



Comment les énergies renouvelables sont liées aux émissions de CO₂ au Maroc entre 1990 et 2021 : une investigation empirique

Abdelaziz AGUILAL ¹, Benaceur OUTTAJ ²

Laboratory of Economic analysis and Modeling (LEAM) Faculty of Law, Economics and Social Sciences –
Souissi Mohammed V University -Rabat, Morocco

This is an open access article under the [CC BY-NC-ND](#) license.



Résumé : Ces dernières années le Maroc a connu une croissance économique et démographique substantielle. Malgré des niveaux relativement bas des quantités des gaz à effet de serre (GES) émises, le pays reste vulnérable aux effets néfastes du changement climatique face à des difficultés croissantes liées à ses ressources naturelles. En réponse à ce risque, le Maroc a lancé d'importantes décisions ciblant à faire face au changement climatique et a développé des stratégies sectorielles diverses pour intégrer les considérations environnementales dans plusieurs secteurs tels que l'énergie, le transport, l'agriculture et le tourisme. Cela implique un accent stratégique sur l'adoption d'énergies renouvelables en tant que catalyseur principal pour atténuer les émissions de CO₂, le principal GES.

Le but de ce papier est d'étudier l'impact de la quantité des énergies renouvelables consommée (RE) sur les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) au Maroc entre 1990 et 2021. Le test de causalité de Toda-Yamamoto est appliqué afin de mettre en lumière le lien dynamique entre les deux variables. Une corrélation neutre est détectée empiriquement, suggérant que l'énergie renouvelable n'a pas encore atteint l'autonomie nécessaire pour réduire indépendamment les émissions. Cette déviation des attentes hypothétiques conventionnelles souligne la nécessité d'une compréhension nuancée des mécanismes complexes liant les deux variables étudiées. Les résultats de cette recherche ont des implications substantielles pour les décideurs politiques et les économistes, offrant une perspective critique pour réévaluer les politiques existantes et explorer des voies alternatives par lesquelles les énergies renouvelables peuvent efficacement réduire les quantités de CO₂ émises au Maroc. Cette étude peut contribuer au discours sur le développement durable de l'énergie, mettant en évidence l'importance de politiques bien fondées qui tiennent compte des dynamiques multifacettes entre l'intégration des énergies renouvelables et les niveaux d'émissions de CO₂.

Mots clés : Energies renouvelables, émissions de CO₂, Maroc, le teste de causalité, Toda yamamoto

Digital Object Identifier (DOI): <https://doi.org/10.5281/zenodo.10951540>

1 Introduction

Reconnu comme la défaillance de marché la plus marquante, le changement climatique se distingue comme une menace environnementale significative au 21^{ème} siècle (Stern, 2006). Ce phénomène présente non seulement des défis à une échelle sans précédent, mais il impose également un fardeau supplémentaire aux nations, en particulier celles qui sont vulnérables, dans leur poursuite des objectifs de développement. Les mécanismes par lesquels le changement climatique affecte le produit intérieur brut (PIB) comprennent une productivité diminuée, des dommages causés par des tempêtes graves et la montée du niveau de la mer, des pertes croissantes dans l'agriculture et la foresterie, une pénurie croissante de nourriture et d'eau, et l'émergence de problèmes significatifs de réfugiés (Stern, 2006).

Parmi les gaz impliqués dans le réchauffement climatique, le dioxyde de carbone (CO₂) se présentent comme le plus dangereux, contribuant à plus de 70% des concentrations atmosphériques (Solarin, 2014a). Les activités humaines propulsent principalement les émissions de CO₂, le charbon, le pétrole et le gaz naturel sont responsables respectivement de 44%, 36%, et 20% des émissions de CO₂ au niveau mondiale (IRENA, 2014). La production économique implique la combustion de carburants qui jouent ainsi un rôle significatif dans l'accumulation des GES.

La progression des énergies renouvelables semble renforcer à la fois la sécurité énergétique et le développement durable, s'alignant sur les objectifs du Protocole de Kyoto, où de nombreuses nations se sont engagés de réduire les émissions de (CO₂).

Le Maroc persiste dans une forte dépendance à l'importation des énergies fossiles, qui dominent son secteur énergétique. En 2017, environ 90% de la consommation totale d'énergie était constituée du pétrole à 62%, le charbon à 22%, et le gaz à 5%. Cette dépendance prononcée aux combustibles fossiles expose le pays à une vulnérabilité considérable face aux fluctuations des prix des carburants, le plaçant dans une position intrinsèquement instable (Agence internationale de l'énergie, 2019).

Cependant, le Maroc jouit d'un potentiel significatif de l'énergie solaire et éolienne. Cette capacité permettra au Maroc de relever deux défis cruciaux : garantir la sécurité énergétique et rester à l'abri des problèmes climatiques.

Le Maroc poursuit activement une transition énergétique accélérée, avec pour objectif de générer 42% de son énergie à partir de sources renouvelables en 2020 et d'augmenter davantage cet objectif à 52% d'ici 2030. De plus, le pays vise à réduire la quantité de CO₂ émise de 17% relativement à la référence dans les années à venir jusqu'à 2030. En 2015, les émissions de CO₂

du Maroc s'élevaient à 1,60 tonne par habitant, représentant 36% de la moyenne mondiale mais toujours 58% plus élevées que la moyenne africaine. Pour soutenir ces objectifs, le Maroc met en œuvre diverses mesures législatives, réglementaires et institutionnelles, qui constituent une composante cruciale de sa stratégie globale.

Le but de cet article est de trouver des réponses aux questions de recherche suivantes : Comment la consommation d'énergie renouvelable est liée à la quantité de CO₂ émise au Maroc entre 1990 et 2021 ? Le Maroc a-t-il effectivement rendu l'énergie renouvelable un moteur réducteur de la quantité de CO₂ émise ?

Les six sections restantes respectent la structure suivante : La suivante propose une investigation de la littérature englobant des études ayant examiné le lien entre les énergies renouvelables et CO₂. La section 3 se penche sur les développements réalisés dans le domaine des énergies renouvelables au Maroc. La section 4 décrit la situation actuelle des émissions de CO₂ au Maroc. La cinquième détaille la méthode empirique et les données utilisées dans l'analyse. La sixième section discute les résultats. Le document se conclut avec la section 7, présentant les conclusions et les recommandations.

