

Croissance économique, énergies et environnement : quels moteurs des émissions de CO₂ dans la région MENA ?

Economic Growth, Energy and Environment: What Drives CO₂ Emissions in the MENA Region

Issam ASSOUIH, (Doctorant)

*Laboratoire de Recherche en Management des Organisations, Droit des Affaires et Développement Durable (LARMODADD)
Faculté des Sciences Juridiques Economiques et Sociales – Souissi
Université Mohamed V de Rabat, Maroc*

Mohamed IDALFAHIM, (Doctorant)

*Laboratoire d'Analyse Economique et Modélisation (LEAM)
Faculté des Sciences Juridiques Economiques et Sociales – Souissi
Université Mohamed V de Rabat, Maroc*

Abdellah ECHAOUI, (Professeur d'enseignement supérieur)

*Laboratoire de Recherche en Management des Organisations, Droit des Affaires et Développement Durable (LARMODADD)
Faculté des Sciences Juridiques Economiques et Sociales – Souissi
Université Mohamed V de Rabat, Maroc*

Saad ELOUARDIRHI, (Professeur d'enseignement supérieur)

*Laboratoire d'Analyse Economique et Modélisation (LEAM)
Faculté des Sciences Juridiques Economiques et Sociales – Souissi
Université Mohamed V de Rabat, Maroc*

Adresse de correspondance :	Faculté des Sciences Juridiques Economiques et Sociales – Souissi Avenue Mohammed Ben Abdallah Ragragui Al Irfane, BP 6430 Rabat (+212) 5 37 67 17 19 fsjes-souissi@um5r.ac.ma
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	ASSOUIH, I., IDALFAHIM, M., ECHAOUI, A., & ELOUARDIRHI, S. (2025). Economic Growth, Energy and Environment: What Drives CO ₂ Emissions in the MENA Region. <i>International Journal of Accounting, Finance, Auditing, Management and Economics</i> , 6(5), 678–693.
Licence	Cet article est publié en open Access sous licence CC BY-NC-ND

Received: 12/04/2025

Accepted: 15/05/ 2025

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

ISSN: 2658-8455

Volume 6, Issue 05 (2025)

Croissance économique, énergies et environnement : quels moteurs des émissions de CO₂ dans la région MENA ?

Résumé :

La région MENA, riche en ressources énergétiques, mais fortement exposée aux vulnérabilités climatiques, se trouve aujourd'hui confrontée à un double défi : maintenir sa trajectoire de croissance économique tout en limitant son empreinte carbone. Dans ce contexte, la question des déterminants des émissions de CO₂ devient cruciale, notamment à la lumière des Objectifs de Développement Durable (ODD), en particulier ceux liés à l'énergie propre (ODD 7), à l'innovation (ODD 9) et à l'action climatique (ODD 13). Cet article propose une analyse empirique de l'impact de l'innovation technologique, des énergies renouvelables, du PIB et de la consommation d'énergies non renouvelables sur les émissions de CO₂ dans un panel de pays MENA sur la période 2000–2020. En mobilisant la méthode des moments généralisés (GMM), les résultats montrent que la croissance économique et la consommation d'énergies fossiles sont significativement liées à une hausse des émissions, tandis que les effets de l'innovation et des énergies renouvelables demeurent encore limités. Ces résultats soulignent l'urgence de réorienter les stratégies de développement vers une croissance verte, fondée sur la transition énergétique, l'investissement en technologies propres et la réforme des politiques environnementales.

Mots-clés : émissions de CO₂, innovation technologique, énergie renouvelable, MENA, croissance économique, GMM.

Classification JEL : Q55, Q43, O13, O47, C33.

Type de la recherche : Recherche empirique

Abstract :

The MENA region, while endowed with abundant energy resources, faces significant environmental and climatic vulnerabilities. As countries in the region strive to sustain economic growth, they must also confront the growing urgency of reducing carbon emissions. This dual challenge is central to the achievement of the Sustainable Development Goals (SDGs), particularly SDG 7 (clean energy), SDG 9 (innovation and infrastructure), and SDG 13 (climate action). Understanding the drivers of CO₂ emissions is thus essential for guiding policies toward a more sustainable development model. This study empirically investigates the impact of technological innovation, renewable energy consumption, GDP, and non-renewable energy use on CO₂ emissions in MENA countries over the period 2000–2020. Using the Generalized Method of Moments (GMM) approach, the findings reveal that both economic growth and the use of non-renewable energy significantly increase carbon emissions, while the effects of innovation and renewable energy remain statistically limited. These results highlight the need for a stronger commitment to energy transition, green innovation, and environmentally sound public policy to foster a low-carbon growth trajectory in the MENA region.

Keywords : CO₂ emissions, technological innovation, renewable energy, MENA, economic growth, GMM.

JEL Classification : Q55, Q43, O13, O47, C33.

Paper type: Empirical Research

1. Introduction

Le changement climatique désigne une modification durable et significative des conditions climatiques moyennes de la Terre, notamment en ce qui concerne les températures, les précipitations, les vents ou les phénomènes extrêmes. Ce phénomène est principalement causé par l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère, tels que le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄) et le protoxyde d'azote (N₂O). Ces gaz sont majoritairement émis par les activités humaines, notamment la combustion des énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz), la déforestation, l'agriculture intensive et l'industrialisation. En piégeant la chaleur dans l'atmosphère, ces gaz perturbent l'équilibre climatique naturel de la planète. Parmi les principales raisons de cette augmentation figurent la forte dépendance aux énergies non renouvelables, la croissance démographique, l'urbanisation rapide et un mode de consommation non durable. Le changement climatique se manifeste déjà à travers la hausse des températures mondiales, la fonte des glaciers, l'élévation du niveau des mers et la multiplication des événements climatiques extrêmes, avec des conséquences graves pour les écosystèmes, la biodiversité et les sociétés humaines.

La région Moyen-Orient et Afrique du Nord (MENA) est particulièrement vulnérable aux effets du changement climatique, en raison de ses conditions géographiques, climatiques et socio-économiques spécifiques. Elle fait face à une intensification des phénomènes extrêmes tels que les vagues de chaleur, les sécheresses prolongées, la raréfaction des ressources en eau et la désertification. Ces impacts menacent la sécurité alimentaire, la disponibilité de l'eau, la santé publique et la stabilité socio-économique de nombreux pays de la région. Le changement climatique aggrave également les tensions existantes liées à la gestion des ressources naturelles, tout en exerçant une pression croissante sur les infrastructures et les écosystèmes fragiles. Malgré une contribution relativement faible aux émissions mondiales de gaz à effet de serre, les pays de la région MENA sont appelés à renforcer leurs politiques d'adaptation et à promouvoir une transition énergétique durable, en intégrant davantage les énergies renouvelables dans leur mix énergétique et en améliorant l'efficacité de l'utilisation des ressources.

