



Munich Personal RePEc Archive

Energy transition, sustainability and emission reduction in Tunisia: an empirical analysis using the ardl model

amayed, Yasser

25 February 2025

Online at <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/124142/>
MPRA Paper No. 124142, posted 29 Mar 2025 14:49 UTC

Transition énergétique, durabilité et réduction des émissions en Tunisie : une analyse empirique par le modèle ARDL

Yasser Amayed

Université de Gafsa
Institut Supérieur d'Administration des Entreprises
Département d'Économie et Méthodes Quantitatives

yaser.amayed70@gmail.com

Résumé : La transition énergétique est un enjeu stratégique pour la Tunisie, confrontée à une forte dépendance aux énergies fossiles et à la nécessité de réduire ses émissions de gaz à effet de serre (GES). Cette étude analyse l'impact des politiques énergétiques sur les émissions de CO₂ et la durabilité économique à l'aide d'un modèle ARDL.

Les résultats révèlent qu'à court terme, la croissance économique augmente les émissions de CO₂, traduisant une forte dépendance aux combustibles fossiles. À long terme, une hausse de la consommation d'énergies renouvelables réduit significativement ces émissions, tandis que la consommation énergétique globale reste le principal facteur d'augmentation des GES.

Ces observations soulignent l'urgence d'accélérer la diversification du mix énergétique, d'investir dans des infrastructures durables et de mettre en place des réformes institutionnelles pour une transition énergétique efficace et durable.

Mots clés : Transition énergétique, Tunisie, émissions de CO₂, énergies renouvelables, développement durable, modèle ARDL.

JEL Codes: O33, Q41, E31, L86, C23

Abstract : The energy transition constitutes a strategic issue for Tunisia, which faces a considerable reliance on fossil fuels and the necessity to reduce its greenhouse gas (GHG) emissions. This study utilises an Autoregressive Distributed Lag (ARDL) model to analyse the impact of energy policies on CO₂ emissions and economic sustainability.

The findings indicate that in the short term, economic growth is associated with an increase in CO₂ emissions, reflecting a significant reliance on fossil fuels. However, in the long term, an increase in the consumption of renewable energy has been shown to have a significant effect in reducing CO₂ emissions, although overall energy consumption remains the main driver of GHG emissions.

These observations underscore the pressing need for the urgent acceleration of the diversification of the energy mix, the investment in sustainable infrastructure, and the implementation of institutional reforms for an efficient and sustainable energy transition.

Key words: Energy transition, Tunisia, CO₂ emissions, renewable energy, sustainable development, , ARDL model.

JEL Codes: O33, Q41, E31, L86, C23

1. Introduction

La transition énergétique est désormais un enjeu stratégique majeur pour les pays soumis à une double exigence : honorer leurs engagements climatiques internationaux tout en assurant un développement économique durable. En Tunisie, ce défi est d'autant plus complexe en raison de sa dépendance historique aux combustibles fossiles, une fragilité accentuée par l'instabilité des marchés énergétiques mondiaux et les contraintes budgétaires nationales. Dans ce contexte, évoluer vers un modèle énergétique axé sur les sources renouvelables ne constitue pas seulement une nécessité environnementale, mais représente également une opportunité de transformation économique et sociale.

Ce processus de transition énergétique en Tunisie s'inscrit dans une dynamique globale où s'entrelacent les dimensions économiques, énergétiques et environnementales. Il ne s'agit pas simplement de remplacer les énergies fossiles par des alternatives renouvelables, mais d'opérer une transformation structurelle touchant les politiques publiques, les infrastructures énergétiques, la gouvernance et les comportements des acteurs économiques et sociaux. Un tel changement, bien que complexe, est indispensable pour atteindre les Objectifs de développement durable (ODD), en particulier l'ODD 7, qui promeut un accès universel à une énergie propre et abordable, et l'ODD 13, dédié à la lutte contre le changement climatique.

