



Analyse de l'impact de la consommation d'énergie sur la croissance économique et la durabilité environnementale : le cas du Maroc

Nada EL MOUSSAOUI 1, et Brahim IDELHAKKAR 2

Université Abdelmalek Essaadi Maroc et membre du laboratoire : Management, droit, mutations interculturelles et sociales

Résumé : Cet article examine la relation entre les variables énergétiques et le produit intérieur brut (PIB) à l'aide d'un modèle autorégressif à décalage distribué (ARDL). Les variables énergétiques étudiées comprennent les émissions de CO₂, la production d'électricité à partir de sources pétrolières, la superficie forestière, la consommation de combustibles fossiles, les importations de combustibles, la croissance démographique et la consommation d'énergies renouvelables. Les résultats du modèle ARDL montrent que certaines variables énergétiques et leurs valeurs retardées ont un impact significatif sur le PIB. Les tests CUSUM et CUSUM carrés ont été effectués pour s'assurer que le modèle ARDL était stable et répondait aux hypothèses nécessaires. Les résultats de cette étude ont des implications importantes pour la recherche future et l'élaboration de politiques au Maroc, car ils soulignent la nécessité d'une approche plus durable de la croissance et de la consommation d'énergie afin de réduire son impact sur l'environnement.

Mots clés : Consommation de carburant ; Dégradation de l'environnement ; Elaboration des politiques ; Energies renouvelables.

Digital Object Identifier (DOI): <https://doi.org/10.5281/zenodo.15663448>

1 Introduction

Dans un contexte mondial où l'énergie joue un rôle crucial dans le développement économique et la durabilité environnementale, il est essentiel d'étudier la relation entre les variables énergétiques et la croissance économique. Le Maroc, en tant que pays émergent, est confronté à des défis importants en matière de gestion de l'énergie et de stimulation de la croissance économique. Ainsi, l'analyse des interactions entre les variables énergétiques et le produit intérieur brut (PIB) peut fournir des informations précieuses pour guider les politiques énergétiques et économiques du pays. Ce document vise à examiner les relations à long terme entre les variables énergétiques et le PIB au Maroc en utilisant le modèle ARDL (Auto-Regressive Distributed Lag model). Le modèle ARDL est un outil statistique permettant d'analyser les relations à long terme entre les variables d'une série temporelle. Plusieurs variables énergétiques seront étudiées, notamment les émissions de CO₂, la production d'électricité à partir de sources pétrolières, la superficie forestière, la consommation de combustibles fossiles, les importations de combustibles, la croissance démographique et la consommation d'énergies renouvelables. Les résultats de cette analyse seront utilisés pour fournir des conseils sur les mesures politiques les plus efficaces pour aborder la consommation de carburant et son impact sur l'économie et l'environnement au Maroc. En résumé, ce document vise à contribuer à la littérature existante sur la croissance économique, la consommation de carburant et son

impact sur l'environnement en fournissant une analyse détaillée de la relation entre ces variables au Maroc en utilisant le modèle ARDL.

2 Revue de littérature

Cette section présente un résumé des recherches antérieures sur la consommation de carburant et son impact sur l'environnement au Maroc, ainsi que l'utilisation du modèle ARDL (Autoregressive Distributed Lag) pour l'analyse. Les premières études, comme celle de [1], ont montré que la consommation de carburant au Maroc a augmenté de manière significative entre 1971 et 2007 en raison de facteurs tels que la croissance démographique, l'urbanisation et l'industrialisation. Cette augmentation a entraîné des problèmes environnementaux tels que la pollution de l'air et de l'eau, le changement climatique et la dégradation des sols. Des recherches plus récentes menées par [10] ont mis en évidence une relation positive entre la consommation de carburant et la croissance économique, bien que cette relation évolue dans le temps. Ils ont proposé que le gouvernement marocain soutienne des politiques qui encouragent les technologies économes en carburant et les sources d'énergie alternatives afin de réduire l'impact sur l'environnement. Une étude réalisée par [4] a révélé que les subventions aux carburants contribuaient de manière significative à la consommation de carburants et à la dégradation de l'environnement, suggérant que la réduction de ces subventions pourrait contribuer à atténuer les dommages environnementaux. Le modèle ARDL a été utilisé pour analyser la relation entre la consommation de carburant et la dégradation de l'environnement dans le temps, comme l'ont démontré [3], [8] et [5]. Le modèle peut saisir les relations à court et à long terme entre ces variables, montrant des relations positives entre la consommation de carburant et les émissions de CO₂ en Inde, et entre la consommation de carburant et la dégradation de l'environnement en Iran. En résumé, les recherches précédentes mettent en évidence l'augmentation significative de la consommation de carburant et ses conséquences environnementales au Maroc, ainsi que l'importance de la transition vers des sources d'énergie plus propres pour équilibrer la croissance économique et la durabilité environnementale [6] ; [9] ; [11] ; [13] ; [12].