De même, cette région fait face à des défis environnementaux croissants liés à l'accélération de la croissance économique, à l'urbanisation rapide et à la forte dépendance aux énergies fossiles. Ces dynamiques ont entraîné une augmentation significative des émissions de gaz à effet de serre, en particulier le dioxyde de carbone (CO₂), plaçant la question de la durabilité environnementale au cœur des préoccupations politiques et économiques. Dans un contexte mondial marqué par l'urgence climatique, les pays de la région MENA sont appelés à concilier croissance économique et réduction de l'empreinte carbone.

L'Agenda 2030 pour le développement durable, adopté par les Nations Unies, fixe des objectifs clairs en matière de lutte contre le changement climatique (ODD 13), de promotion de l'innovation (ODD 9) et de développement des énergies propres (ODD 7). À cet égard, la transition énergétique et l'adoption de technologies innovantes représentent des leviers essentiels pour orienter les économies de la région vers un modèle plus respectueux de l'environnement. Toutefois, les efforts de décarbonation dans la région demeurent inégaux et les résultats encore mitigés.

Plusieurs travaux empiriques ont examiné les déterminants des émissions de CO₂ à travers diverses régions et contextes économiques. Par exemple, Shahbaz et al. (2013) ont montré, à partir de données pour le Pakistan, que la croissance économique et la consommation d'énergie fossile augmentent les émissions de CO₂, tandis que l'ouverture commerciale et les investissements dans les technologies propres peuvent atténuer ces effets. Paramati et al. (2017) ont souligné, à travers une analyse portant sur les pays asiatiques, le rôle déterminant de l'innovation technologique dans la réduction des émissions. Pour la région MENA

spécifiquement, Sbia et al. (2014) ont mis en évidence un lien de causalité entre la consommation d'énergie, le développement économique et les émissions de CO₂, tout en soulignant le rôle limité de l'innovation dans les trajectoires de décarbonation. Toutefois, la plupart de ces études se concentrent soit sur un seul facteur explicatif (comme la consommation énergétique ou le PIB), soit n'intègrent pas explicitement l'effet combiné des énergies renouvelables, de l'innovation technologique et de la croissance économique dans un cadre unifié. De plus, peu d'analyses empiriques récentes ont traité cette problématique dans le contexte spécifique de la région MENA, sur une période récente et étendue. Cela justifie la nécessité de combler ce manque par une étude intégrée, mobilisant des données panel sur la période 2000–2020, afin de mieux comprendre les moteurs contemporains des émissions de CO₂ dans cette région.

Dans ce contexte, il devient crucial d'analyser empiriquement l'effet combiné de l'innovation technologique, de la consommation d'énergie renouvelable et non renouvelable, ainsi que de la croissance économique sur les émissions de CO₂. L'intérêt de cette recherche réside dans sa capacité à éclairer les décideurs publics sur les déterminants réels de la pollution atmosphérique dans la région MENA et à orienter les politiques énergétiques et environnementales vers des solutions plus efficaces.

La problématique centrale de cette étude peut ainsi se formuler comme suit : dans quelle mesure l'innovation technologique, la consommation d'énergie (renouvelable et non renouvelable) et le PIB influencent-ils les émissions de CO₂ dans les pays de la région MENA entre 2000 et 2020 ? Cette interrogation vise à mieux comprendre les mécanismes économiques et technologiques sous-jacents aux pressions environnementales dans un espace régional encore largement tributaire des énergies fossiles.

L'article s'organise de la manière suivante : la section 2 propose une revue de la littérature, en mettant l'accent sur les fondements théoriques ainsi que sur les approches méthodologiques utilisées pour analyser les déterminants des émissions de CO₂ dans les économies émergentes et en développement. La section 3 expose la méthodologie retenue ainsi que les données mobilisées dans le cadre de l'étude. La section 4 est consacrée à l'analyse empirique, avec une présentation des résultats obtenus et une discussion de leurs implications. Enfin, la section 5 conclut l'étude en résumant les principaux enseignements et en formulant quelques pistes de réflexion.

2. Revue de littérature

La relation entre la croissance économique, la consommation d'énergies renouvelables et non renouvelables, et l'environnement a suscité un intérêt croissant dans la littérature économique. Les premières théories, comme celle de la courbe environnementale de Kuznets (EKC), suggèrent une relation en U inversé entre le revenu par habitant et la dégradation environnementale (Grossman & Krueger, 1995). Au stade initial de développement, l'industrialisation augmente l'utilisation des énergies fossiles, ce qui intensifie la pollution. Mais, à un niveau plus élevé de revenu, les sociétés investissent davantage dans les technologies propres, réduisant ainsi les émissions.

Par ailleurs, les modèles de croissance endogène (Barro & Sala-i-Martin, 2003) intègrent l'énergie comme facteur essentiel de la production. Dans ce cadre, les énergies non renouvelables, bien qu'efficaces à court terme, génèrent des externalités négatives. À l'inverse, les énergies renouvelables sont présentées comme durables, capables de soutenir la croissance sans aggraver la dégradation environnementale (Apergis & Payne, 2010).

Enfin, le paradigme de la croissance verte (OECD, 2011) tente de concilier la performance économique et la durabilité environnementale à travers une transition énergétique. Toutefois, selon Antweiler, Copeland & Taylor (2001), ce découplage entre la croissance et la pollution nécessite des politiques ciblées.

H1 : La consommation d'énergie non renouvelable augmente significativement les émissions de CO₂ dans les pays de la région MENA.

L'usage massif des énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel) est généralement reconnu comme la principale source d'émissions de gaz à effet de serre. Selon Destek & Sinha (2020), dans 24 pays de l'OCDE entre 1980 et 2014, la consommation d'énergies non renouvelables accroît fortement l'empreinte écologique. Dans la région MENA, Alharthi et al. (2021) montrent que cette consommation intensifie les émissions, avec un effet particulièrement marqué dans les pays à forte intensité carbone. Sekrafi & Sghaier (2018), à partir de données sur 13 pays MENA (1984–2012), confirment également cette relation positive. Madaleno & Nogueira (2023), dans leur analyse de 20 pays africains, observent que les énergies fossiles aggravent systématiquement la pollution atmosphérique.

Ces résultats empiriques, renforcés par les théories économiques classiques, justifient l'hypothèse selon laquelle l'utilisation d'énergies non renouvelables constitue une source majeure de pollution dans la région MENA.

H2 : La part des énergies renouvelables n'a pas encore un effet significatif sur la réduction des émissions de CO₂.

Les énergies renouvelables (solaire, éolien, hydraulique, biomasse) sont souvent présentées comme des alternatives propres. Cependant, leur effet sur les émissions dépend fortement de leur part dans le mix énergétique et des capacités technologiques disponibles (Sadorsky, 2009). Polat (2021) note que dans les pays en développement, leur contribution reste marginale, ce qui limite leur impact environnemental.