2- Revue de la littérature et développement des hypothèses

La recherche analysant le lien entre l'utilisation de l'énergie renouvelable (ER) et la quantité de dioxyde de carbone émise a progressé rapidement, après la prise en conscience des risques climatiques vécus. Notamment, Silva et al. (2012) ont mené une étude couvrant les années 1960 à 2004, se concentrant sur les États-Unis, le Danemark, le Portugal et l'Espagne, leurs résultats suggèrent qu'une augmentation de la consommation d'énergie renouvelable réduit la quantité des CO₂ émise. Ce résultat est cohérent avec les conclusions présentées par Tiwari (2011), pour le cas d l'Inde en démontrant que de l'utilisation de l'énergie renouvelable est qualifiée d efficace pour réduire la quantité de CO₂ émise. Aliprandi et al. (2016) ont exploré l'effet des énergies renouvelable sur la quantité de dioxyde de carbone émise en Italie. Les chercheurs ont observé que le niveau des émissions de CO₂ devient moins substantiel avec l'augmentation de la quantité des énergies renouvelables produite, Divers chercheurs ont souligné le potentiel des sources renouvelables pour affaiblir la quantité de CO₂ émise, comme en témoignent Jaforullah et King (2015), Robalino-Lopez et al. (2015), Apergis et al. (2015), Wesseh et Lin (2016), Attiaoui et al. (2017), et Bhat (2018).

En revanche, d'après Chiu et Chang (2009), "même si plusieurs de pays ont mis en œuvre des stratégies pour promouvoir les énergies renouvelables, les émissions de CO₂ continue de croître avec l'expansion économique que connaît le monde". Ces mêmes chercheurs ont appliqué un modèle à effet de seuil sur un panel comprenant 30 pays de l'OCDE de 1996 à 2005, et ont

concluent que, pour une réduction efficace de la quantité émise de CO₂, le taux de contribution des énergies renouvelables doit dépasser 8,4% de l'approvisionnement énergétique total.

L'effet des énergies renouvelables (ER) induisant l'augmentation de la quantité CO₂ émise peut être interprété par divers facteurs, notamment la part insuffisante de l'énergie renouvelable consommée dans certaines nations. De plus, le défi du stockage lié à la nature intermittente des énergies renouvelables peut nécessiter le recours aux énergies conventionnelles, comme le soulignent Apergis et al. (2010).

Antonakakis et al. (2017) ont mis l'accent sur une augmentation manifeste de la quantité de CO₂ émise à cause de l'utilisation des énergies renouvelables, en particulier dans les nations à revenu élevé. Leur analyse s'est concentrée sur l'examen de la corrélation entre les énergies renouvelables, le PIB et la quantité de CO₂ émise dans 106 pays de différents niveaux de revenu de 1971 à 2005. Dans leur étude, Antonakakis et al. (2017) démontrent que, pour presque tous les sous-échantillons examinés, il n'y a aucune indication que les énergies renouvelables induisent des émissions de CO₂. Cependant, dans le contexte des pays à revenu élevé, ils ont observé que l'augmentation de leur consommation coïncide avec celle des émissions de CO₂. Le phénomène observé pourrait être attribué à l'état avancé de l'industrie des technologies d'énergie renouvelable dans les pays à revenu élevé, comme l'illustrent des nations telles que l'Allemagne et les États-Unis. Dans de tels pays, une croissance dans le taux d'utilisation des énergies renouvelables peut coïncider avec une production accrue de technologies liées aux énergies renouvelables, y compris les turbines, les moteurs et les panneaux. Ce qui peut augmenter les émissions de CO₂. La raison sous-jacente est que les usines fabriquant des machines et des matériaux liés aux technologies d'énergie renouvelable ont souvent recours à des énergies fossiles polluantes, du moins à court terme. Il est concevable qu'à long terme, à mesure que les énergies renouvelables progressent, ces usines pourraient compter en grande partie sur les énergies renouvelables, entraînant finalement une réduction de la quantité de CO₂ émise Ahmed et al. (2016) dans leur étude de l'Australie de 1990 à 2012. Selon leurs conclusions, l'utilisation de l'énergie renouvelable (à l'exclusion de l'énergie hydraulique) entraîne une augmentation à court terme des émissions de CO₂ et la situation s'inverse à long terme.

D'un autre côté, Menyah et al. (2010) ont découvert que l'utilisation de l'énergie renouvelable (ER) n'a pas d'impact discernable sur le dioxyde de carbone (CO₂). Cette conclusion résulte d'une analyse des interactions dynamiques entre les émissions de CO₂, l'énergie renouvelable et le PIB aux États-Unis de 1960 à 2007. De manière similaire, Shahbaz et al. (2011) ont

examiné le lien entre l'utilisation à la fois des énergies renouvelables et fossiles, le PIB et CO2 dans le cas de la Roumanie. Ces chercheurs ont détecté une forte corrélation positive liant la consommation des énergies fossiles et la quantité de CO2 émise. Cependant, l'importance de cette corrélation diminue lorsqu'on prend en compte le rôle des énergies renouvelables. Divers chercheurs ont souligné l'impact neutre des énergies renouvelables dans la réduction des émissions, comme le montrent les travaux de Long et al. (2015), Cherni et al. (2017), Paweenawat et al. (2017), Pata (2018), Leal et al. (2018), et Emir et al. (2019).

En effet, en tirant parti des résultats discutés, on peut en déduire que les résultats issus des études examinant le lien entre les énergies renouvelables et la quantité de CO2 émise sont divers et parfois contradictoires. Diverses recherches ont produit des résultats disparates, soulignant la complexité de cette relation.

À la lumière de ce qui précède, il est évident d'avoir les trois hypothèses suivantes.

Hypothèse 1 : les énergies renouvelables impactent positivement la quantité de CO2 émise au Maroc.