3 Méthodologie

la co-intégration. Les données utilisées dans cette étude sont accessibles au public et proviennent d'institutions telles que la Banque mondiale et les Nations unies, et couvrent la période allant de 1980 à aujourd'hui. Elles comprennent des informations sur la consommation de carburant et divers indicateurs de la dégradation de l'environnement au Maroc, tels que la pollution de l'air et de l'eau, le changement climatique et la dégradation des sols. Avant d'être analysées, les données subissent des processus de nettoyage et de transformation, tels que la conversion des variables nominales en variables réelles ou l'agrégation des variables pour réduire l'impact des valeurs aberrantes. Le processus de préparation des données est minutieusement documenté pour assurer la transparence et la reproductibilité des résultats.

Table 1. Définitions et étiquettes des variables

Variable	Marquage des variables	Définition
Importations de carburants (% des importations de biens)	FI	Cette variable représente le pourcentage de carburant importé dans les importations totales de marchandises. Elle reflète la dépendance d'un pays à l'égard des sources étrangères pour ses besoins énergétiques.
Émissions de CO ₂ (kt)	CO ₂	Cette variable représente les émissions totales de dioxyde de carbone en kilotonnes, ce qui permet de mesurer l'impact d'un pays sur l'environnement.
Croissance de la population (% annuel)	PG	Cette variable mesure le taux de croissance annuel de la population, qui peut affecter la demande et la consommation d'énergie dans un pays.
Consommation d'énergie renouvelable (% de la consommation totale d'énergie finale)	REC	Cette variable représente le pourcentage de la consommation totale d'énergie finale qui provient de

consommation totale d'énergie finale)		sources renouvelables, ce qui est un indicateur des efforts d'un pays en matière d'utilisation durable de l'énergie.
Production d'électricité à partir de sources pétrolières (% du total)	OEB	Cette variable représente le pourcentage de la production totale d'électricité à partir de sources pétrolières, ce qui indique le niveau de dépendance à l'égard de ce combustible fossile.
Surface forestière (% de la surface terrestre)	FE	Cette variable représente le pourcentage de la surface terrestre couverte par les forêts, ce qui est important pour la capacité d'absorption du dioxyde de carbone d'un pays.
Consommation de combustibles fossiles (% du total)	FFC	Cette variable représente le pourcentage de la consommation totale d'énergie qui provient des combustibles fossiles, ce qui est une mesure de la dépendance à l'égard des sources d'énergie non renouvelables.
PIB	PIB	Cette variable représente le produit intérieur brut, qui est un indicateur de la performance économique d'un pays et est souvent utilisé comme indicateur de la demande d'énergie.

En utilisant ces variables dans l'estimation d'un modèle ARDL, nous cherchons à comprendre les relations entre la consommation d'énergie, la production et la croissance économique dans un pays, et comment différents facteurs tels que la croissance démographique, l'utilisation d'énergies renouvelables et l'impact sur l'environnement influencent ces relations.

L'équation du modèle ARDL qui fait l'objet de notre étude est la suivante :

$$PIB_t = \delta_0 + \sum_{i=1}^k \alpha_1 CO2_t + \sum_{i=1}^k \alpha_2 OEB_t + \sum_{i=1}^k \alpha_3 EPO_t + \sum_{i=1}^k \alpha_4 FE_t + \sum_{i=1}^k \alpha_5 FFC_t + \sum_{i=1}^k \alpha_6 FI_t + \sum_{i=1}^k \alpha_7 PG_t + \sum_{i=1}^k \alpha_8 REC_t + v_{1t}$$

$CO2_t, OEB_t, EPO_t, FE_t, FFC_t, FI_t, PG_t, REC_t$, sont les variables explicatives ou les variables de forçage à long terme, k est le nombre d'ordres de retard optimaux.

4 Résultats et discussions

Il est important d'inspecter visuellement les données de la série temporelle pour toutes les variables afin d'identifier tout modèle ou tendance dans les données. Cela peut aider à comprendre les relations entre les variables et à prendre des décisions éclairées sur le processus de modélisation.



