

Consommation d'énergies renouvelables et agriculture : analyse empirique à l'aide du modèle ARDL pour l'économie marocaine.

Renewable energy consumption and Agriculture: Empirical analysis using ARDL model for Morocco economy.

Auteur 1 : LAMIAA AATTAR.

Auteur 2 : SAAD ELOUARDIRHI.

LAMIAA AATTAR, (Doctorante)
FSJES SOUISSI – UNIVERSITE MOHAMMED V DE RABAT

SAAD ELOUARDIRHI, (Professeur de l'enseignement supérieur)
FSJES SOUISSI – UNIVERSITE MOHAMMED V DE RABAT

Déclaration de divulgation : L'auteur n'a pas connaissance de quelconque financement qui pourrait affecter l'objectivité de cette étude.

Conflit d'intérêts : L'auteur ne signale aucun conflit d'intérêts.

Pour citer cet article : AATTAR .L & ELOUARDIRHI .S (2025). « Consommation d'énergies renouvelables et agriculture : analyse empirique à l'aide du modèle ARDL pour l'économie marocaine », African Scientific Journal « Volume 03, Num 32 » pp: 0432 – 0449.



DOI : 10.5281/zenodo.17315172
Copyright © 2025 – ASJ



Résumé

Cette étude vise à évaluer les impacts de la consommation d'énergies renouvelables sur le secteur agricole entre 1982 et 2016 au Maroc. À cette fin, les relations de causalité à long et à court terme entre les émissions de CO₂ par habitant, le PIB réel, la consommation d'énergies renouvelables et non renouvelables, l'ouverture commerciale et la valeur ajoutée agricole par habitant ont été analysées à l'aide de l'approche de cointégration autorégressive à retard distribué (ARDL). Les tests de racine unitaire augmentée de Dickey-Fuller et de Phillips-Perron ont été utilisés pour vérifier la stationnarité des variables, tandis que le test de cointégration de Johansen a été appliqué pour examiner la robustesse des relations à long terme.

Les données ont révélé qu'à long terme, le PIB réel, la consommation d'énergies renouvelables et non renouvelables, sont positivement et significativement corrélés aux émissions de CO₂ par habitant. En revanche, la valeur ajoutée agricole par habitant présente une relation négative et significative avec ces émissions. Les résultats indiquent qu'une augmentation de 1 % de la consommation d'énergies renouvelables entraîne une hausse de seulement 0,068225 % des émissions de CO₂. À l'inverse, une augmentation de 1 % de la consommation d'énergies non renouvelables conduit à une augmentation de 0,639254 % des émissions de CO₂.

Dans les relations à court terme, toutes les variables sont significatives, à l'exception de l'ouverture commerciale par habitant, qui présente un effet négatif mais non significatif sur la variable dépendante.

Les données suggèrent que le gouvernement marocain devrait prendre des mesures pour renforcer l'utilisation des ressources énergétiques renouvelables dans le secteur agricole, car plus le pourcentage d'émissions de dioxyde de carbone est élevé, plus la valeur ajoutée du secteur agricole sera négative. De nouvelles politiques doivent donc être mises en place pour réduire les émissions de dioxyde de carbone.

Mots clés : Agriculture, Commerce, Émissions de CO₂, Énergies renouvelables, Énergies non renouvelables, Croissance économique, Maroc, Modèle ARDL, Énergies non renouvelables.

Abstract

This study aims to assess the impacts of renewable energy consumption on the agricultural sector between 1982 and 2016 in Morocco. To this end, the long- and short-term causal relationships between per capita CO₂ emissions, real GDP, renewable and non-renewable energy consumption, trade openness, and per capita agricultural value added were analyzed using the autoregressive distributed lag (ARDL) cointegration approach. The augmented Dickey-Fuller and Phillips-Perron unit root tests were used to verify the stationarity of the variables, while the Johansen cointegration test was applied to examine the robustness of the long-term relationships.

The data revealed that, in the long term, real GDP and renewable and non-renewable energy consumption are positively and significantly correlated with per capita CO₂ emissions. In contrast, agricultural value added per capita has a negative and significant relationship with these emissions. The results indicate that a 1% increase in renewable energy consumption leads to an increase of only 0.068225% in CO₂ emissions. Conversely, a 1% increase in non-renewable energy consumption leads to an increase of 0.639254% in CO₂ emissions.

In short-term relationships, all variables are significant, except for per capita trade openness, which has a negative but insignificant effect on the dependent variable.

The data suggest that the Moroccan government should take measures to increase the use of renewable energy resources in the agricultural sector, as the higher the percentage of carbon dioxide emissions, the more negative the added value of the agricultural sector will be. New policies must therefore be put in place to reduce carbon dioxide emissions.

Keywords : Agriculture, Trade, CO₂ emissions, Renewable energies, Non-renewable energies, Economic growth, Morocco, ARDL model, Non-renewable energies.

Introduction

Le secteur agricole occupe une place primordiale dans l'économie et la société marocaines. Il constitue une source importante de devises grâce aux exportations, notamment de tomates fraîches ou réfrigérées, de préparations et conserves de sardines, de haricots, de framboises, de sucre de canne ou de betterave, de saccharose. De plus, selon les données disponibles, le secteur agricole est le principal employeur de 1,5 million d'agriculteurs, soit près de 40 % de l'emploi rural, et la source de revenus de 74,5 % de la population rurale.