Hypothèse 2 : les énergies renouvelables impactent négativement la quantité de CO2 émise au Maroc.

Hypothèse 3 : les énergies renouvelables sont sans impact sur la quantité de CO2 émise au Maroc.

3- les énergies renouvelables et la progression de la stratégie énergétique au Maroc

La croissance démographique et le progrès industriel Marocains au cours de la dernière décennie ont nécessité une demande croissante d'électricité annuelle moyenne de 7%, et 80% de l'électricité produite provenant des combustibles fossiles. Cela contraint le Maroc à rester fortement dépendant de l'importation de combustibles fossiles, impactant négativement la balance des paiements du pays. Par conséquent, l'objectif principal pour le Maroc est le développement de l'énergie solaire, éolienne et hydraulique. Cet objectif est crucial pour le pays car il vise à se libérer des importations des énergies fossiles, sécuriser son approvisionnement énergétique et à atténuer les risques liés à la pollution largement causée par les énergies conventionnelles.

Comme décrit précédemment, la dépendance du Maroc à l'égard d'importations énergétiques coûteuses reste un risque pour la balance des paiements et la sécurité énergétique. Pour relever ce défi, le Maroc a initié une stratégie énergétique en 2009, mettant l'accent sur le renforcement de l'efficacité énergétique des énergies renouvelables. L'objectif est de faire régner le mix

électrique par l'énergie solaire, éolien et hydraulique. Cette stratégie suit un plan basé sur des objectifs à court, moyen et long terme, accompagnée de réformes législatives, institutionnelles et réglementaires.

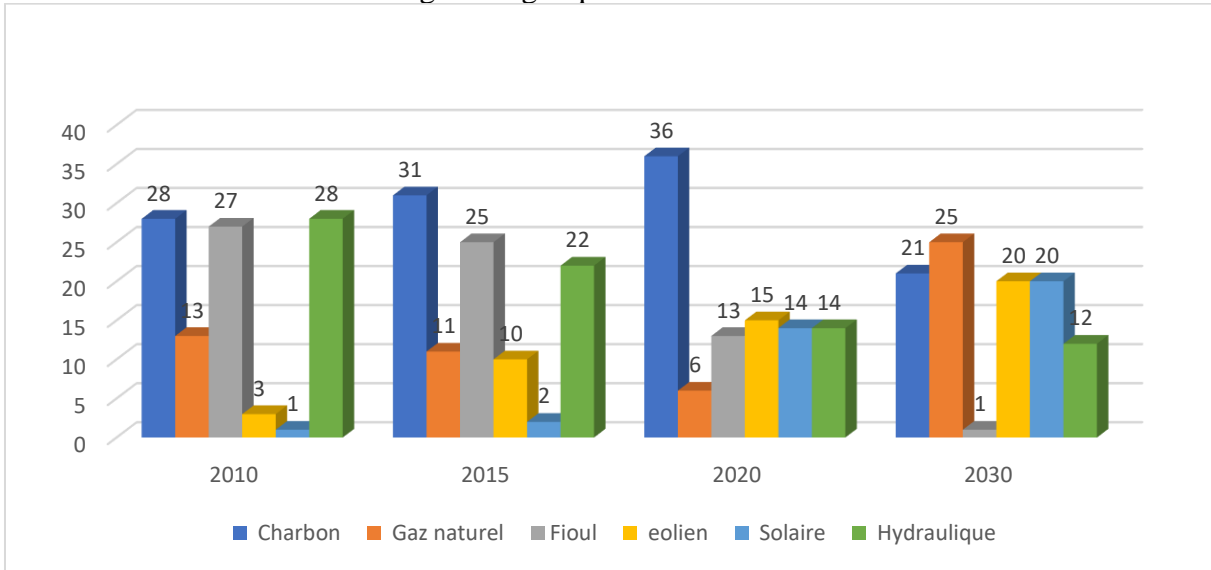
Depuis l'adoption de cette stratégie, le Maroc a fait des progrès significatifs dans le secteur énergétique, grâce à sa politique de diversification des sources en intégrant l'énergie solaire, éolienne et hydroélectrique. Pour stimuler la croissance du secteur des énergies renouvelables et garantir le succès de la stratégie adoptée en 2009, les autorités marocaines ont promulgué la Loi n° 13-09, composée de 44 articles spécifiquement dédiés aux énergies renouvelables. Ce cadre juridique est en accord avec la politique énergétique du pays, visant à faire progresser le secteur des énergies renouvelables en tirant parti des développements technologiques émergents et en encourageant les initiatives du secteur privé conformément à cette stratégie. Dans ce contexte, plusieurs programmes ont été lancés, produisant des résultats significatifs.

La période entre 2009 et 2013 a été marquée par l'application du Plan d'Action National Prioritaire (PANP), ayant pour but le réajustement d'équilibre entre la demande et l'offre d'électricité, la rationalisation de l'utilisation de l'énergie, et le renforcement des capacités de production de sources renouvelables. Par conséquent, il y a eu une augmentation de 1400 MW d'électricité produite

En 2013, une étape décisive a été franchie grâce à la contribution des énergies renouvelables, notamment l'hydraulique et l'éolien, qui ont généré 16,2% d'électricité. Cela marque une augmentation significative par rapport aux 4% enregistrés en 2009. Parallèlement, la production hydroélectrique a également connu une croissance, atteignant 11,15% en 2013.