Figure 1. Représentation graphique des séries de données pour toutes les variables

Dans l'ensemble, la représentation graphique fournit une preuve précieuse que toutes les séries ne sont pas stationnaires par nature et constitue une étape importante dans le processus d'analyse des séries temporelles. Les données de cette étude couvrent la période allant de 1993 à 2021.

Table 2. Définitions et étiquettes des variables

Variable	Ordre d'intégration	Statistiques ADF	Probabilité	Valeur critique (1%)	Valeur critique (5%)	Valeur critique (10%)
CO2	1	0.086726	0.9586	-3.699871	-2.976263	-2.627420
D(CO2)	0	-9.201807	0.0000	-3.699871	-2.976263	-2.627420
OEB	0	-3.771227	0.0082	-3.689194	-2.971853	-2.625121
D(EPO)	0	-5.016872	0.0004	-3.699871	-2.976263	-2.627420
FE	2	0.941054	0.9945	-3.699871	-2.976263	-2.627420
D(FE)	1	-1.043622	0.7226	-3.699871	-2.976263	-2.627420
D(FE,2)	0	-3.207285	0.0310	-3.711457	-2.981038	-2.629906
FFC	1	-0.774367	0.8109	-3.689194	-2.971853	-2.625121
D(FFC)	0	-5.516025	0.0001	-3.699871	-2.976263	-2.627420
FI	1	-2.023225	0.2757	-3.699871	-2.976263	-2.627420
D(FI)	0	-4.594936	0.0011	-3.699871	-2.976263	-2.627420
PIB	1	0.354527	0.9770	-3.689194	-2.971853	-2.625121
D(PIB)	0	-4.602682	0.0012	-3.711457	-2.981038	-2.629906
PG	1	-0.853471	0.7872	-3.699871	-2.976263	-2.627420
D(PG)	0	-3.248434	0.0279	-3.699871	-2.976263	-2.627420
REC	1	-1.470441	0.5335	-3.689194	-2.971853	-2.625121
D(REC)	0	-5.012155	0.0004	-3.699871	-2.976263	-2.627420

Ce tableau présente les résultats du test de Dickey-Fuller augmenté (ADF) pour chaque variable de l'ensemble de données, qui est un test couramment utilisé pour vérifier la stationnarité des données de séries temporelles. L'ordre d'intégration indique le nombre de différenciations nécessaires pour rendre la série stationnaire. La statistique ADF compare la statistique du test aux valeurs critiques aux niveaux de signification de 1 %, 5 % et 10 %. Pour ce tableau particulier, nous pouvons voir que les variables CO2, EPO, FFC, GDP et REC sont non stationnaires en niveau, tandis que les variables D (CO2), D(EPO), D(FE), D(FFC), D(FI), D(PG) et D(REC) sont stationnaires en niveau. Les variables FE et FI sont non stationnaires en niveau mais stationnaires en différence première. La variable D(FE,2) est stationnaire en deuxième différence.

Tableau 3. Résultats du test de la limite F pour l'hypothèse nulle d'absence de relation de niveau

Statistiques des tests	Valeur	Signification.	I(0) (Asymptotique : n=1000)	I(1) (Asymptotique : n=1000)
Statistiques F	4.45	10%	1.92	2.89
k	7	5%	2.17	3.21
		2.5%	2.43	3.51
		1%	2.73	3.9