La Tunisie, en tant que pays en développement, incarne les défis et les paradoxes de la transition énergétique. D'une part, la nécessité d'une croissance économique soutenue pour répondre aux attentes sociales et réduire les inégalités ; d'autre part, l'urgence de limiter les émissions de gaz à effet de serre (GES) et de diversifier son mix énergétique afin de réduire sa dépendance aux énergies fossiles. Cette forte dépendance aux sources d'énergie conventionnelles engendre des contraintes majeures, tant sur le plan environnemental qu'économique, exposant le pays aux fluctuations des marchés internationaux et aux pressions climatiques. Toutefois, cette transition représente également une opportunité stratégique pour bâtir un modèle de développement plus durable, résilient et inclusif.

Cet article se propose d'analyser les dynamiques de la transition énergétique en Tunisie en évaluant les politiques mises en œuvre et leurs impacts sur les émissions de CO₂, la croissance économique et la durabilité environnementale. En s'appuyant sur des données macroéconomiques et énergétiques récentes, cette étude adopte une approche empirique rigoureuse pour examiner l'influence des choix énergétiques sur ces différents enjeux. L'analyse repose sur un modèle ARDL (Auto Regressive Distributed Lag), permettant de distinguer les effets à court et à long terme des principales variables, notamment le PIB par habitant, la formation brute de capital fixe, ainsi que la consommation totale et renouvelable d'énergie.

Cette recherche examine l'efficacité des politiques énergétiques tunisiennes dans la réduction des émissions de GES, tout en favorisant un développement économique durable. Elle cherche à évaluer dans quelle mesure ces politiques parviennent à concilier transition énergétique et croissance économique, en intégrant les énergies renouvelables dans un cadre économique et institutionnel contraint.

L'objectif principal de cet article est d'offrir une analyse approfondie, fondée sur des données empiriques, afin d'évaluer l'efficacité des politiques énergétiques en Tunisie et d'identifier des leviers d'action stratégique. Adoptant une approche pragmatique, cette recherche vise à éclairer les décisions politiques et économiques tout en proposant des pistes d'amélioration

pour accélérer la transition vers un modèle énergétique durable et inclusif. Les sections suivantes détailleront successivement le cadre méthodologique, les résultats de l'analyse et leurs implications pour le développement énergétique et économique du pays.

2. Revue de littérature

La littérature empirique récente sur la transition énergétique et son lien avec le développement durable en Tunisie aborde une série de défis économiques, environnementaux et institutionnels qui influencent la réussite des politiques de transition. Saadaoui et Chtourou (2022) fournissent une première exploration de la relation entre la qualité des institutions, le développement financier et la consommation d'énergie renouvelable. Ils montrent que la qualité institutionnelle et la croissance économique favorisent l'adoption des énergies renouvelables, tandis que le développement financier, dans sa forme actuelle, freine cette transition. Ce constat souligne la nécessité de revoir les mécanismes financiers pour encourager des investissements plus durables et aligner les flux financiers sur les objectifs environnementaux. Leur étude met également en lumière le besoin d'institutions solides pour soutenir ces réformes et garantir la stabilité des politiques énergétiques.

Dans la continuité, Saadaoui et Omri (2023) se penchent sur l'impact des investissements directs étrangers (IDE) et des technologies de l'information et de la communication (TIC) sur la transition énergétique en Tunisie. Ils révèlent que les IDE jouent un rôle central en facilitant la diffusion des énergies renouvelables, mais que les TIC et l'ouverture commerciale semblent, au contraire, freiner cette dynamique. Ce résultat peut s'expliquer par les perturbations économiques et politiques des dernières années, qui ont ralenti l'adoption de nouvelles technologies. En ce sens, il apparaît que la transition énergétique requiert non seulement des investissements, mais aussi une stabilité politique et des réformes économiques pour maximiser l'effet positif des technologies émergentes dans le secteur énergétique.