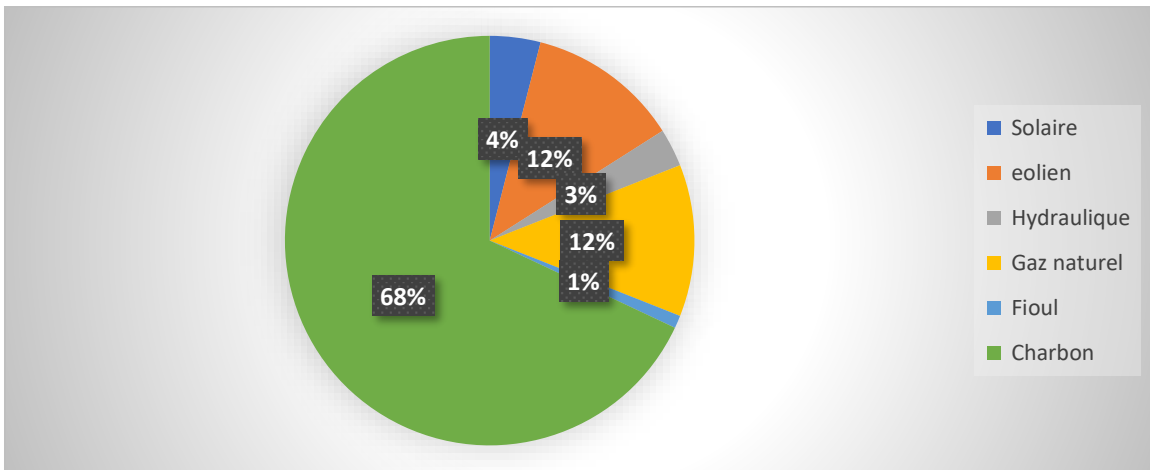
L'objectif fixé pour l'année 2020 était de croître le taux des énergies renouvelables à 42% de la capacité électrique globale installée. Pour atteindre cet objectif, des stratégies ont été mises en application pour installer 6000 MW de sources d'énergie renouvelable, réparties de manière équitable entre les trois types d'énergie (solaire, éolienne et hydroélectrique). Témoignant d'un engagement envers la réussite de sa transition énergétique, le Maroc a renforcé ses aspirations en révisant cet objectif, visant à augmenter le pourcentage des énergies renouvelables initialement fixé à 42% de la capacité électrique installée en 2020 à 52% d'ici 2030 (MTEDD) (voir Figure 1).

Figure N1 : Prévisions des variations des taux de différents sources d'énergie au Maroc de 2010 à 2030 en % selon la stratégie énergétique



Source: MASEN

Figure N2 : Les parts en % de différentes sources énergétiques dans la production électrique en (2019)



Source: ONEE

Selon la Figure 2, en 2019, les énergies renouvelables représentaient 19% de l'approvisionnement en électricité du Maroc. La majeure partie de cette contribution est fournie par l'énergie éolienne, avec 63%. En revanche, l'hydroélectricité, représente 16% de l'ensemble des énergies renouvelables, reflétant une diminution proportionnelle par rapport à la croissance des deux autres sources renouvelables. Avant 2013, l'hydroélectricité régnait la production électrique renouvelable avec 66,5%. Malgré une capacité installée inférieure à celle de l'hydroélectricité, l'énergie éolienne est devenue le principal producteur électrique renouvelable depuis 2014. (Source : MTEDD).

L'énergie solaire, éolienne et hydraulique représentaient seulement 20% d'électricité produite en 2019, un pourcentage jugé insuffisant. En réponse à cela, et après des consultations avec des entités privées, des départements ministériels concernés et des institutions publiques, le gouvernement a formulé une nouvelle Loi n° 40-19 introduisant des modifications et des ajouts à la Loi 13-09, spécifique aux énergies renouvelables. L'objectif de cette réforme législative est de rendre le cadre juridique et réglementaire régulant la réalisation de projets liés aux énergies renouvelables par le secteur privé plus efficace. Parallèlement, cette loi vise la sécurité et la durabilité du système électrique national (Source : Energies renouvelables.men.gov.ma).

3-1 les résultats de la stratégie énergétique en 2021

1-Nombre de projets : Un total de 111 projets d'énergie renouvelable ont été soit achevés, soit sont actuellement en développement, indiquant un engagement significatif envers l'expansion de l'infrastructure d'énergie renouvelable.

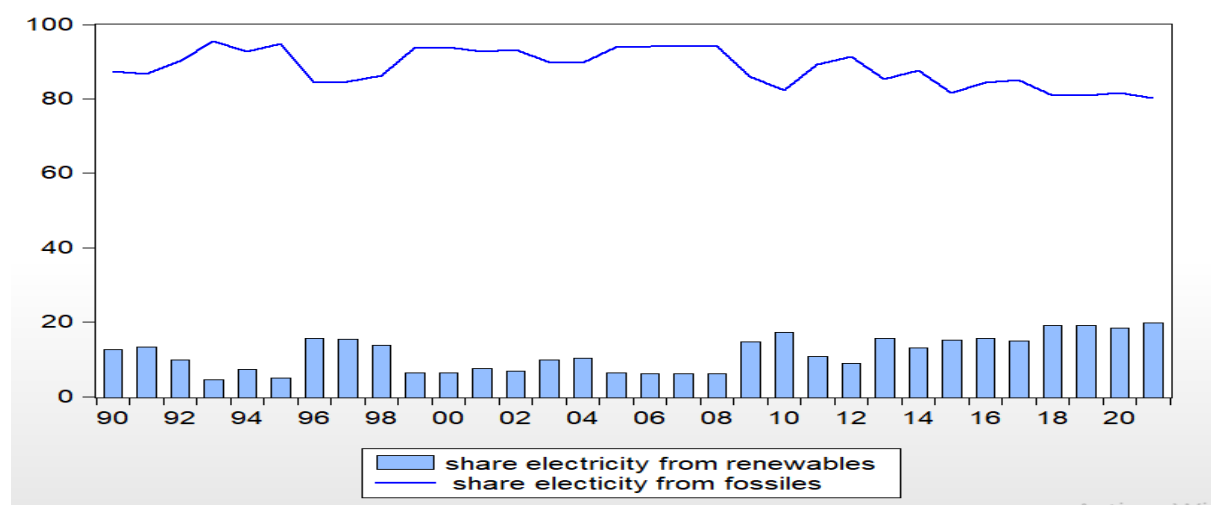
2-Capacité installée des sources renouvelable a atteint 3950 mégawatts, représentant environ 37% de la composition totale de l'électricité. Cela comprend 710 mégawatts de source solaire, 1430 mégawatts de source éolienne et 1770 mégawatts de sources hydroélectriques.