Le secteur agricole au Maroc représente environ 13 % du PIB national et joue un rôle fondamental dans l'emploi et les activités économiques. Afin d'assurer une croissance durable, le pays doit identifier les facteurs contribuant à la réduction de la pollution environnementale et mettre en œuvre les mesures appropriées. Les énergies renouvelables sont devenues une composante essentielle de la consommation énergétique mondiale. (Ministère de l'agriculture, avril 2018)

L'agriculture marocaine dispose d'atouts importants : un climat favorable, une végétation variée, un potentiel foncier et hydrique significatif, ainsi qu'un capital humain important. Par ailleurs, le Maroc est très ouvert au commerce extérieur, qui représente environ 87 % de son PIB (Banque mondiale, 2019). Le processus d'ouverture économique et d'intégration dans l'économie mondiale se consolide notamment grâce à la conclusion d'accords de libre-échange avec les États-Unis, l'Union européenne, l'Association européenne de libre-échange (AELE), la Turquie, les pays membres de la Ligue arabe dans le cadre de la Grande zone de libre-échange arabe, et les pays arabes méditerranéens dans le cadre de l'Accord d'Agadir (ALEPAM).

Au Maroc, la production agricole dépend fortement de l'énergie pour l'irrigation des cultures, l'alimentation des machines et la production d'engrais. La consommation d'énergie (directe et indirecte) représente en moyenne plus de 20 % des coûts d'exploitation d'une exploitation agricole. La croissance rapide de la consommation d'énergie du secteur agricole justifie la mise en œuvre de technologies et de mesures permettant de réaliser des gains d'efficacité énergétique. L'agriculture représente 7 % de la consommation nationale d'énergie, un chiffre qui devrait augmenter avec les projets entrepris dans le cadre du Plan Maroc Vert. Cette consommation se subdivise en énergie directe (fioul, propane, électricité) et indirecte (utilisation d'intrants et impact énergétique des investissements dans les bâtiments et les équipements). Outre son impact négatif sur la qualité environnementale du territoire rural, la

consommation d'énergie a un impact sur la compétitivité économique du secteur agricole marocain en alourdissant les coûts d'exploitation des producteurs agricoles. (AMEE)

Consciente de l'importance des enjeux énergétiques pour le développement durable de l'agriculture, l'Agence Marocaine de l'Efficacité Énergétique (AMEE) a mis en place plusieurs projets visant à améliorer l'efficacité énergétique dans ce secteur. L'objectif est d'atteindre une réduction d'environ 5,4 % de la consommation énergétique du secteur agricole dans le bilan national global à l'horizon 2030 fella-trade.com.

Le développement des énergies renouvelables au Maroc est au cœur de la politique énergétique nationale, visant à diversifier les sources d'approvisionnement énergétique. L'objectif est d'atteindre une part de 42 % d'énergies renouvelables dans la capacité électrique installée d'ici 2020, avec une ambition portée à 52 % à l'horizon 2030 environnement.gov.ma.

Parallèlement, l'efficacité énergétique est une priorité de la stratégie énergétique nationale. L'ambition est de réduire la consommation d'énergie de 12 % d'ici 2020 et de 20 % d'ici 2030 amee.ma.

Dans cette perspective, des plans d'action en matière d'efficacité énergétique ont été mis en place dans tous les secteurs clés, notamment les transports, l'industrie et la construction.

L'agriculture est confrontée à un double défi majeur : nourrir une population mondiale croissante tout en réduisant son empreinte écologique et en préservant les ressources naturelles pour les générations futures. Elle peut avoir un impact significatif sur l'environnement, notamment par la pollution et la dégradation des sols, de l'eau et de l'air. Ces effets négatifs sont graves et comprennent la contamination des cours d'eau, l'érosion des sols, la perte de biodiversité et les émissions de gaz à effet de serre. Garantir un équilibre entre durabilité environnementale et croissance économique est devenu un enjeu politique majeur ces dernières années.

L'agriculture est responsable d'environ 24 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre, un chiffre qui inclut les activités agricoles, l'élevage, la déforestation et d'autres changements d'affectation des sols Open Knowledge FAO. Les principales sources d'émissions proviennent de la fermentation entérique des ruminants (méthane), de l'utilisation d'engrais azotés (protoxyde d'azote) et de la gestion des sols agricoles. Il est important de noter que cette estimation ne tient pas compte du dioxyde de carbone (CO₂) que les écosystèmes agricoles retirent de l'atmosphère en séquestrant le carbone dans la biomasse, les matières organiques mortes et les sols, ce qui compense environ 20 % des émissions de ce secteur Open Knowledge FAO.

Introduction

La transition énergétique constitue un enjeu majeur pour les pays en développement, où la croissance économique et les impératifs environnementaux doivent être conciliés. Au Maroc, l'agriculture joue un rôle central dans l'économie, mais elle est également confrontée aux défis liés aux émissions de CO₂ et à l'usage des énergies renouvelables. Cependant, les interactions entre la consommation d'énergies renouvelables, l'agriculture et les émissions de CO₂ au Maroc demeurent insuffisamment explorées.

Cette étude a pour objectif d'évaluer les impacts de la consommation d'énergies renouvelables sur le secteur agricole entre 1982 et 2016 au Maroc. Pour ce faire, elle analyse les relations de causalité à long et à court terme entre les émissions de CO₂ par habitant, le PIB réel, la consommation d'énergies renouvelables et non renouvelables, l'ouverture commerciale et la valeur ajoutée agricole par habitant, en utilisant l'approche de cointégration autorégressive à retard distribué (ARDL). Les tests de racine unitaire augmentée de Dickey-Fuller et de Phillips-Perron ont été appliqués pour vérifier la stationnarité des variables, tandis que le test de cointégration de Johansen a permis d'examiner la robustesse des relations à long terme.