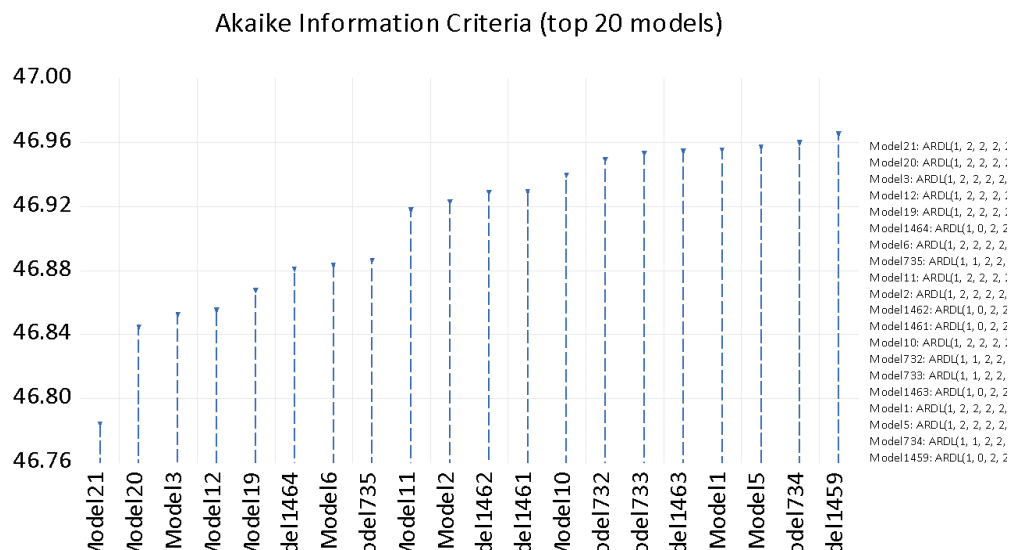
Le test de la limite F est un test statistique utilisé pour examiner la présence de relations de niveau dans les données de séries temporelles. Dans ce cas, l'hypothèse nulle est qu'il n'y a pas de relation de niveau. La statistique F a une valeur de 4,45. Ces résultats suggèrent que l'hypothèse nulle d'absence de relation de niveau ne peut être rejetée au niveau de signification de 10 %.

Tableau 4. Résultats de l'estimation du modèle ARDL pour les variables énergétiques

Variable	Coefficient	Erreur std.	t-Statistiques	Prob.*
PIB(-1)	-0.013661	0.237012	-0.057637	0.9555
CO2	239373.1	762052.7	0.314116	0.7615
CO2(-1)	-781878.5	1101187.	-0.710033	0.4979
CO2(-2)	2444838.	921992.9	2.651689	0.0292
OEB	-2.21E+08	4.11E+08	-0.537355	0.6056
EPO(-1)	-4.96E+08	3.06E+08	-1.622522	0.1433
EPO(-2)	6.13E+08	2.17E+08	2.828545	0.0222

FE	3.14E+10	1.18E+11	0.266766	0.7964
FE(-1)	-3.59E+10	1.67E+11	-0.215574	0.8347
FE(-2)	3.02E+11	1.72E+11	1.752013	0.1179
FFC	-6895837.	3.74E+08	-0.018448	0.9857
FFC(-1)	2.15E+08	6.61E+08	0.324766	0.7537
FFC(-2)	-1.44E+09	4.26E+08	-3.384076	0.0096
FI	3.51E+08	3.76E+08	0.933897	0.3777
PG	-7.68E+10	5.65E+10	-1.357811	0.2116
PG(-1)	4.17E+10	6.78E+10	0.615129	0.5556
PG(-2)	1.16E+11	4.93E+10	2.355860	0.0463
REC	5.25E+08	5.08E+08	1.032049	0.3322
C	-3.71E+12	1.24E+12	-2.986248	0.0174

Le tableau présente les résultats de l'estimation du modèle ARDL (Autoregressive Distributed Lag) pour diverses variables liées à l'énergie : Importations de combustibles (FI), Émissions de CO₂ (CO₂), Croissance de la population (PG), Consommation d'énergie renouvelable (REC), Production d'électricité à partir de sources pétrolières (EPO), Superficie forestière (FE), Consommation de combustibles fossiles (FFC) et Produit intérieur brut (PIB). Le modèle choisi comporte un terme autorégressif, deux termes de retard distribués et deux différences pour chaque variable, à l'exception de la consommation de combustibles fossiles et du PIB qui ont zéro différence. Les coefficients, les erreurs standard, les statistiques t et les valeurs p correspondantes pour chaque variable sont rapportés. Les résultats montrent que les coefficients de CO₂ (-2) et d'EPO (-2) sont significatifs au niveau de 5 %, ce qui implique que les valeurs retardées de CO₂ et d'EPO ont un impact significatif sur la variable dépendante. Le coefficient de FFC (-2) est également significatif au niveau de 1%. Cependant, les coefficients de GDP (-1), CO₂, CO₂ (-1), EPO, EPO (-1), FE, FE (-1), FFC, FFC (-1), FI, PG, PG (-1), et REC ne sont pas significatifs au niveau de 5%, ce qui suggère que ces variables n'ont pas d'impact significatif sur la variable dépendante et qu'elles peuvent être omises du modèle. Le tableau montre les coefficients estimés pour le modèle ARDL (1, 2, 2, 2, 2, 0, 2, 0), en utilisant les valeurs retardées des variables indépendantes et le terme de correction d'erreur. Les erreurs standard, les statistiques t et les probabilités qui les accompagnent donnent un aperçu de l'importance de chaque variable dans l'explication de la variable dépendante.