3- En 2021, les énergies renouvelables ont contribué approximativement à 20% de la production électrique

4- Taux de dépendance aux importations énergétiques a diminué, passant de 97,5% en 2009 à 90,51% en 2021

3-2 La production électrique au Maroc entre 1990 et 2021

Figure N°3 : l'électricité générée par les sources fossiles et renouvelables de 1990 à 2021



Source : Auteur, selon les données de la banque mondiale

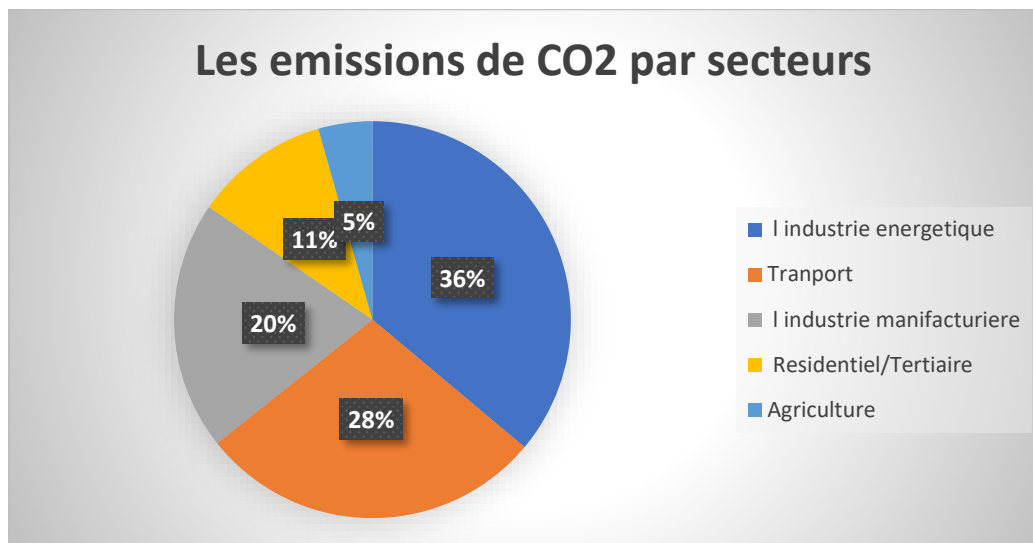
La figure ci-dessus montre que les énergies fossiles restent prédominantes dans la production électrique, par contre la production de sources renouvelables ne dépasse pas 20% à son maximum. Cette observation reflète le défi significatif à surmonter par les sources renouvelables pour qu'elles soient compétitives dans la production électrique. Malgré des progrès notables dans les projets et capacités d'énergie renouvelable, le secteur de l'énergie dépend largement des combustibles fossiles car ils jouent un rôle dominant dans la satisfaction de la demande d'électricité. Tout cela appelle à des efforts supplémentaires et à des engagements politiques pour renforcer le rôle des énergies renouvelables dans la sécurité énergétique et la réduction de la quantité de CO₂ émise.

4- Les émissions de CO₂ au Maroc

Le Maroc est reconnu comme l'un des pays ayant des émissions relativement faibles de gaz à effet de serre (GES) au niveau mondiale. En 2019, ses émissions ont été rapportées à 93 millions de tonnes d'équivalents dioxyde de carbone (CO₂e) par la Banque mondiale, représentant à peine 0,001% du total mondial de 58,8 gigatonnes d'équivalents CO₂ émis par tous les pays (Boehm et al., 2022). Malgré cette position favorable, les engagements environnementaux du Maroc semblent rencontrer des défis, car ses émissions de CO₂ ont montré une tendance à la hausse constante depuis 2018. À ce moment-là, les émissions s'élevaient à 63 millions de tonnes d'équivalents CO₂, selon le Ministère de la Transition Énergétique et du Développement Durable (2020). Par la suite, en 2020, elles ont augmenté pour atteindre 67,4 millions de tonnes d'équivalents CO₂, puis ont encore augmenté pour atteindre 74 millions de tonnes d'équivalents CO₂ en 2021. Cela représente une augmentation de 2,12% entre 2018 et 2020 et une hausse notable de 10,6% entre 2020 et 2021 (Country Economy, 2021).

En 2018, les émissions nettes de dioxyde de carbone (CO₂) représentaient 70% des émissions totales de gaz à effet de serre (GES) au Maroc, atteignant un volume de 63 millions de tonnes d'équivalents CO₂. Ces émissions provenaient de divers secteurs, l'industrie de l'énergie émergeant comme le contributeur principal, responsable de 36,1% des émissions totales. Suivant de près, le secteur des transports constituait le deuxième contributeur le plus important, représentant 28,8%. Les secteurs de l'industrie et de la résidence étaient les troisièmes et quatrièmes contributeurs, contribuant respectivement à hauteur de 20,3% et 11,1%. Enfin, le secteur agricole avait la plus faible contribution aux émissions de CO₂, représentant seulement 4,4% du total des émissions (MTEDD). La Figure 4 illustre les émissions de CO₂ par secteurs en 2018.

Figure 4 : Le niveau des émissions de CO2 par secteurs au Maroc en 2018



Source : Le ministère de la transition énergétique et développement durable

5-Méthodologie

Cet article utilise l'approche de Toda-Yamamoto (TY) pour investiguer le lien de causalité la consommation des énergies renouvelables (ER) et la quantité de CO2 émise au Maroc allant de 1990 à 2021. L'ensemble de données annuelles comprend la quantité de CO2 émise et la consommation d'énergie renouvelable (RE), représentées respectivement en millions de tonnes et la proportion des énergies renouvelables dans la consommation énergétique totale, provenant exclusivement de la Banque mondiale.

L'enquête empirique de ce papier vise à évaluer le lien entre la quantité de CO2 émise et la part des énergies renouvelables dans la consommation énergétique totale, en utilisant la méthode TY (1995), une autre version de Granger. Contrairement à la méthode classique de causalité de Granger, qui nécessite des séries stationnaires du même ordre (Granger, 1981 : p126,127), le test TY (1995) élimine la nécessité d'informations sur l'intégration et les caractéristiques de cointégration du système. Ce test est applicable même en l'absence d'intégration ou de stabilité, à condition que l'ordre maximal d'intégration (dm) ne dépasse pas le retard optimal du système k (Toda, Yamamoto, 1995). Cette approche offre un examen plus adaptable des relations de causalité, sans faire d'hypothèses spécifiques sur les caractéristiques de stationnarité ou de cointégration des variables considérées.