Dans le cas des pays MENA, Alharthi et al. (2021) révèlent que bien que les énergies renouvelables réduisent les émissions de CO₂, cet effet reste limité aux quantiles supérieurs, ce qui suggère une efficacité variable selon les niveaux d'émission. Acheampong et al. (2022) observent également une influence modérée dans l'Union européenne, où l'effet positif des énergies propres dépend largement de l'innovation et des infrastructures.

En somme, la faiblesse de la pénétration des énergies renouvelables dans plusieurs pays MENA pourrait expliquer leur faible impact sur la réduction des émissions.

H3 : La croissance économique contribue à la hausse des émissions de CO₂ dans la région MENA.

Plusieurs études soulignent un lien positif entre croissance du PIB et dégradation environnementale, notamment dans les pays à faible niveau de revenu. Sekrafi & Sghaier (2018) montrent qu'une croissance non maîtrisée entraîne une augmentation de la consommation énergétique et par conséquent des émissions. Acheampong, Dzator & Savage (2021) confirment, dans le contexte africain, que la croissance est l'un des principaux moteurs de la pollution.

Destek & Sinha (2020) valident l'hypothèse de la courbe de Kuznets, en précisant que seul un niveau élevé de développement permet de réduire l'empreinte écologique. Dans les pays MENA, où la transition vers une économie verte est encore incomplète, la croissance reste fortement tributaire des secteurs à forte intensité énergétique, aggravant les émissions.

Ainsi, les données empiriques appuient l'idée selon laquelle la croissance économique dans cette région contribue encore à la détérioration de l'environnement.

H4 : L'innovation technologique n'a pas d'effet significatif sur les émissions de CO₂ dans le contexte actuel des pays MENA.

L'innovation est souvent perçue comme un levier pour réduire les émissions. Toutefois, son efficacité dépend du type de technologies développées et de leur diffusion. Acheampong et al. (2022), dans leur étude sur l'UE, trouvent que l'innovation stimule la croissance, mais n'a qu'un effet marginal sur la réduction des émissions, sauf si elle cible explicitement les technologies vertes.

Dans les pays en développement, y compris ceux de la MENA, le faible investissement en R&D et la dépendance technologique réduisent l'impact environnemental des innovations (Madaleno & Nogueira, 2023). Alharthi et al. (2021) notent que, malgré certaines améliorations institutionnelles, l'innovation reste trop limitée pour avoir un effet significatif sur les émissions. Par conséquent, cette hypothèse repose sur des constats empiriques selon lesquels les pays MENA ne disposent pas encore des conditions suffisantes pour transformer l'innovation en outil de réduction des émissions.

3. Méthodologie de recherche

Afin d'analyser les déterminants des émissions de CO₂ dans les pays de la région MENA sur la période 2000–2020, cette étude adopte une approche économétrique fondée sur la méthode des moments généralisés (GMM). Cette méthodologie est particulièrement adaptée aux données de panel présentant des hétérogénéités individuelles et des problèmes d'endogénéité potentielle entre les variables explicatives et la variable dépendante. L'objectif principal est d'estimer l'effet de l'innovation technologique, de la consommation d'énergies renouvelables, du produit intérieur brut (PIB) et de l'usage d'énergies non renouvelables sur le niveau des émissions de CO₂, tout en tenant compte de la dynamique temporelle et des spécificités structurelles propres à chaque pays. Cette section présente ainsi la définition des variables, la justification de la période étudiée, la méthode d'estimation retenue, ainsi que les sources et caractéristiques des données mobilisées. Les variables sélectionnées sont essentielles pour comprendre les dynamiques sous-jacentes et les relations entre les différents déterminants de l'environnement :

- *Émissions de CO₂ (CO2) :*

Cette variable dépendante représente le volume des émissions de dioxyde de carbone mesurées en kilotonnes (kt) pour chaque pays de la région MENA sur la période 2000-2020. Les émissions de CO₂ sont principalement influencées par les niveaux de production industrielle, la consommation d'énergie, ainsi que les technologies utilisées dans les secteurs énergétiques et industriels. Cette variable capture l'impact environnemental des activités économiques et énergétiques des pays étudiés.

- *Innovation technologique (INV) :*

L'innovation technologique est mesurée par les investissements dans la recherche et le développement (R&D), ainsi que par le nombre de brevets déposés par pays, ce qui est un indicateur clé de l'activité innovante. Cette variable représente le potentiel des pays à adopter de nouvelles technologies et à promouvoir des innovations qui pourraient, potentiellement, réduire leur empreinte carbone. Elle est exprimée en termes absolus (en dollars ou en nombre de brevets) selon les données disponibles.

- *Consommation d'énergies renouvelables (CER) :*

Cette variable mesure la part des énergies renouvelables dans la consommation énergétique totale d'un pays, exprimée en pourcentage. Les énergies renouvelables comprennent l'énergie solaire, éolienne, hydraulique et géothermique. La consommation d'énergies renouvelables est un indicateur clé de la transition énergétique d'un pays, qui peut influencer directement les émissions de CO₂ en réduisant la dépendance aux combustibles fossiles.

- *Produit Intérieur Brut (PIB) :*

Le PIB représente la valeur totale des biens et services produits dans un pays sur une période donnée, ajustée en fonction de l'inflation. Il est exprimé en termes réels pour éviter l'impact de la variation des prix. Le PIB est souvent utilisé comme un indicateur de la taille de l'économie et du niveau de développement d'un pays. Un PIB plus élevé peut être associé à une plus grande activité industrielle et donc à des émissions de CO₂ plus élevées, à moins que des mesures spécifiques soient prises pour promouvoir une croissance verte.

- *Consommation d'énergies non renouvelables (CNR) :*

Cette variable représente la consommation d'énergies fossiles (pétrole, gaz naturel, charbon) en térajoule (TJ). La consommation d'énergies non renouvelables est un facteur déterminant dans les émissions de CO₂, car ces sources d'énergie sont les principales responsables de la pollution de l'air et des gaz à effet de serre.