L'article est structuré comme suit : la section 2 présente la revue de littérature sur les relations entre énergies renouvelables, agriculture et émissions de CO₂ ; la section 3 décrit la méthodologie employée, y compris les modèles économétriques et les sources de données ; la section 4 expose les résultats obtenus et leur analyse ; enfin, la section 5 discute des implications politiques et propose des recommandations pour une intégration accrue des énergies renouvelables dans le secteur agricole marocain.

1- Méthodes et données utilisées pour l'étude

Justification de l'approche méthodologique ARDL

L'adoption de l'approche de cointégration autorégressive à retard distribué (ARDL) repose sur une volonté de concilier rigueur théorique et flexibilité empirique dans l'analyse des relations dynamiques entre les variables économiques et environnementales. Cette méthode s'inscrit dans une perspective positiviste, visant à identifier des relations causales vérifiables entre les phénomènes étudiés. Elle permet de modéliser simultanément les effets à court et à long terme, offrant ainsi une vision complète des interactions entre la consommation d'énergies renouvelables, le secteur agricole et les émissions de CO₂. L'ARDL est particulièrement adaptée aux séries temporelles de longue période, comme celles utilisées dans

cette étude, car elle ne nécessite pas de tests préalables de racine unitaire et peut intégrer des variables intégrées d'ordres différents (I(0) et I(1)).

Cette approche permet également de surmonter les limitations des modèles traditionnels en offrant une estimation robuste même avec des échantillons de taille réduite, ce qui est pertinent dans le contexte marocain où les données disponibles peuvent être limitées (MDPI). De plus, l'ARDL facilite l'interprétation des résultats grâce à sa représentation en modèle de correction d'erreur (ECM), qui distingue clairement les ajustements à court terme et les relations d'équilibre à long terme. Ainsi, le choix de cette méthodologie s'appuie sur sa capacité à fournir des analyses économétriques fiables et pertinentes pour éclairer les politiques publiques en matière d'énergie et d'agriculture.

Sources des données et description des variables.

Base de données annuelle sur le Maroc couvrant la période 1982-2016. Les variables utilisées dans cette étude sont décrites dans le tableau 1. L'analyse empirique s'appuie sur les données des indicateurs du développement mondial (WDI) et celles relatives à l'énergie renouvelable et non renouvelable par habitant proviennent de l'Agence américaine d'information sur l'énergie (2015). Les tendances des variables étudiées sont illustrées dans la figure 1.

Notre examen porte, dans le cas du Maroc, sur l'association dynamique qui peut exister entre les émissions de CO₂ par habitant, le PIB réel, la consommation d'énergies renouvelables et non renouvelables, l'ouverture commerciale et la valeur ajoutée agricole. Nous prenons le logarithme naturel de toutes les variables considérées afin que tous les coefficients estimés puissent être interprétés comme des élasticités.

Notre modèle peut être exprimé comme suit :

$$CO_2 = f(PIB, ERC, NREC, TR, AVA) \quad (1)$$

Notre équation log-linéaire à long terme est représentée comme suit :

$$CO_2 = \alpha_0 + \alpha_1 PIB + \alpha_2 ERC + \alpha_3 NREC + \alpha_4 TR + \alpha_5 AVA + \varepsilon_t \quad (2)$$

L'application du logarithme naturel à l'équation 2 afin de réduire l'instabilité et la multicollinéarité des données temporelles a permis d'obtenir le modèle log-linéaire suivant :

$$\ln CO_2 = \alpha_0 + \alpha_1 \ln GDP + \alpha_2 \ln ERC + \alpha_3 \ln NREC + \alpha_4 \ln TR + \alpha_5 \ln AVA + \varepsilon_t \quad (3)$$