La méthode TY impose des contraintes sur les paramètres du modèle vectoriel autorégressif (VAR) noté $VAR(k)$, où k est la longueur optimale du retard du système. Le principe fondamental de la méthode TY est d'augmenter k par l'ordre maximal d'intégration des variables

étudiées, dm . Après cette extension, un VAR ($k + dm$) est estimé, avec les coefficients des derniers vecteurs retardés dm étant ignorés (Caporal et Pittis, 1999).

À la lumière de ce qui précèdent le modèle à analyser est le suivant :

$$CO_{2t} = \theta_0 + \sum_{j=1}^{k+dm} \theta_j CO_{2t-j} + \sum_{j=1}^{k+dm} \delta_j ER_{t-j} + \epsilon_{1t}$$

$$ER_t = \omega_0 + \sum_{j=1}^{k+dm} \omega_j ER_{t-j} + \sum_{j=1}^{k+dm} \gamma_j CO_{2t-j} + \epsilon_{2t}$$

Dans le test de Toda-Yamamoto, les symboles ont des significations spécifiques : "k" indique l'ordre optimal de retard, "dm" représente la grande valeur de l'ordre d'intégration des deux séries examinées, " ϵ_{1t} " et " ϵ_{2t} " représentent les termes d'erreur. Ce test empirique est conçu pour évaluer la causalité sans prendre en compte l'intégration et la cointégration du système. Cependant, l'ordre maximal d'intégration (dm) ne doit pas dépasser le retard optimal k. Les termes d'erreur, " ϵ_{1t} " et " ϵ_{2t} ", englobent les résidus ou les variables non expliquées dans les séries examinées

6- Résultat empirique et discussion

La table ci-dessous fournit les statistiques liées aux variables. Le test de Jacque-Bera indique que les variables sous investigation présentent une distribution normale, comme le montrent les probabilités dépassant 5%. De plus, les valeurs de skewness positives observées dans les deux variables suggèrent que leurs distributions penchent vers la droite, indiquant une tendance à la concentration des données du côté gauche avec une queue s'étendant vers la droite.

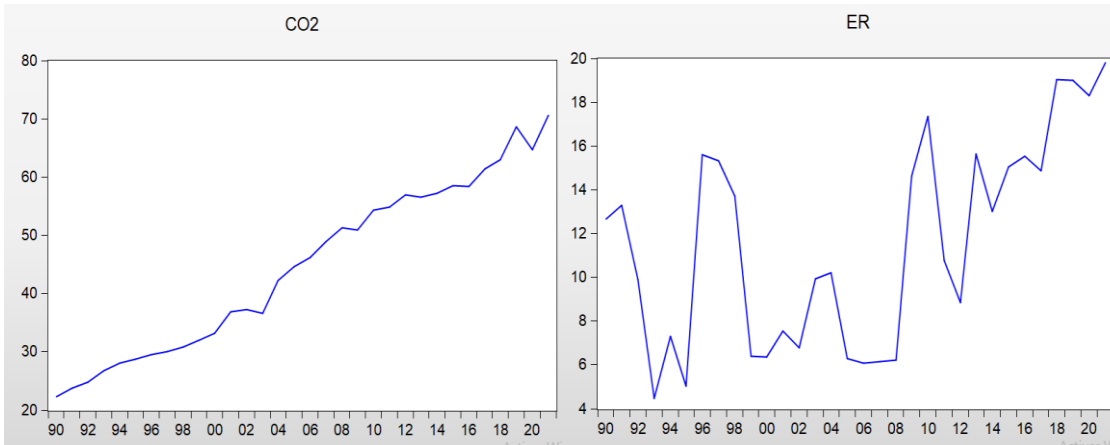
Table 2 : Les statistiques descriptives

	CO2	RE
Mean.	44.69500	4.0596
Median.	45.45500	3.9950
Maximum	70.58000	7.6400
Minimum	22.30000	1.3800
Std. Dev.	14.69958	1.9803
Skewness	0.062562	0.4092
Kurtosis	1.661681	2.0976
Jacque-Bera	2.4090006	1.9791
Probability	0.299841	0.3717
Sum	1430.240	129.910
Sum Sq. Dev.	6698.407	110.775
Observations.	32	32

Source : Eviews

Les graphes dans la figure 5 des séries de nos variables étudiées, révèle des caractéristiques indiquant une absence de stationnarité. Plus précisément, des tendances identifiables, des cycles ou des motifs irréguliers sont évidents, et elles ne maintiennent pas de manière cohérente une moyenne ou une variance stable. Pour étayer cette observation, des tests de stationnarité doivent être réalisés.

Figure 5 : La représentation graphique des variables



Source : Eviews

6-1 -L’analyse de Toda-Yamamoto

Le test de Toda-Yamamoto suit l’algorithme suivant :

6-1-1 Calcul de l’ordre maximal d’intégration (*dm*)

Cette première étape nécessite la détermination la grande valeur de l’ordre d’intégration des deux séries examinées (dénommée *dm*). Cette étape applique les tests de stationnarité d’Augmented Dickey-Fuller (ADF) et Phillips Perron (PP). Les résultats d’après le Tableau 3, suggèrent que les deux séries présentent une stationnarité lorsqu’on considère la première différence. Par conséquent, *dm*=1.