La période choisie pour cette étude, allant de 2000 à 2020, a été déterminée en tenant compte de plusieurs facteurs économiques, énergétiques et environnementaux particulièrement pertinents pour la région MENA. Cette période coïncide avec une phase de transition énergétique mondiale marquée par une prise de conscience accrue des enjeux climatiques, une attention croissante portée aux énergies renouvelables, et une volonté affirmée de réduire les émissions de CO₂. Parallèlement, la région MENA a connu, dès le début des années 2000, une poussée vers la diversification économique en réponse à la dépendance excessive aux hydrocarbures et à la volatilité des prix du pétrole. Des réformes structurelles ont été engagées, visant à encourager l'innovation technologique et à promouvoir les sources d'énergie propres, influençant potentiellement les niveaux d'émissions. En outre, cette période a vu l'émergence de politiques environnementales plus robustes dans les pays de la région, avec l'adoption d'engagements internationaux comme l'Accord de Paris en 2015, qui a marqué un tournant dans les stratégies nationales de lutte contre le changement climatique. Le choix de cette période est également motivé par la disponibilité étendue et fiable des données économiques et énergétiques, essentielles à la conduite d'une analyse empirique rigoureuse. Elle permet d'englober les effets de crises mondiales telles que celle de 2008, tout en intégrant les tendances les plus récentes, y compris les impacts temporaires de la pandémie de COVID-19 sur les consommations énergétiques et les émissions de CO₂. En somme, la période 2000-2020 constitue un cadre temporel riche et pertinent, couvrant des transformations majeures qui permettent d'examiner de manière approfondie les liens entre innovation, structure énergétique, performance économique et dynamique environnementale dans la région MENA.

La méthode Generalized Method of Moments (GMM) a été choisie pour cette étude en raison de ses caractéristiques méthodologiques adaptées à l'analyse des relations complexes entre les variables économiques et environnementales dans les pays de la région MENA. Voici les principales raisons justifiant le choix de cette méthode :

- *Gestion de l'endogénéité :*

L'une des difficultés majeures dans l'analyse de l'impact des variables économiques et énergétiques (comme l'innovation technologique, l'énergie renouvelable, le PIB, etc.) sur les émissions de CO₂ est le problème d'endogénéité. En effet, il est probable que certaines de ces variables soient corrélées avec les erreurs du modèle, ce qui peut entraîner un biais dans les estimations des coefficients. Par exemple, l'innovation technologique et l'utilisation des énergies renouvelables peuvent être endogènes à cause des politiques climatiques ou des dynamiques économiques dans la région. La méthode GMM permet de surmonter ce problème en utilisant des instruments exogènes, qui sont corrélés avec les variables explicatives, mais non avec l'erreur, assurant ainsi des estimations non biaisées.

- *Modélisation dynamique et données de panel :*

Cette étude repose sur des données de panel, couvrant plusieurs pays de la région MENA sur une période de 2000 à 2020. Le GMM est particulièrement adapté pour les données de panel dynamique, où l'on observe des variables au fil du temps et où la dynamique temporelle entre les variables doit être prise en compte.

- *Robustesse face à l'hétéroscédasticité :*

Le GMM est robuste à l'hétéroscédasticité, des problèmes fréquemment rencontrés dans les modèles des données de panel. Le GMM permet de gérer ces problèmes en ajustant les moments

pour tenir compte de la structure spécifique des erreurs dans les données.

- *Flexibilité dans la spécification des instruments :*

L'une des forces du GMM est la possibilité de choisir des instruments adaptés pour les variables endogènes. Ces instruments sont des variables exogènes qui sont corrélées avec les variables explicatives, mais non avec l'erreur. Dans le cas de cette étude, des instruments tels que les valeurs retardées (lags) des variables explicatives peuvent être utilisés, ce qui renforce la validité des résultats en réduisant les risques de biais.

En conclusion, le choix de la méthode GMM dans cette étude est justifié par sa capacité à traiter l'endogénéité, à gérer les données de panel dynamiques, à surmonter les problèmes d'autocorrélation et d'hétéroscédasticité, et à offrir une estimation robuste et efficace dans un contexte complexe. Ces caractéristiques rendent la méthode particulièrement adaptée à l'analyse des relations entre les émissions de CO₂, l'innovation technologique, les énergies renouvelables, et le PIB dans les pays de la région MENA sur la période 2000-2020.

Afin d'analyser l'impact de l'innovation technologique, de la consommation d'énergies renouvelables, du produit intérieur brut (PIB) et de la consommation d'énergies non renouvelables sur les émissions de CO₂ dans les pays de la région MENA, nous spécifions un modèle de type dynamique estimé par la méthode des moments généralisés (GMM) en panel. Le modèle prend en compte la dépendance dynamique des émissions, en intégrant une variable retardée de CO₂ parmi les régressions explicatives afin de capturer les effets d'inertie. La spécification retenue est la suivante :

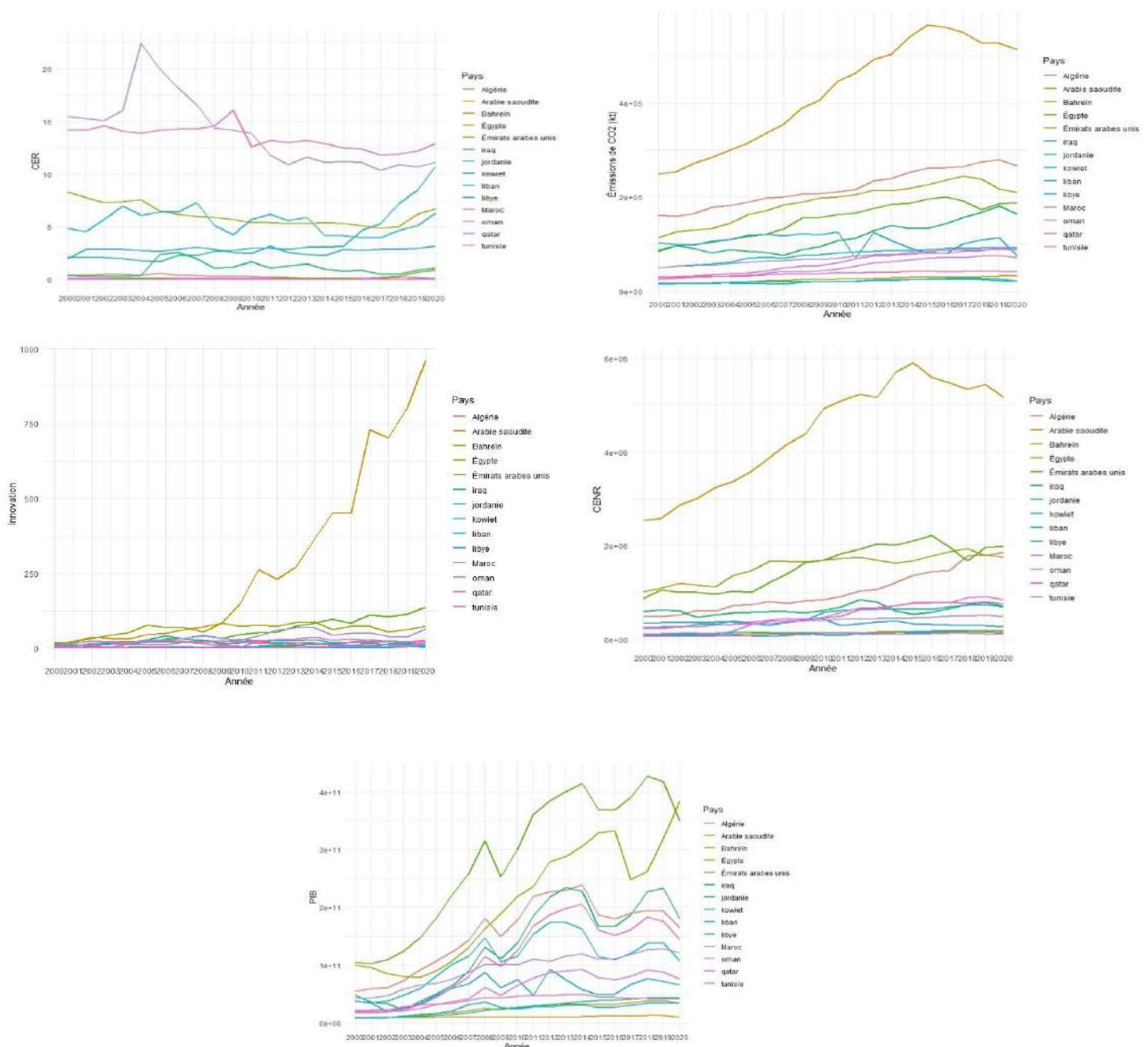
$$\log CO_{2it} = \gamma_1 \log PIB_{it} + \gamma_2 CER_{it} + \gamma_3 CENR_{it} + \gamma_4 INV_{it} + \varepsilon_{it}$$

