, 148, 111965.
- (30). Sigmund, M., & Ferstl, R. (2021). Panel vector autoregression in R with the package panelvar. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 80, 693-720.
- (31). Wang, Q., Zhang, F., & Li, R. (2024). Free trade and carbon emissions revisited: the asymmetric impacts of trade diversification and trade openness. *Sustainable Development*, 32(1), 876-901.