Tableau 1 : Variables étudiées et leurs explications

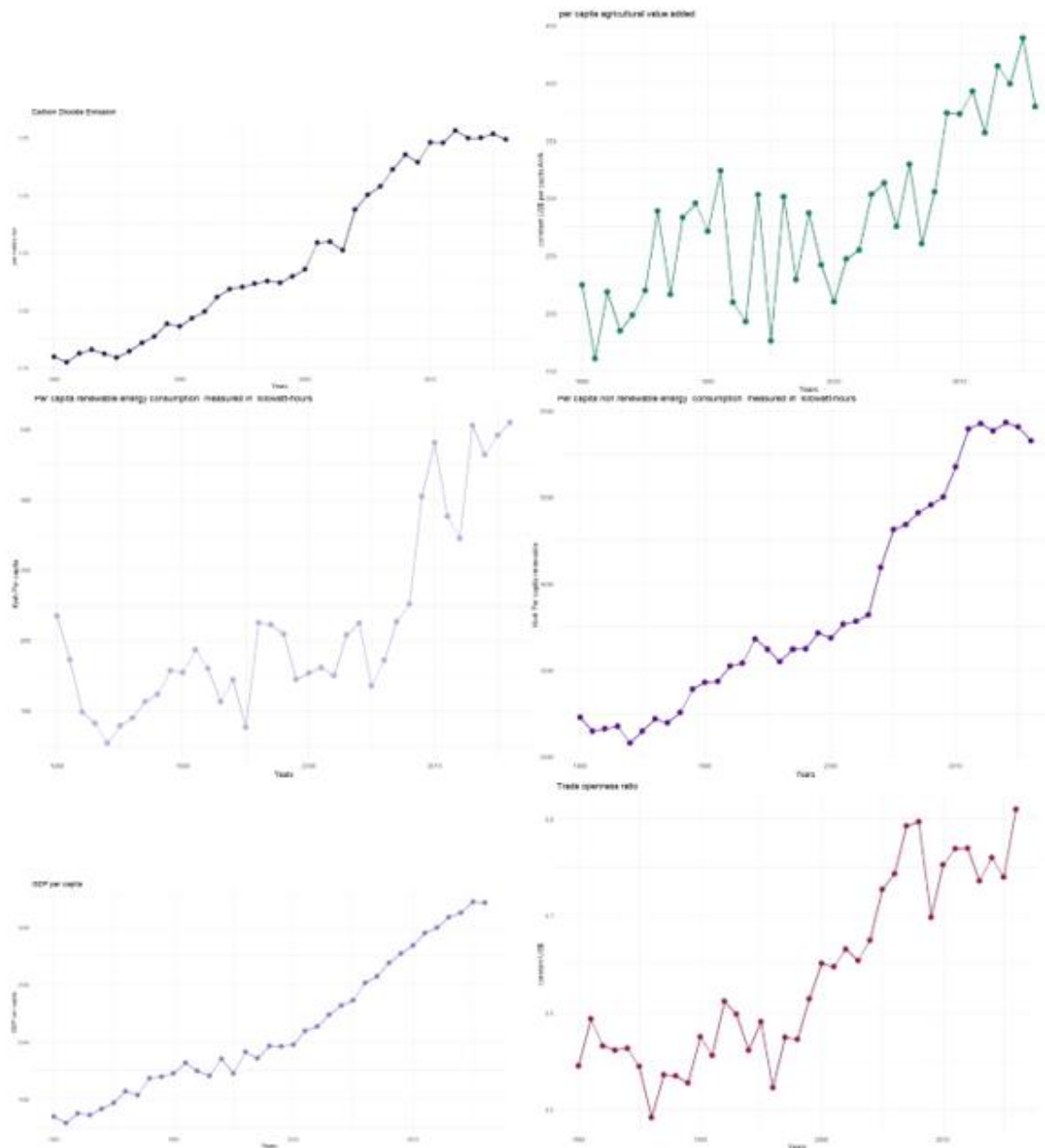
Variable	Explanations	Source of data
CO ₂	Per capita carbon dioxide emissions measured in metric tons.	WDI
GDP	Per capita real measured at constant 2010 US\$.	WDI
TR	Trade openness ration.	WDI
AVA	Per capita agriculture value added measured in constant US\$.	WDI
ERC	Per capita renewable energy consumption.	the U.S Energy Information Administration
NREC	Per capita non-renewable energy consumption.	the U.S Energy Information Administration

La consommation d'énergies renouvelables par habitant est exprimée en milliards de kilowattheures et englobe l'énergie géothermique, solaire, éolienne, marémotrice et houlomotrice, ainsi que la biomasse, les déchets et l'énergie hydroélectrique. La consommation d'énergies non renouvelables par habitant, également mesurée en milliards de kilowattheures, comprend le pétrole, le gaz naturel et le charbon.

Compte tenu des conditions spécifiques du Maroc et de la disponibilité des données, l'indicateur choisi pour mesurer l'ouverture commerciale est l'interdépendance commerciale. La formule de calcul est la suivante :

$$TRt = (Importationst + Exportationst) / PIBt \text{ à } t = 1980, \dots, 2011 \quad (4)$$

Figure 1 : Tendances des variables utilisées dans l'étude



Méthodologie. L'approche du test des limites ARDL

L'approche du test des limites ARDL a été introduite pour la première fois par Pesaran et Shin. Elle a ensuite été améliorée par Pesaran et al. et utilisée par Narayan dans une étude sur le modèle de la demande touristique. Analyses des relations à long terme et à court terme entre les émissions de CO₂ par habitant au Maroc et le PIB réel, la consommation d'énergies renouvelables et non renouvelables, l'ouverture commerciale et la valeur ajoutée agricole. Les interactions entre les relations à long terme et à court terme ont été examinées à l'aide de

l'approche ARDL avec le modèle de correction d'erreur sans restriction (UECM). Dans cet article, nous avons approximé le modèle séparément pour les relations à long terme et à court terme. La relation à long terme entre les variables étudiées a été spécifiée à l'aide de l'équation 3 comme suit :

$$\begin{aligned} \Delta \ln CO_2 = & \lambda_0 + \sum_{i=1}^a \delta_{1j} \Delta \ln CO_{2e_{t-k}} + \sum_{i=1}^b \delta_{2j} \Delta \ln GDP_{t-k} + \sum_{i=1}^c \delta_{3j} \Delta \ln ERC_{t-k} + \sum_{i=1}^d \delta_{4j} \Delta \ln NREC_{t-k} \\ & + \sum_{i=1}^e \delta_{5j} \Delta \ln TR_{t-k} + \sum_{i=1}^f \delta_{6j} \Delta \ln AV A_{t-k} + \beta_1 \ln GDP_{t-1} + \beta_2 \ln CO_{2e_{t-1}} + \beta_3 \ln ERC_{t-1} \\ & + \beta_4 \ln NREC_{t-1} + \beta_5 \ln TR_{t-1} + \beta_6 \ln AV A_{t-1} + \epsilon_t \end{aligned} \quad (5)$$

où 0 est l'interception constante, a, b, c, d, e et f illustrent l'ordre des décalages, Δ est l'opérateur pour la première différence et ϵ_t est le terme d'erreur. Dans l'analyse, les co-mouvements des variables ont été estimés sur la base de la statistique F. L'hypothèse nulle et la relation à long terme seraient rejetées si l'estimation de la statistique F était supérieure à la valeur critique supérieure.