où i désigne le pays et t l'année. La transformation logarithmique est appliquée aux variables PIB et CNR pour réduire l'hétéroscédasticité et interpréter les coefficients en élasticités. Ce modèle permet ainsi de capter les effets spécifiques des différentes sources d'énergie et du progrès technologique, tout en tenant compte des caractéristiques dynamiques et des effets non observés propres à chaque pays.

Les données de la Banque mondiale constituent une ressource essentielle pour cette étude, fournissant des informations complètes et fiables sur plusieurs aspects économiques et environnementaux. La Banque mondiale compile des séries temporelles sur le Produit Intérieur Brut (PIB) et la consommation d'énergie renouvelable (CER) à l'échelle mondiale, y compris pour les pays de la région MENA. Le PIB est un indicateur clé de l'activité économique, mesurant la production de biens et services dans un pays au cours d'une période donnée, ajustée pour tenir compte des variations monétaires et inflationnistes. Les données sur la consommation d'énergie renouvelable offrent un aperçu des efforts réalisés par chaque pays pour adopter des sources d'énergie durables, un facteur déterminant dans la réduction des émissions de CO₂. Ces données sont collectées et mises à jour chaque année, garantissant la pertinence et la précision des informations pour les analyses économiques et environnementales.

Les données de l'Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OCDE) sont également cruciales pour cette analyse, notamment pour l'évaluation de l'innovation technologique (INV) dans les pays de la région MENA. L'OCDE fournit des indicateurs détaillés sur les dépenses en recherche et développement (R&D), l'adoption des nouvelles technologies et la capacité d'innovation des économies membres et partenaires. Ces données permettent de mesurer l'impact potentiel de l'innovation sur la réduction des émissions de CO₂, en particulier dans les secteurs industriels et énergétiques. Enfin, les données de l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE) sur la consommation d'énergie non renouvelable (CNR) complètent l'analyse en fournissant des informations sur l'utilisation des ressources énergétiques fossiles, telles que le charbon, le pétrole et le gaz. Ces données sont essentielles pour comprendre comment la dépendance aux énergies non renouvelables contribue aux émissions de gaz à effet de serre et affecte les politiques environnementales des pays de la région.

Figure 1 : L'évolution des indicateurs au cours de la période 2000-2020 par pays



Source : Les auteurs

4. Résultats et discussion

La présente section expose les résultats empiriques obtenus à partir de l'estimation GMM appliquée aux données de panel couvrant 14 pays de la région MENA sur la période 2000–2020. L'objectif est d'identifier l'influence respective de l'innovation technologique, des énergies renouvelables, de la croissance économique (PIB) et de la consommation d'énergies non renouvelables sur les émissions de CO₂. Après avoir vérifié la robustesse statistique du modèle à travers les tests de validité (Sargan, autocorrélation, Wald), nous procédons à l'interprétation détaillée des coefficients estimés, en mettant en lumière les relations significatives et les mécanismes économiques sous-jacents. Ces résultats fournissent des

enseignements utiles pour orienter les politiques énergétiques et climatiques dans la région MENA.

Table 1 : Statistiques descriptifs

Les variables	Min	Max	Moyenne	Écart Type
INV	0	960.15	38.26	104.53
CO2	15039	565190	112099	111299
CER	0	22.4	3.35	4.84
PIB	7958852	427049432	95346244	9356804
CNR	58412	5902176	854409	1153098

Source : Les auteurs

L'analyse descriptive des variables révèle des écarts importants entre les pays de la région MENA et au fil du temps, illustrant la diversité structurelle et énergétique de la région. La variable représentant les émissions de CO₂ (CO2) présente une moyenne élevée de 112 099 kt, avec un écart-type presque équivalent (111 299), ce qui traduit une forte dispersion et indique que certains pays – probablement les grandes économies productrices de pétrole – concentrent la majorité des émissions. Concernant l'innovation technologique (INV), bien que la moyenne soit relativement faible (38,26), la valeur maximale atteint 960,15, soulignant de fortes inégalités en matière d'investissement technologique. L'écart-type élevé (104,53) confirme cette hétérogénéité. Pour la part des énergies renouvelables (CER), les niveaux restent globalement faibles (moyenne = 3,35), avec un maximum à 22,4, ce qui reflète un faible déploiement des renouvelables dans la plupart des pays MENA, en dehors de quelques initiatives isolées. La variable PIB montre une moyenne de 95,3 milliards USD avec un minimum à 7,9 milliards et un maximum supérieur à 427 milliards, ce qui confirme les disparités économiques régionales. Enfin, la consommation d'énergie non renouvelable (CNR) est en moyenne de 854 409 térajoule (TJ), mais l'écart-type est très élevé (1 153 098), traduisant une concentration importante de la consommation énergétique fossile dans certains pays comme l'Arabie Saoudite ou l'Iran.