Tableau 3 : Les tests ADF et PP

Variables	ADF(%5)		Philips-Peron(%5)		Integration order
	Level (Intercept)	First difference (intercept)	Level (Intercept)	First difference (intercept)	
CO2	0.338252 (-2.963972)	-9.067906 (-2.963972)	0.619331 (-2.960411)	-9.028661 (-2.963972)	I(1)
RE	-1.571572 (-2.960411)	-4.741073 (-2.967767)	-1.546133 (-2.960411)	-6.611030 (-2.963972)	I(1)

Source : Eviews

6-1-2 Détermination du retard optimal du système(*k*)

L’étape suivante dans l’analyse du test de causalité consiste à déterminer la longueur de retard la plus appropriée, représentée par *k*. Cela est accompli en évaluant différents critères tels que le LR (Likelihood Ratio), le FPE (Final Prediction Error), l’AIC (Akaike Information Criterion),

le SC (Schwarz Criterion) et le HQ (Hannan-Quinn). Un modèle VAR est ensuite estimé, englobant toutes les variables endogènes, dans un intervalle de retard choisi de manière aléatoire.

Après l'estimation, un test pour déterminer l'intervalle de retard est appliqué sur les résidus pour identifier la longueur de retard optimale. Cette étape garantit que la longueur de retard sélectionnée est en accord avec les critères spécifiés, capturant efficacement les dynamiques temporelles des variables au sein du système.

Tous les critères indiquent de manière cohérente 2 comme le nombre optimal de retards d'après le tableau 4, nous conduisant à choisir $k=2$. Comme l'ordre maximal d'intégration ne dépasse pas le retard optimal ($dm \leq k$), un test VAR augmenté avec un ordre de $p = dm+k=3$ peut être utilisé. Cela permet l'application d'un modèle VAR augmenté avec la structure de retard appropriée dans l'analyse subséquente du test de causalité.

Tableau N°4 : le retard optimal

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	-132.2467	NA	247.5384	11.18722	11.28539	11.21327
1	-85.46598	81.866622	7.021943	7.622165	7.9166679	7.700300
2	-79.08662	10.10066*	5.815408*	7.423885*	9.485755*	7.554109*
3	-78.36362	1.024245	7.815393	7.696968	8.384166	7.879282
4	-78.22807	0.169443	11.24773	8.019005	8.902546	8.253409
5	-74.73988	3.778865	12.59584	8.061657	9.141540	8.348150
6	-71.20279	3.242335	14.64146	8.100233	9.376457	8.438815
7	-68.08051	2.341713	18.73317	8.173376	9.645943	8.564048
8	-58.36794	5.665665	15.23453	7.697328	9.366238	8.140090

Source: Eviews

6-1-3-Le test de Toda -yamamoto

Une fois que l'ordre d'intégration maximale(dm) et le retard optimal du système(k) sont déterminés $p = dm + k = 1+2= 3$, la phase suivante consiste à estimer le modèle VAR (3) et à mettre en œuvre le test de Granger en utilisant l'approche de Toda-Yamamoto, ce qui nous donnent les résultats présentés dans le tableau 5 ci-dessous.

Table 5 : Les résultats du test

Dépendente variable : CO2			
Excluded	Chi-sq	df	Prob
REN	0.361394	2	0.8347
ALL	0.361394	2	0.8347
Dépendente variable : RE			
Excluded	Chi-sq	df	Prob
CO2	0.666388	2	0.7166
ALL	0.666388	2	0.7166

Source : Eviews

On remarque que, les deux hypothèses nulles, à savoir "RE ne cause pas CO2" et "CO2 ne cause pas RE", doivent être acceptées. Par conséquent, cela indique une relation causale neutre entre

(RE) et les émissions de CO₂. Ainsi, l'utilisation des énergies renouvelables au Maroc est sans impact sur la quantité de CO₂ émise. Ces résultats sont cohérents avec des recherches antérieures, telles que Long et al. (2015) pour la Chine, Cherni et al. (2017) pour la Tunisie, Leal et al. (2018) pour l'Australie, Pata (2018) pour la Turquie, et Emir et al. (2019) pour la Roumanie.

7-Conclusion

Cette recherche, qui couvre les années allant de 1990 à 2021, a examiné de manière approfondie la connexion causale entre la quantité de CO₂ émise et la consommation énergétique de source renouvelables au Maroc. En utilisant le test empirique basé sur l'approche de Toda et Yamamoto, le résultat indique une relation causale neutre entre les deux variables.

L'effet non significatif ou neutre entre les deux variables au Maroc, peut être interprété par la faiblesse des énergies renouvelables à atteindre un stade où elles servent de canal de transmission réducteur efficace de la quantité de CO₂ émise. Surtout dans les secteurs qualifiés de pollueurs au Maroc, tels que l'énergie, le transport et l'industrie manufacturière. Cela peut être attribué à la prédominance des combustibles fossiles, en particulier du charbon, qui règne le mix énergétique. Les progrès dans les taux d'intégration de l'énergie de source solaire et éolienne demeurent insuffisants, en particulier avec la baisse de la puissance hydroélectrique en raison des années récentes de sécheresse. Les transports dépendent fortement du diesel et de l'essence, et l'intégration des véhicules électriques est presque négligeable. Les processus de la chaîne de production industrielle reposent principalement sur les combustibles fossiles. Tous ces facteurs rendent les énergies renouvelables inefficaces et jouent un rôle neutre car elles n'ont pas été adoptées de manière efficace dans les secteurs les plus polluants au Maroc.

Par conséquent, l'adoption de mesures proactives visant à promouvoir une proportion plus élevée d'énergies renouvelables consommées est importante, en particulier dans les secteurs ayant le plus d'impact sur l'environnement. De plus, des investissements stratégiques dans ce domaine sont cruciaux pour éviter des revers dans l'atteinte des objectifs prédéfinis afin de renforcer le rôle réducteur des énergies renouvelables de la quantité de CO₂ émise

Étant donné que la technologie avancée et l'innovation distinguent les nations qui ont réussi à rendre les énergies renouvelables plus efficaces à long terme, il est crucial de renforcer les initiatives qui favorisent l'innovation et la maîtrise des technologies liées aux sources renouvelables, et ce par accorder la priorité à des mesures visant à diffuser les technologies d'énergie renouvelable et à les maîtriser en impliquant les ménages, les entreprises et les centres

de recherche en stimulant la consommation, la production, l'innovation et la recherche et développement dans le secteur des énergies renouvelables afin de le rendre compétitif avec le secteur des énergies fossiles, responsable d'une grande proportion des émissions de CO₂