De même, la relation à court terme entre les variables étudiées a été déterminée à l'aide de l'approche ARDL avec le modèle de correction d'erreur (ECM) et spécifiée comme suit :

$$\begin{aligned} \Delta \ln CO_2 = & \lambda_0 + \sum_{i=1}^g \delta_{1j} \Delta \ln CO_{2e_{t-k}} + \sum_{i=1}^h \delta_{2j} \Delta \ln GDP_{t-k} + \sum_{i=1}^i \delta_{3j} \Delta \ln ERC_{t-k} + \sum_{i=1}^j \delta_{4j} \Delta \ln NREC_{t-k} \\ & + \sum_{i=1}^k \delta_{5j} \Delta \ln TR_{t-k} + \sum_{i=1}^l \delta_{6j} \Delta \ln AV A_{t-k} + \alpha \text{Ecm}_{t-1} + \epsilon_t \end{aligned} \quad (6)$$

Test de racine unitaire

En ce qui concerne la racine unitaire pour cet article, le test de racine unitaire augmenté de Dickey-Fuller (ADF) [?] et le test de racine unitaire de Phillips-Perron ? ont été utilisés pour déterminer si certaines variables de l'étude présentaient une intégration d'ordre 2. Le modèle ARDL n'impliquait aucun test préalable de stationnarité des variables par le biais du test de racine unitaire. L'approche de test des limites ARDL était nulle dans le cas I(2) pour les variables utilisées. À l'aide de l'équation 3, nous avons effectué le test de racine unitaire comme suit :

$$\Delta S_t = \lambda_0 + \delta_0 T + \delta_1 S_{t-1} + \sum_{i=1}^m \Delta S_{t-1} + \mu_t \quad (7)$$

Où S désigne l'utilisation pour le test de racine unitaire, T représente la tendance linéaire, Δ illustre la première différence, t mesure le temps, μt indique le terme d'erreur et m représente les résidus de bruit blanc à obtenir.

2- Résultats empiriques et discussion

Cette section présente les résultats empiriques obtenus à l'aide de la méthodologie développée, incluant l'interprétation et la discussion des conclusions. Il aborde successivement les statistiques descriptives, les résultats des tests de racine unitaire, les critères de sélection des modèles, les relations à long et à court terme, l'approche du test de cointégration par les limites, les tests diagnostiques et le graphique du multiplicateur dynamique.

Les résultats des statistiques descriptives et de la matrice de corrélation sont présentés dans le tableau 2. Les tests de normalité de Jarque-Bera indiquent que les variables suivent une distribution normale. L'analyse de la matrice de corrélation révèle des relations positives significatives entre les variables étudiées

Tableau 2 : Résultats des statistiques sommaires et de la matrice de corrélation

Variabes	LnCO2	LnGDP	lnERC	LnNREC	LnTR	LnAVA
Mean	0.169843	7.617425	5.218426	8.307761	-0.459153	5.610904
Median	0.119563	7.582226	5.143892	8.258792	-0.491518	5.646039
Maximum	0.578349	8.077774	6.233110	8.758534	-0.210935	6.084716
Minimum	-0.255880	7.166648	3.976318	7.883329	-0.710394	5.077839
Std. dev.	0.290087	0.277913	0.585207	0.288155	0.145738	0.260208
Skewness	0.061997	0.178682	0.136418	0.265405	0.238838	-0.078082
Kurtosis	1.587149	1.869533	2.420153	1.743793	1.703947	2.148507
Jarque-Bera	3.101099	2.167066	0.633105	2.867217	2.941390	1.155368
Probability	0.212131	0.338398	0.728657	0.238447	0.229766	0.561197
LnCO2	1					
LnGDP	0.982047	1				
lnERC	0.789006	0.827303	1			
LnNREC	0.9887853	0.9834811	0.825939	1		
LnTR	0.919110	0.885050	0.697382	0.917622	1	
LnAVA	0.7487956	0.835370	0.792694	0.77930193	0.5664827768	1

Résultats des tests de racine unitaire

Afin de mieux traiter les données, des tests de racine unitaire sont utilisés pour tester l'ordre d'intégration de chaque variable. Cette étude a utilisé deux tests de racine unitaire largement

utilisés pour vérifier la stationnarité des données, à savoir ADF et PP. Il est essentiel de résoudre le problème de la racine unitaire, car cela permet de déterminer quel modèle économétrique doit être appliqué pour l'analyse.

Les résultats obtenus dans le tableau 3 indiquent que toutes les variables présentaient une intégration d'ordre

1. Cela permet d'utiliser le modèle autorégressif à lags distribués (ARDL) pour trouver la relation à long terme, à court terme et de cointégration entre les variables grâce à une approche par test de limite.

Sélection de l'ordre de retard optimal

Avant l'estimation du modèle, il est nécessaire de sélectionner l'ordre de retard optimal. Comme le montre le tableau 4, les critères AIC, HQIC, SBIC et le test du rapport de vraisemblance LL. Dans cet article, l'ordre de retard maximal de chaque variable a été limitée à 2, et finalement ARDL (2,2,0,1,1,2) a été identifié comme étant le plus approprié. Les longueurs de décalage appliquées lors du test du modèle ont été sélectionnées sur la base des critères d'information d'Akaike (AIC).