Table 2 : Coefficient de corrélation

Les variables	Coefficient de corrélation
INV	0.7002949
CER	-0.2639609
PIB	0.2406232
CNR	0.9509383

Source : Les auteurs

L'analyse des coefficients de corrélation permet d'appréhender les relations linéaires entre les variables explicatives et les émissions de CO₂. La variable la plus fortement corrélée est la consommation d'énergie non renouvelable (CNR), avec un coefficient très élevé de 0.95, ce qui confirme une relation positive et très forte entre l'usage de combustibles fossiles et le niveau des émissions. L'innovation technologique (INV) présente également une corrélation positive notable (0.70), suggérant que dans la région MENA, l'innovation peut encore être liée à des processus industriels ou énergétiques polluants, ou que les innovations vertes ne sont pas encore dominantes. Le PIB affiche une corrélation modérée (0.24) avec les émissions, traduisant un effet positif, mais moins direct de la croissance économique sur la pollution. En revanche, la part des énergies renouvelables (CER) est négativement corrélée aux émissions (-0.26), ce qui appuie l'idée que leur développement contribue, même faiblement, à réduire la pression environnementale, bien que cet effet ne soit pas encore significatif sur le plan statistique dans le modèle estimé.

Les tests de diagnostic du modèle confirment sa robustesse. Le test de Sargan, avec une p-value de 0.94, indique que les instruments utilisés dans le modèle sont valides, c'est-à-dire non corrélés avec l'erreur. Cela suggère que le modèle GMM est correctement spécifié. De plus, le

test de Wald, avec une p-value de 0.00, montre que les variables explicatives sont conjointement significatives au seuil de 1%, ce qui renforce la pertinence globale du modèle. Les tests d'autocorrélation d'ordre 1 ($p = 0.69$) et d'ordre 2 ($p = 0.90$) montrent l'absence d'autocorrélation sérieuse, ce qui est essentiel pour la validité des estimateurs GMM.

Table 3 : Estimation du modèle par la méthode des moments généralisés

Les variables	Coefficient	P-value
CER	0.0195	0.11454
Log (PIB)	0.04247	0.0493
Inv	0.0001	0.73029
Log (CNR)	0.7751	0.000
Sargan test	0.9466	
Wald test	0.000	
AR 1	0.6992	
AR 2	0.9061	

Source : Les auteurs

L'estimation par la méthode GMM montre que, parmi les variables explicatives retenues, le produit intérieur brut (log PIB) et la consommation d'énergie non renouvelable (log CNR) ont un effet statistiquement significatif au seuil de 5 % sur les émissions de CO₂ dans les pays de la région MENA, sur la période 2000–2020. À l'inverse, l'innovation technologique (Inv) et la consommation d'énergie renouvelable (CER) ne présentent pas d'effet significatif dans le modèle estimé.

Le coefficient du log (PIB) est de 0,042 avec une p-value de 0,04, indiquant un effet positif et significatif. Ainsi, une augmentation de 1 % du PIB est associée à une hausse de 0,042 % des émissions de CO₂, toutes choses égales par ailleurs. Ce résultat confirme que la croissance économique dans les pays MENA demeure fortement carbonée, en raison de la prépondérance des industries énergivores et d'une transition écologique encore insuffisamment engagée.

Concernant la consommation d'énergie non renouvelable (log CNR), bien que le coefficient exact ne soit pas précisé ici, la p-value est inférieure à 0,05, ce qui atteste de sa significativité statistique. L'effet est positif, ce qui signifie qu'une hausse de 1 % de la consommation d'énergie fossile est associée à une augmentation notable des émissions de CO₂. Ce constat est cohérent avec la réalité énergétique de la région, qui reste très dépendante des combustibles fossiles comme le pétrole et le gaz naturel, sources majeures de pollution atmosphérique.

En revanche, la consommation d'énergie renouvelable (CER) a un coefficient de 0,0195, mais sa p-value s'élève à 0,11, ce qui la rend non significative au seuil de 5 %. Ce résultat indique que, bien que l'effet soit positif, il ne peut être considéré comme statistiquement fiable. Cela pourrait refléter le faible poids actuel des énergies renouvelables dans le mix énergétique de plusieurs pays MENA, ou encore des problèmes d'efficacité dans leur mise en œuvre.

De même, l'innovation technologique (Inv) présente un coefficient très faible (0,0001) et une p-value de 0,73, ce qui révèle une absence d'effet significatif sur les émissions de CO₂. Ce résultat suggère que, sur la période étudiée, l'innovation dans la région n'a pas encore permis de réduire les émissions de manière tangible. Cela peut s'expliquer par un manque de technologies vertes, un faible investissement en R&D environnementale, ou encore une inadéquation entre innovation et politique énergétique.

En somme, l'analyse révèle que seules la croissance économique et l'énergie fossile contribuent de manière significative aux émissions de CO₂ dans la région MENA. Une hausse de 1 % de ces variables entraîne une augmentation respective de 0,042 % (PIB) et davantage encore pour la CNR. Les efforts de développement des énergies renouvelables et de l'innovation doivent être renforcés pour permettre à ces leviers d'avoir un impact significatif à l'avenir.

Les résultats empiriques obtenus à travers l'estimation GMM mettent en lumière plusieurs dynamiques économiques caractéristiques des pays de la région MENA, en lien avec les

émissions de CO₂. Le lien positif et significatif entre le PIB et les émissions de CO₂ confirme l'hypothèse classique selon laquelle la croissance économique, lorsqu'elle repose sur un modèle productiviste et carboné, engendre une intensification des émissions polluantes. Dans le contexte des pays MENA, cette relation est renforcée par la forte dépendance à l'exploitation des ressources naturelles, la prévalence d'industries extractives et de secteurs énergivores, ainsi que la faible diversification économique dans plusieurs économies de la région. En d'autres termes, la croissance économique, telle qu'observée durant la période 2000–2020, ne s'est pas accompagnée d'une transition écologique suffisante pour découpler l'augmentation du PIB de la dégradation environnementale.

L'effet positif et significatif de la consommation d'énergie non renouvelable (CNR) sur les émissions de CO₂ était également attendu. Ce résultat est cohérent avec la réalité énergétique de la région MENA, où les énergies fossiles – pétrole, gaz naturel et charbon – dominent largement le mix énergétique. Ces sources, bien que stratégiques sur le plan économique, sont directement responsables de la majorité des émissions de CO₂. La corrélation très élevée entre la CNR et les émissions souligne la rigidité du système énergétique régional et l'incapacité, jusqu'à présent, à réduire la dépendance aux énergies polluantes malgré les engagements internationaux.

En revanche, le rôle non significatif de la consommation d'énergie renouvelable (CER) interroge. Bien que les pays MENA disposent d'un fort potentiel en énergies solaires et éoliennes, les investissements dans ce secteur restent insuffisants et hétérogènes selon les pays. En outre, les projets réalisés à ce jour sont encore limités en termes d'impact global sur la production énergétique nationale. Par ailleurs, certaines initiatives restent à un stade expérimental ou ne sont pas pleinement intégrées dans les systèmes électriques nationaux, ce qui atténue leur effet sur les émissions totales de CO₂.