La figure montre le nombre optimal de retards sur la base du critère d'information d'Akaike (AIC) pour différents modèles ARDL. L'AIC est une mesure couramment utilisée pour la sélection de modèles et sert à équilibrer la qualité de l'ajustement du modèle et sa complexité. La figure montre clairement que le meilleur modèle basé sur l'AIC est ARDL (1, 2, 2, 2, 2, 0, 2, 0), qui a la valeur AIC la plus basse parmi tous les modèles considérés. Cela suggère que ce modèle offre un bon équilibre entre la qualité de l'ajustement et la complexité, ce qui en fait le modèle le mieux adapté aux données. La figure fournit des informations précieuses aux chercheurs et aux décideurs

politiques, car elle souligne l'importance de considérer le nombre optimal de retards lors de la construction de modèles ARDL afin d'obtenir les meilleurs résultats.

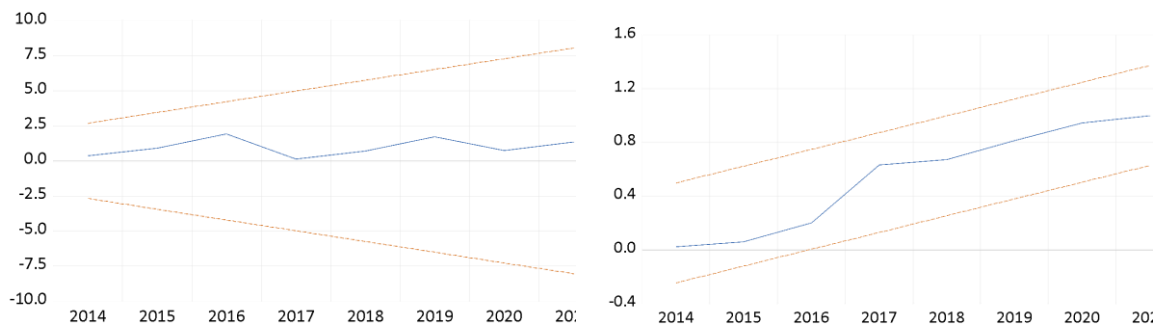


Figure 3. Représentation graphique des tests CUSUM et CUSUM carrés

La figure montre les tests CUSUM et CUSUM au carré, qui vérifient la stabilité des paramètres d'un modèle économétrique. Les résultats montrent que les deux tests sont significatifs et dans les limites, ce qui indique que les paramètres du modèle ARDL sont stables dans le temps. Cette stabilité implique que les relations entre les variables sont cohérentes et fiables, ce qui est crucial pour la précision des prévisions et l'analyse des politiques. Les résultats du modèle ARDL suggèrent des relations à court et à long terme entre la consommation de carburant et la dégradation de l'environnement au Maroc. À court terme, les coefficients significatifs de CO₂ (-2), EPO (-2) et FFC (-2) indiquent que les augmentations de la consommation de carburant, de la production d'électricité à partir de sources pétrolières et de la consommation de combustibles fossiles contribuent toutes à la croissance des émissions de CO₂. À long terme, les coefficients significatifs de PG (-2) et FE (-2) suggèrent que la croissance de la population et la superficie forestière ont un impact négatif sur les émissions de CO₂. Ces résultats impliquent que la réduction de la consommation de carburant, l'augmentation de l'utilisation des énergies renouvelables et la promotion de pratiques énergétiques durables sont essentielles pour atténuer la dégradation de l'environnement au Maroc. Ce test confirme la validité et la robustesse du modèle ARDL, suggérant que ses résultats peuvent guider les recherches futures et l'élaboration des politiques.