Tableau 3 : Résultats des tests de racine unitaire

Variables	ADF		PP		Order(s) Of Integration	
	Level t-statistics (P-values)	First Difference (P-values)	Level t-statistics (P-values)	First Difference (P-values)	ADF	PP
LnCO2	-2.386134 (0.3801)	-6.456717 (0.0000)***	-0.386133 (0.9011)	-6.451858 (0.0000)***	I(1)	I(1)
LnGDP	7.187918 (1.0000)	-12.86311 (0.0000)***	-3.476655 (0.0573)	-11.76637 (0.0000)***	I(1)	I(1)
lnERC	-1.298869 0.6195	-6.933937 (0.0000)***	-1.209640 (0.6596)	-7.561610 (0.0000)***	I(1)	I(1)
LnNREC	0.098406 (0.9612)	-5.556953 (0.0001)***	0.060124 (0.9580)	-5.556953 (0.0001)***	I(1)	I(1)
LnTR	-1.265757 (0.1853)	-8.569825 (0.0000)***	-0.539302 (0.8716)	-8.317255 (0.0000)	I(1)	I(1)
LnAVA	-1.396380 (0.9375)	-13.05219 (0.0000)***	0.615503 (0.8052)	-13.05219 (0.0000)***	I(1)	I(1)

Note: *, **, *** shows level of significance at 10%, 5% and 1% correspondingly.

Test de limite ARDL pour l'analyse de cointégration

Le tableau 4 présente les résultats de l'approche de test de limite pour vérifier les résultats du test de cointégration de Johansen entre les variables. La valeur F-stats de 5,232316 confirme l'existence d'une relation de cointégration entre les émissions de CO2 par habitant au Maroc

et le PIB réel, la consommation d'énergies renouvelables et non renouvelables, l'ouverture commerciale et la valeur ajoutée agricole pour une limite supérieure de 10 %, 5 %, 2,5 % et 1 % de niveau de signification.

Estimation et interprétation des paramètres

L'existence d'une cointégration entre les variables ayant été confirmée, le test de limite ARDL a été utilisé pour analyser les relations à court et à long terme entre les émissions de CO₂ par habitant et d'autres variables. Le tableau 5 résume les résultats des équations 2 et 3, qui sont basées sur la période d'échantillonnage comprise entre 1981

Tableau 4 : Test de limite ARDL pour la cointégration

Test Statistics	Value	
F-Statistics	5.232316***	
Critical Value Bounds		
Significance	I(0) Bound	I(1) Bound
10%	0.578349	8.077774
5%	-0.255880	7.166648
2.5%	0.290087	0.277913
1%	0.061997	0.178682

*, **, ***, **** indicates significance level at 10%, 5%, 2.5% and 1% correspondingly.

Le panneau A du tableau 5 montre l'élasticité des variables dans l'analyse à long terme. Le coefficient de la valeur ajoutée agricole par habitant était de -0,54113 avec une valeur p de 0,0001, ce qui est négatif et significatif à un niveau de 1 %.

Les résultats ont également montré que la consommation par habitant, renouvelable et non renouvelable, et la production réelle du PIB par habitant avaient un lien positif avec les émissions de CO₂ par habitant : les coefficients étaient respectivement de 0,06822, 0,63925 et 0,622916, avec des valeurs p de 0,0432, 0,0003 et 0,0014.

Les données à long terme ont montré qu'une augmentation de 1 % des énergies renouvelables, de la consommation d'énergies non renouvelables et du PIB réel avait un effet positif sur les émissions de CO₂ par habitant, qui ont augmenté respectivement de 0,62291 %, 0,639254 % et 0,62291 %. En outre, les résultats ont également indiqué que la valeur ajoutée agricole et l'ouverture commerciale avaient un effet négatif sur les émissions de CO₂, les coefficients étant respectivement de -0,541139 et -0,041977. Cependant, les relations à long terme entre l'ouverture commerciale par habitant et la variable dépendante ne sont pas significatives.

Les résultats ont montré qu'une augmentation de la consommation d'énergies renouvelables entraînerait une diminution des émissions de dioxyde de carbone et ont indiqué que les ressources énergétiques améliorent et stimulent la croissance économique. En outre, l'application des énergies renouvelables dans le secteur agricole aura par la suite un impact sur la réduction des émissions de CO₂ à long terme.

En effet, une augmentation de 1 % des énergies renouvelables a un impact positif de 0,068225 % sur les émissions de CO₂. En revanche, une augmentation de 1 % des énergies non renouvelables entraînera une augmentation des émissions de carbone de 0,639254. Il apparaît clairement que les deux pourcentages sont différents en fonction de l'impact des deux types d'énergies. Le mix énergétique pourrait contribuer à réduire les émissions de dioxyde de carbone au Maroc. Cela permettrait d'atteindre l'objectif de développement durable et pourrait contribuer aux efforts d'atténuation du changement climatique.

Dependent Variable: LnCO2			
34 observations from 1982 to 2016 were used for the estimation			
Variable	Coefficient	Standard error	t-Ratio(Prob)
Panel A : Long run estimation			
LnGDP	0.622916**	0.169986	3.664510(0.0014)
LnERC	0.068225**	0.031714	2.151279(0.0432)
LnNERC	0.639254***	0.147195	4.342908(0.0003)
LnAVA	-0.541139***	0.084133	-6.431924(0.0000)
LnTR	-0.041977	0.118132	-0.355341(0.7259)
Cons	-7.256620	0.723655***	-10.02773(0.0000)
Panel B : Short Run Estimation			
D(LnCO ₂ (-1))	-0.172267	0.110741	-1.555583(0.1347)
D(LnNERC)	0.611151***	0.094188	6.488621(0.0000)
D(LnNERC(-1))	0.388740	0.103580***	3.753035(0.0012)
D(LnTR))	-0.211788	0.106633	1.222398 (0.2351)
D(LnAVA)	-0.211788***	0.054607	-3.878393(0.0009)
D(LnGDP)	0.822395***	0.195900	4.198030 (0.0004)
D(LnGDP(-1))	0.590657**	0.159550	3.702006(0.0013)
CointEq(-1)	-0.826043***	0.120374	-6.862277(0.0000)
R-squared: 0.758486		Adjusted R-squared: 0.695871	
Log likelihood: 94.10293		Durbin-Watson : 2.088731	
S.E. of regression: 0.018726			
*** Significance at 1% level.			
** Significance at 5% level.			
* Significance at 10% level.			