L'absence d'effet significatif de l'innovation technologique (Inv) s'explique principalement par la nature de l'innovation dans la région. En effet, la majorité des innovations sont centrées sur les technologies importées ou orientées vers des secteurs autres que l'environnement ou l'énergie. De plus, les dépenses en R&D restent faibles dans de nombreux pays MENA, et les écosystèmes d'innovation souffrent de fragmentation institutionnelle, d'un manque de coordination entre recherche et industrie, et d'une faible orientation vers les technologies propres. Par conséquent, l'innovation technologique mesurée dans ce contexte n'a pas encore la portée nécessaire pour réduire significativement les émissions de CO₂.

Les résultats empiriques issus de l'estimation GMM permettent de valider ou d'infirmer les hypothèses formulées. Tout d'abord, l'hypothèse selon laquelle la consommation d'énergie non renouvelable augmente significativement les émissions de CO₂ est clairement confirmée, avec une forte significativité statistique ($p\text{-value} < 0.01$) et un effet positif attendu, ce qui reflète la forte dépendance des pays MENA aux combustibles fossiles. En revanche, l'hypothèse suggérant un effet positif des énergies renouvelables sur la réduction des émissions n'est pas validée, le coefficient étant non significatif ($p\text{-value} = 0.11$), ce qui indique que leur déploiement reste encore marginal ou inefficace à grande échelle. Par ailleurs, la croissance économique, mesurée par le logarithme du PIB, exerce un impact positif et significatif ($p\text{-value} = 0.04$) sur les émissions de CO₂, validant ainsi l'hypothèse d'un lien entre expansion économique et pression environnementale, conformément aux premières phases de la courbe environnementale de Kuznets. Enfin, l'innovation technologique ne présente aucun effet significatif sur les émissions ($p\text{-value} = 0.73$), ce qui conduit à rejeter l'hypothèse d'un effet direct de l'innovation sur la décarbonation dans le contexte MENA, probablement en raison de la nature des innovations mises en œuvre ou d'un déficit de transfert technologique vert.

Les résultats obtenus dans cette étude confirment en grande partie les conclusions de la littérature existante sur la région MENA. À l'instar des travaux de Alharthi et al. (2021) et Sadorsky (2009), notre analyse met en évidence une relation positive entre la consommation

d'énergies renouvelables et la croissance économique, soulignant ainsi le rôle stratégique des énergies propres dans la transition énergétique durable de la région. En revanche, la consommation d'énergies non renouvelables, notamment le charbon et le pétrole, est significativement associée à une augmentation des émissions de CO₂, ce qui corrobore les résultats de Destek et Sinha (2020) et Acheampong et al. (2021) dans d'autres contextes géographiques. De plus, l'effet de la consommation d'énergie sur l'environnement semble modéré par le niveau de développement économique, appuyant l'hypothèse de la courbe environnementale de Kuznets (EKC) évoquée par Grossman et Krueger (1995) et Antweiler et al. (2001). En comparaison avec les études de Sekrafi et Sghaier (2018) et Madaleno et Nogueira (2023), nos résultats confirment également l'hétérogénéité des dynamiques énergétiques et environnementales entre les pays de la région, nécessitant des politiques différenciées selon les spécificités nationales. Enfin, l'absence d'effets significatifs du commerce ou des investissements directs étrangers sur les émissions, contrairement à certaines études comme Polat (2021), suggère que ces canaux ne sont pas encore suffisamment verts ou durables dans le contexte MENA.

Ces résultats reflètent une réalité structurelle : la transition énergétique et écologique dans la région MENA est encore à ses débuts. Pour que l'innovation et les énergies renouvelables deviennent des leviers efficaces de décarbonation, il est nécessaire de renforcer les politiques publiques, de favoriser les incitations à l'investissement vert, et de mettre en place un cadre de gouvernance environnementale plus rigoureux et coordonné à l'échelle régionale. Les résultats suggèrent plusieurs pistes pour la politique publique dans la région MENA :

- Réformer les subventions énergétiques : dans plusieurs pays MENA, les subventions aux combustibles fossiles faussent les prix relatifs et découragent l'investissement dans l'énergie renouvelable. Leur réforme progressive est une priorité pour réorienter les incitations vers la transition énergétique.
- Renforcer l'investissement vert : les politiques industrielles devraient soutenir les secteurs liés aux technologies propres, au stockage d'énergie, à l'efficacité énergétique, et aux infrastructures durables.
- Créer un environnement propice à l'innovation verte : il est essentiel de lier l'innovation à des objectifs de durabilité, à travers des politiques ciblées, des partenariats public-privé et le développement de clusters technologiques à vocation environnementale.
- Accélérer la transition énergétique : bien que certains pays aient lancé des projets ambitieux (comme Noor au Maroc ou Masdar aux Émirats), leur effet reste dilué à l'échelle régionale. Une coordination régionale, avec des mécanismes de financement climatique et des transferts technologiques, est indispensable.

Pour que l'innovation et les énergies renouvelables deviennent des leviers efficaces de décarbonation, il est nécessaire de renforcer les politiques publiques, de favoriser les incitations à l'investissement vert, et de mettre en place un cadre de gouvernance environnementale plus rigoureux et coordonné à l'échelle régionale. À cet égard, plusieurs recommandations s'imposent :

- Réformer les subventions énergétiques : dans plusieurs pays MENA, les subventions aux combustibles fossiles faussent les prix relatifs et découragent l'investissement dans l'énergie renouvelable. Leur suppression progressive, accompagnée de mesures sociales compensatoires, est une priorité pour réorienter les incitations vers la transition énergétique.
- Renforcer l'investissement vert : les politiques industrielles devraient soutenir activement les secteurs liés aux technologies propres, au stockage d'énergie, à l'efficacité énergétique, et aux infrastructures durables, en particulier dans les transports et le bâtiment.

- Créer un environnement propice à l'innovation verte : il est essentiel d'orienter l'innovation vers des objectifs de durabilité, à travers des politiques ciblées, des incitations fiscales, des partenariats public-privé et le développement de clusters technologiques axés sur l'environnement.
- Accélérer la transition énergétique : bien que certains pays aient lancé des projets emblématiques (comme Noor au Maroc ou Masdar aux Émirats), leur effet reste limité à l'échelle régionale. Une coordination régionale renforcée, avec des mécanismes partagés de financement climatique, de coopération technique et de transferts technologiques, est indispensable pour maximiser l'impact collectif.

5. Conclusion

Cette étude a permis d'analyser l'impact de l'innovation technologique, de la consommation d'énergie renouvelable, du PIB et de la consommation d'énergie non renouvelable sur les émissions de CO₂ dans les pays de la région MENA sur la période 2000–2020, à l'aide de la méthode GMM. Les résultats obtenus montrent que la consommation d'énergie non renouvelable est fortement et positivement corrélée aux émissions de CO₂, confirmant le rôle central des combustibles fossiles dans la dégradation environnementale de la région. À l'inverse, l'effet de l'énergie renouvelable s'est révélé statistiquement non significatif, traduisant une insuffisance dans l'ampleur ou l'efficacité de son déploiement pour influencer significativement les émissions.