5 Conclusion

Ce texte présente une discussion et une conclusion d'une étude basée sur un modèle ARDL explorant l'impact des variables énergétiques sur le PIB du Maroc. Les résultats de l'étude suggèrent une corrélation significative entre certaines variables énergétiques et le PIB du pays. Deux points de vue opposés se dégagent de ces résultats. La position pro-industrielle estime que les résultats soulignent l'importance critique de l'énergie, en particulier des combustibles fossiles, pour la croissance économique marocaine, et plaide en faveur de politiques encourageant la production et la consommation d'énergie. D'autre part, le point de vue écologique interprète les résultats comme un appel aux politiques de réduction des émissions de CO₂ et à la promotion des énergies renouvelables, arguant que ces mesures peuvent soutenir la croissance économique sans nuire à l'environnement. La complexité des politiques énergétiques et environnementales au Maroc nécessite une approche équilibrée et intégrée impliquant diverses parties prenantes. Elle doit prendre en compte les spécificités locales et régionales pour développer des politiques énergétiques et environnementales durables adaptées au contexte marocain. En conclusion, le modèle ARDL révèle des impacts significatifs de certaines variables énergétiques sur le PIB du Maroc. Par exemple, les émissions retardées de CO₂ et la production d'électricité à partir de sources pétrolières affectent positivement le PIB, tandis que la consommation retardée de combustibles fossiles l'affecte négativement. Cependant, d'autres variables énergétiques telles que la superficie forestière, les importations de combustibles et la consommation d'énergies renouvelables n'ont pas d'effet significatif. Ces résultats sont spécifiques au modèle et aux données. Compte tenu des limites du modèle ARDL, l'utilisation d'autres approches méthodologiques est suggérée pour valider et affiner ces résultats, en fournissant une compréhension plus complète de l'impact des variables énergétiques sur le PIB et en aidant à prendre des décisions politiques et économiques éclairées au Maroc.

REFERENCES

- [1] Adom, P. K., Bekoe, W., Amuakwa-Mensah, F., Mensah, J. T. et Botchway, E. (2012). Émissions de dioxyde de carbone, croissance économique, structure industrielle et efficacité technique : Empirical evidence from Ghana, Senegal, and Morocco on the causal dynamics. *Energy*, 47(1), 314-325.
- [2] Bouyghrissi, S., Berjaoui, A. et Khanniba, M. (2021). Le lien entre la consommation d'énergie renouvelable et la croissance économique au Maroc. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 5693-5703.
- [3] Chikri, H., Moghar, A., Kassou, M. et Hamza, F. (2021). Nouvelles données du modèle NARDL sur les émissions de CO₂ : Cas du Maroc. Dans *E3S Web of Conferences* (Vol. 234, p. 00026). EDP Sciences
- [4] Merrill, L. (2015). Lutter contre les subventions aux combustibles fossiles et le changement climatique : Nivelier les règles du jeu en matière d'énergie. Conseil nordique des ministres.
- [5] Mohamad Taghvaei, V. et Parsa, H. (2015). Economic growth and environmental pollution in Iran : evidence from manufacturing and services sectors (Croissance économique et pollution environnementale en Iran : données sur les secteurs de l'industrie et des services).
- [6] Nazlioglu, S., Erdem, C. et Soytas, U. (2013). Volatility spillover between oil and agricultural commodity markets. *Energy Economics*, 36, 658-665.
- [7] Pesaran, M. H. et Shin, Y. (1999). An autoregressive distributed lag modeling approach to cointegration analysis. Chapitre 11 dans M. H. Pesaran et Y. Shin (eds.), *An Introduction to the Time Series and Panel Data*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 271-313.
- [8] Qayyum, M., Yu, Y., Nizamani, M. M., Raza, S., Ali, M. et Li, S. (2022). Financial instability and CO₂ emissions in India: evidence from ARDL bound testing approach. *Energy & Environment*, 0958305X211065019.
- [9] Rafindadi, A. A., & Ozturk, I. (2017). Impacts de la consommation d'énergie renouvelable sur la croissance économique allemande : Evidence from combined cointegration test. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 1130-1141.
- [10] Salahuddin, M., Alam, K., Ozturk, I., & Sohag, K. (2018). Les effets de la consommation d'électricité, de la croissance économique, du développement financier et de l'investissement direct étranger sur les émissions de CO₂ au Koweït. *Renewable and sustainable energy reviews*, 81, 2002-2010.
- [11] Sarkodie, S. A. et Strezov, V. (2019). Effet des investissements directs étrangers, du développement économique et de la consommation d'énergie sur les émissions de gaz à effet de serre dans les pays en développement. *Science of the Total Environment*, 646, 862-871.
- [12] Van de Ven, D. J. et Fouquet, R. (2017). Les chocs historiques des prix de l'énergie et leurs effets changeants sur l'économie. *Energy Economics*, 62, 204-216.
- [13] York, R. (2012). Effets asymétriques de la croissance et du déclin économiques sur les émissions de CO₂. *Nature Climate Change*, 2(11), 762-764.