Une croissance de 1 % du PIB s'accompagne presque invariablement d'une augmentation de 0,622916 % des émissions de CO₂. Cela signifie qu'il existe une relation quasi mécanique entre le PIB et les émissions de CO₂. Mais à long terme, on observe un changement qui concentre les émissions de CO₂ avec l'application des énergies renouvelables dans le secteur agricole, on peut observer une diminution des gaz à effet de serre de 0,822395 à court terme à 0,622916 à long terme.

Le panneau B du tableau 5 présente les résultats de l'analyse à court terme. Le modèle ECM exige une cointégration entre les variables ; la présence d'une cointégration freine la dynamique à court terme et la relation avec les coefficients est utilisée pour mesurer la vitesse d'ajustement.

Les résultats de l'analyse à court terme ont révélé que la valeur ajoutée de l'agriculture a une influence négative sur les émissions de CO₂ et que le coefficient (-0,54113) a une valeur de probabilité (0,5497), tandis que la variable « consommation d'énergies renouvelables non énergétiques » et le PIB réel ont montré un lien constructif avec les émissions de CO₂, avec des coefficients (0,61115) et (0,82239) et des valeurs de probabilité respectivement de (0,0001) et (0,0004).

Notre modèle économétrique : 5 explique que les résultats de la dynamique à court terme ont montré que toutes les variables, à l'exception de la tendance à l'ouverture, sont significatives à leur niveau et au premier niveau.

Le coefficient estimé pour les énergies renouvelables n'existe pas à court terme ni à long terme. En effet, le Maroc fait actuellement ses premiers pas dans la transition énergétique vers les énergies renouvelables, et ce n'est qu'un début. Avec une stratégie « ambitieuse » visant à développer le secteur énergétique à hauteur de 40 milliards de dollars d'ici 2030, le Maroc souhaite voir encore plus grand afin de mieux se positionner dans le domaine des énergies renouvelables.

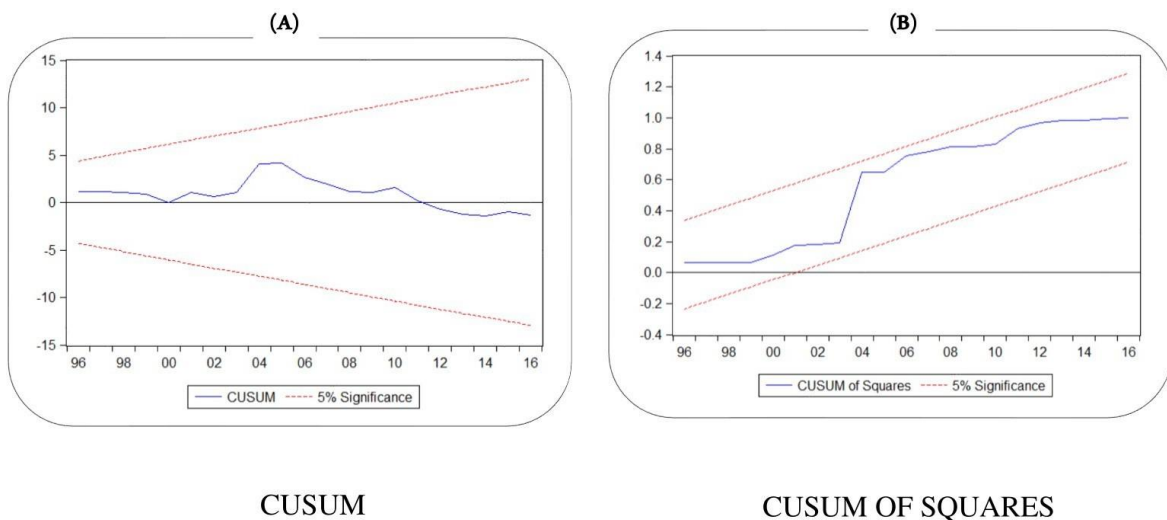
Le coefficient d'ouverture à court terme ou à long terme n'est pas significatif et négatif, car l'économie marocaine est une économie caractérisée par une grande ouverture vers l'extérieur. Depuis le début des années 1980, elle a adopté une politique d'ouverture économique et financière visant à renforcer la libéralisation du commerce extérieur, à mieux intégrer l'économie marocaine dans l'économie mondiale et à contribuer à la consolidation du système commercial multilatéral. Mais ce pays affiche une balance commerciale structurellement négative, qui continue d'épuiser ses réserves de change. En 2019, le déficit commercial global était estimé à 9,1 % du PIB par la Banque mondiale (contre 10,5 % un an plus tôt). La catégorie des produits énergétiques est celle qui a enregistré le déficit commercial le plus élevé, suivie par les équipements (Office des Changes). Le Maroc est un exportateur net de services, avec 18,7 milliards de dollars d'exportations contre 9,2 milliards de dollars d'importations.

la diminution du coefficient négatif du taux d'ouverture de -0,211788 à -0,041977 à long terme. Cela peut s'expliquer par le fait que la combinaison des deux types d'énergies renouvelables et non renouvelables aura un impact positif sur l'équilibre commercial et le taux de couverture du Maroc avec l'extérieur.