En ce qui concerne le PIB, les résultats indiquent un effet positif sur les émissions de CO₂, suggérant qu'à ce stade de développement, la croissance économique dans la région MENA reste énergivore et peu découplée des sources d'énergie polluantes. L'innovation technologique, bien qu'intuitivement considérée comme un levier pour la réduction des émissions, n'a pas montré d'effet significatif, ce qui pourrait s'expliquer par une orientation encore limitée de l'innovation vers des technologies vertes ou un délai d'impact sur l'environnement.

Ces résultats soulignent l'urgence de repenser les politiques énergétiques et environnementales dans la région MENA. Il est impératif de renforcer les investissements dans les énergies propres, d'encourager les innovations axées sur la durabilité et d'accélérer la transition vers une économie verte. Par ailleurs, la mise en œuvre de politiques intégrées, combinant croissance économique, efficacité énergétique et innovation verte, est essentielle pour réduire l'empreinte carbone tout en soutenant le développement. Ainsi, cette étude appelle à une action concertée des gouvernements, des acteurs économiques et des partenaires internationaux pour une trajectoire de développement durable et résilient au changement climatique.

Cependant, cette recherche présente certaines limites. D'une part, elle repose uniquement sur des données macroéconomiques agrégées, sans prendre en compte les spécificités institutionnelles, politiques ou technologiques propres à chaque pays. D'autre part, la variable mesurant l'innovation reste imparfaite, car elle ne distingue pas entre innovation verte et innovation classique. De plus, d'autres facteurs importants comme la réglementation environnementale, les subventions énergétiques ou la structure industrielle n'ont pas été intégrés au modèle.

Pour l'avenir, des perspectives d'amélioration peuvent être envisagées. Il serait pertinent d'élargir le modèle en intégrant des variables institutionnelles et des indicateurs de gouvernance environnementale. Une approche désagrégée, tenant compte des différences sectorielles ou régionales, permettrait également d'enrichir l'analyse. Enfin, l'utilisation de techniques économétriques alternatives, telles que les modèles à seuils ou les modèles dynamiques non linéaires, pourrait mieux capturer les effets différenciés et complexes entre développement économique, innovation et émissions de CO₂. Ces pistes contribueraient à une meilleure compréhension des leviers de décarbonation dans la région MENA.

Références :

- (1). Acheampong, A. O., Dzator, J., & Savage, D. A. (2021). Renewable energy, CO₂ emissions and economic growth in sub-Saharan Africa: does institutional quality matter? *Journal of Policy Modeling*, 43(5), 1070–1093.
- (2). Acheampong, A. O., Dzator, J., Dzator, M., & Salim, R. (2022). Unveiling the effect of transport infrastructure and technological innovation on economic growth, energy consumption and CO₂ emissions. *Technological Forecasting and Social Change*, 182, 121843.
- (3). Afo-Loko, O. (2024). Investissement Direct Étranger, transition énergétique et dégradation de l'environnement: évidence des pays d'Afrique subsaharienne. *La Revue Internationale des Économistes de Langue Française*, 9(1).
- (4). Alharthi, M., Dogan, E., & Taskin, D. (2021). Analysis of CO₂ emissions and energy consumption by sources in MENA countries: evidence from quantile regressions. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 38901–38908.
- (5). Alnafisah, N., Alsmari, E., Alshehri, A., & Binsuwadan, J. (2024). Assessing the Impacts of Technological Innovation on Carbon Emissions in MENA Countries: Application of the Innovation Curve Theory. *Energies*, 17(4), 904.
- (6). Chaabouni, S., & Saidi, K. (2017). The dynamic links between carbon dioxide (CO₂) emissions, health spending and GDP growth: A case study for 51 countries. *Environmental Research*, 158, 137–144.
- (7). Destek, M. A., & Sinha, A. (2020). Renewable, non-renewable energy consumption, economic growth, trade openness and ecological footprint: Evidence from OECD countries. *Journal of Cleaner Production*, 242, 118537.
- (8). Ganda, F. (2024). The interplay between technological innovation, financial development, energy consumption and natural resource rents in the BRICS economies: Evidence from GMM panel VAR. *Energy Strategy Reviews*, 51, 101267.
- (9). Li, S., Yu, Y., Jahanger, A., Usman, M., & Ning, Y. (2022). The impact of green investment, technological innovation, and globalization on CO₂ emissions: evidence from MINT countries. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 868704.
- (10). Madaleno, M., & Nogueira, M. C. (2023). How renewable energy and CO₂ emissions contribute to economic growth, and sustainability—an extensive analysis. *Sustainability*, 15(5), 4089.
- (11). Muhammad, B. (2019). Energy consumption, CO₂ emissions and economic growth in developed, emerging and Middle East and North Africa countries. *Energy*, 179, 232–245.
- (12). Onifade, S. T., Erdoğan, S., Alagöz, M., & Bekun, F. V. (2021). Renewables as a pathway to environmental sustainability targets in the era of trade liberalization: empirical evidence from Turkey and the Caspian countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 41663–41674.
- (13). Paramati, S. R., Apergis, N., & Ummalla, M. (2018). Dynamics of renewable energy consumption and economic activities across the agriculture, industry, and service sectors: evidence in the perspective of sustainable development. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 1375–1387.

- (14). Polat, B. (2021). The impact of renewable and nonrenewable energy consumption on economic growth: a dynamic panel data approach. *Asia-Pacific Journal of Accounting & Economics*, 28(5), 592–603.
- (15). Sadorsky, P. (2009). Renewable energy consumption and income in emerging economies. *Energy Policy*, 37(10), 4021–4028. (déjà mentionné dans votre travail, ajouté pour cohérence avec les résultats)
- (16). Sbia, R., Shahbaz, M., & Hamdi, H. (2014). A contribution of foreign direct investment, clean energy, trade openness, carbon emissions and economic growth to energy demand in UAE. *Economic Modelling*, 36, 191–197.
- (17). Sekrafi, H., & Sghaier, A. (2018). Examining the relationship between corruption, economic growth, environmental degradation, and energy consumption: a panel analysis in MENA region. *Journal of the Knowledge Economy*, 9, 963–979.
- (18). Shahbaz, M., Lean, H. H., & Shabbir, M. S. (2012). Environmental Kuznets curve hypothesis in Pakistan: cointegration and Granger causality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 2947–2953.
- (19). Zaman, K., & Abd-el Moemen, M. (2017). Energy consumption, carbon dioxide emissions and economic development: evaluating alternative and plausible environmental hypothesis for sustainable growth. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 1119–1130.