REFERENCES

- 1-ALIPRANDI, F.; STOPPATO, A.; MIRANDOLA, A. Estimating CO₂ emissions reduction from renewable energy use in Italy. **Renewable Energy**, v.96, part. A, p.220-231, 2016. doi. 10.1016/j.renene.2016.04.022.
- 2-Apergis, N.; Payne, J.E. Renewable energy, output, carbon dioxide emissions, and oil prices: Evidence from South America. *Energy Source. Part B* **2015**, 10, 281–287.
- 3-Attiaoui, I.; Toumi, H.; Ammouri, B.; Gargouri, I. Causality links among renewable energy consumption, CO₂ emissions, and economic growth in Africa: Evidence from a panel ARDL-PMG approach. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2017**, 24, 13036–13048.
- 4- Ben Jebli, M.; Ben Youssef, S.; Apergis, N. The dynamic linkage between renewable energy, tourism, CO₂ emissions, economic growth, foreign direct investment, and trade. *Latin Am. Econ. Rev.* **2019**, 28, 2.
- 5-Bhat, J.A. Renewable and non-renewable energy consumption-impact on economic growth and CO₂ emissions in five emerging market economies. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2018**, 25, 35515–35530.
- 6-Boehm, S., Jeffrey, L., Levin, K., Hecke, J., Schumer, C., Fyson, C., Majid, A., Jaeger, J., Wilson, R., Geiges, A., Naimoli, S., Nilsson, A., Singh, N., Castellanos, S., Sims, M., Cassidy, E., Waite, R., Lebling, K., Thwaites, J. et Lee, A. (2022). State of climate change
- 7- Caporal, G.M. Pittis, N, 1999, Efficient estimation of cointegrating vectors and testing for causality in vector autoregressions, *journal of Economic surveys* 13,3-5
- 8- Charfeddine, L.; Kahia, M. Impact of renewable energy consumption and financial development on CO₂ emissions and economic growth in the MENA region: A panel vector autoregressive (PVAR) analysis. *Renew. Energy* **2019**, 139, 198–213.
- 9- Cherni, A.; Jouini, S.E. An ARDL approach to the CO₂ emissions, renewable energy and economic growth nexus: Tunisian evidence. *Int. J. Hydrog. Energy* **2017**, 42, 29056–29066.
- 10- Country Economy. (2021). Maroc – Émissions de CO₂. <https://fr.countryeconomy.com/energie-etenvironnement/emissions-co2/maroc>
- 9- Emir, F.; Bekun, F.V. Energy intensity, carbon emissions, renewable energy, and economic growth nexus: New insights from Romania. *Energy Environ.* **2019**, 30, 427–443.
- 10-Energies renouvelables.men.gov.ma

- 11-IRENA. U.S. REMAP 2030. **Mitigating Climate Change Thought Renewables: How Doubling the Renewable Energy Share Can Keep Global Temperatures in Check**, 2014. Available in: < <https://www.irena.org/remap/REmap-FactSheet-8-Climate%20Change.pdf>>. Access in 05 Nov. 2016.
- 12-JAFORULLAH, M.; KING, A. Does the use of renewable energy sources mitigate CO₂ emissions? A reassessment of the US evidence. **Energy Economics**, v.49, p.711-717, 2015. doi. 10.1016/j.eneco.2015.04.006.
- 13- Leal, P.H.; Marques, A.C.; Fuinhas, J.A. How economic growth in Australia reacts to CO₂ emissions, fossil fuels and renewable energy consumption. *Int. J. Energy Sect. Manag.* **2018**, 12, 696–713.
- 14- Long, X.; Naminse, E.Y.; Du, J.; Zhuang, J. Nonrenewable energy, renewable energy, carbon dioxide emissions and economic growth in China from 1952 to 2012. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2015**, 52, 680–688.
- 15- Lu, W.-C. Renewable energy, carbon emissions, and economic growth in 24 Asian countries: Evidence from panel cointegration analysis. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2017**, 24, 26006–26015.
- 16-Mahmood, N.; Wang, Z.; Hassan, S.T. Renewable energy, economic growth, human capital, and CO₂ emission: An empirical analysis. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2019**, 26, 20619–20630.
- 17- MTEDD (Ministère de la transition énergétique et du développement durable du Maroc)
- 18-Pata, U.K. Renewable energy consumption, urbanization, financial development, income and CO₂ emissions in Turkey: Testing EKC hypothesis with structural breaks. *J. Clean. Prod.* **2018**, 187, 770–779.
- 19- Paweenawat, S.W.; Plyngam, S. Does the causal relationship between renewable energy consumption, CO₂ emissions, and economic growth exist in Thailand? An ARDL approach. *Econ. Bull.* **2017**, 37, 697–711.
- 20-ROBALINO-LÓPEZ, A.; MENA-NIETO, A.; GARCÍA-RAMOS, J.E.; GOLPE, A.A. Studying the relationship between economic growth, CO₂ emissions, and the environmental Kuznets curve in Venezuela (1980–2025). **Renewable Sustainable Energy Reviews**, v.41, p.602-614, 2015. doi. 10.1016/j.rser.2014.08.081.
- 21-Solarin, S.A., 2014b. Tourist arrivals and macroeconomic determinants of CO₂ emissions in Malaysia. *Anatolia* 25 (2), 228–241
- 22-Stern, N., 2006. Stern Review Report on the Economics of Climate Change. HM Treasury, London.
- 23- Toda, H.Y., Yamamoto, T. (1995), Statistical inference in vector autoregressions with possibly integrated processes. *Journal of Econometrics*, 66, 225-250
- 24-WESSEH, P.H.; LIN, B. Can African countries efficiently build their economies on renewable energy?. **Renewable Sustainable Energy Reviews**, v.54, p.161-173, 2016. doi. 10.1016/j.rser.2015.09.082.
- 25-Zrelli, M.H. Renewable energy, non-renewable energy, carbon dioxide emissions and economic growth in selected Mediterranean countries. *Environ. Econ. Policy Stud.* **2017**, 19, 691–709