Diagnostic et test de stabilité

Pour vérifier la qualité de l'ajustement du modèle ARDL, des tests utilisant la somme cumulative (CUSUM) et la somme cumulative des carrés (CUSUMSQ) ont été effectués après avoir confirmé la relation de cointégration entre les variables. Les tests CUSUM et CUSUMSQ ont été réalisés sur la base des résidus de régression récursive, comme suggéré par Brown [66]. Si les graphiques des statistiques se situaient dans les limites critiques à un niveau de signification de 5 %, cela suggérerait que les résultats calculés des coefficients du modèle ARDL étaient stables. La stabilité du modèle est illustrée à la figure 6 ; elle suggère que l'adéquation du modèle ARDL était bonne.

Figure 2 : (a) Graphique représentant la somme cumulative des résidus récurrents ; (b) Graphique représentant la somme cumulative des carrés des résidus récurrents.



Les lignes rouges droites représentent les limites critiques à un niveau de signification de 5 %. Les lignes bleues indiquent les statistiques pour la somme cumulative des résidus récurrents et la somme cumulative des carrés des résidus récurrents.

Le tableau 6 présente les résultats des tests diagnostiques pour l'hétéroscédasticité, la corrélation sérielle, la normalité et le test de Portmanteau. Les résultats suggèrent que les données de cette étude sont distribuées normalement et qu'il n'y a pas de problème d'hétéroscédasticité et de corrélation sérielle dans notre modèle.

Conclusion

Le secteur agricole au Maroc représente environ 14 % du produit intérieur brut (PIB) et joue un rôle fondamental dans l'emploi et les activités économiques. Pour atteindre une croissance durable, le pays doit identifier les facteurs réduisant la pollution environnementale et mettre en œuvre les mesures appropriées. Les énergies renouvelables constituent désormais une part importante de la consommation énergétique mondiale. L'utilisation des énergies fossiles contribue au réchauffement climatique, aux émissions de dioxyde de carbone et a des effets néfastes sur l'environnement. Dans ce contexte, cet article examine les relations à long et à court terme entre les émissions de CO₂ par habitant, le PIB réel, la consommation d'énergies renouvelables et non renouvelables, l'ouverture commerciale et la valeur ajoutée agricole par habitant, pour le Maroc, sur la période 1982-2016.

L'approche du test des limites de l'ARDL (Autoregressive Distributed Lag) a été utilisée pour examiner la cointégration entre les variables étudiées. Les tests de racine unitaire augmentée de Dickey-Fuller (ADF) et de Phillips-Perron (PP) ont été appliqués pour vérifier la stationnarité des séries temporelles. Le test de cointégration de Johansen a ensuite été utilisé pour confirmer la robustesse des relations à long terme entre les variables.

Les résultats ont montré qu'à long terme, le PIB réel, la consommation d'énergies renouvelables et non renouvelables était positivement et significativement liés aux émissions de CO₂ par habitant. En revanche, la valeur ajoutée agricole par habitant présentait une relation négative et significative avec ces émissions. Concernant l'ouverture commerciale par habitant, aucune relation significative n'a été observée avec les émissions de CO₂ par habitant.

Les données suggèrent que le gouvernement marocain devrait renforcer l'intégration des énergies renouvelables dans le secteur agricole. En effet, une augmentation des émissions de dioxyde de carbone (CO₂) par habitant est associée à une diminution de la valeur ajoutée agricole par habitant. Ainsi, il est impératif de mettre en place de nouvelles politiques visant à réduire ces émissions et à promouvoir une agriculture durable.

Model Diagnostics	Statistic(s)	P-Value(s)
Portmanteau test	0.962670	0.3997
Breusch/Pagan heteroscedasticity test	1.550058	0.1798
Ramsey RESET test (F)	0.229023	0.6374
Jarque-Bera test on Normality	0.189875	0.90943

BIBLIOGRAPHIE

1. Ben Jebli, M., & Ben Youssef, S. (2017).

The role of renewable energy and agriculture in reducing CO₂ emissions: Evidence for North Africa countries. *Ecological Indicators*, 74, 295–301.

<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.11.016>

2. Eyuboglu, K., & Uzar, U. (2020).

Examining the roles of renewable energy consumption and agriculture on CO₂ emission in lucky-seven countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(36), 45031–45040.

<https://doi.org/10.1007/s11356-020-10374-2>

3. Khan, M. T. I., Ali, Q., & Ashfaq, M. (2018).

The nexus between greenhouse gas emission, electricity production, renewable energy and agriculture in Pakistan. *Renewable Energy*, 118, 437–451.

<https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.11.043>

4. Liu, X., Zhang, S., & Bae, J. (2017).

The impact of renewable energy and agriculture on carbon dioxide emissions: Investigating the environmental Kuznets curve in four selected ASEAN countries. *Journal of Cleaner Production*, 164, 123–135. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.086>

5. Meza, F. J., & Silva, D. (2009).

Dynamic adaptation of maize and wheat production to climate change. *Climatic Change*, 94(1), 143–156. <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9544-z>

6. Qiao, H., Zheng, F., Jiang, H.-D., & Dong, K. (2019).

The greenhouse effect of the agriculture-economic growth-renewable energy nexus: Evidence from G20 countries. *Science of The Total Environment*, 671, 411–421.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.336>

7. Waheed, R., Chang, D., Sarwar, S., & Chen, W. (2018).

Forest, agriculture, renewable energy, and CO₂ emission. *Journal of Cleaner Production*, 172, 1380–1391. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.287>