En complément, Saadaoui et al. (2024) approfondissent l'analyse des facteurs institutionnels et technologiques influençant la transition vers les énergies renouvelables en Tunisie. Leur étude montre que l'innovation technologique est un moteur essentiel de la transition énergétique, mais que l'instabilité politique réduit considérablement ces efforts. Ils démontrent qu'une baisse de la stabilité gouvernementale ou de la qualité démocratique freine les progrès en matière d'énergies renouvelables. De plus, l'étude révèle que les variations positives du PIB stimulent l'adoption des énergies propres, tandis que la consommation d'énergies fossiles agit comme un frein, ce qui met en évidence la nécessité de réformer les politiques économiques et énergétiques pour encourager un virage vers un modèle énergétique plus durable.

Un autre aspect important de la transition énergétique en Tunisie concerne les projets concrets mis en œuvre pour soutenir cette transformation. Omri et al. (2015) examinent l'impact du programme PROSOL, une initiative visant à promouvoir le chauffage solaire dans le cadre d'un effort plus large pour intégrer les énergies renouvelables dans le mix énergétique tunisien. Ce programme a permis d'accroître l'utilisation des énergies renouvelables tout en favorisant la création d'emplois et en réduisant les émissions de CO₂. Il s'agit d'un exemple tangible des bénéfices économiques et environnementaux que peut générer une politique bien structurée et soutenue par des partenariats public-privé.

D'un point de vue régional, l'étude de Dadashi et al. (2022) offre une perspective comparative en soulignant que, bien que la Tunisie ait réalisé des avancées dans le développement des énergies renouvelables, elle fait face à des défis similaires à d'autres pays arabes, en particulier ceux qui dépendent fortement des énergies fossiles. Leurs résultats montrent que

les pays arabes, malgré leur potentiel élevé en énergie solaire et éolienne, doivent encore surmonter des obstacles importants, notamment le manque d'investissements suffisants et des politiques souvent incohérentes à long terme. Ces conclusions mettent en avant l'importance d'une approche coordonnée pour renforcer la capacité régionale à adopter les énergies renouvelables.

Ben Youssef et al. (2024) apportent une contribution importante en examinant la relation entre la croissance économique et les émissions de CO₂ en Tunisie. En utilisant un cadre analytique robuste, ils identifient les principaux moteurs des émissions et soulignent les défis posés par la croissance démographique et la consommation énergétique. Cette étude met en évidence la nécessité de concilier la croissance économique avec les exigences de réduction des émissions, ce qui implique un virage décisif vers des sources d'énergie renouvelables pour atteindre les objectifs de développement durable.

Le rôle des institutions est encore davantage exploré par Khaled et al. (2024), qui soulignent l'importance des dynamiques institutionnelles dans la transition énergétique dans la région MENA. Leur étude identifie les barrières institutionnelles telles que l'inefficacité de la gouvernance et les normes socio-culturelles qui freinent l'adoption des énergies renouvelables. Ils proposent un cadre stratégique pour surmonter ces obstacles en s'appuyant sur la collaboration entre gouvernements, acteurs industriels et partenaires internationaux. Ce cadre met l'accent sur la nécessité d'une transition énergétique juste et durable, en particulier dans les pays en développement, comme la Tunisie.

L'étude de Trabelsi (2024) renforce cette analyse en soulignant l'importance de la durabilité environnementale pour la croissance économique en Tunisie. En utilisant l'approche ARDL, il montre que la durabilité environnementale a un effet positif sur la croissance économique à long terme, ce qui valide l'importance d'une transition énergétique verte pour le développement futur du pays. En intégrant la durabilité dans les politiques économiques, la Tunisie pourrait non seulement réduire ses émissions de CO₂, mais aussi renforcer son économie et créer des opportunités d'emploi dans des secteurs liés aux énergies propres.

En outre, l'analyse de Dahmani et al. (2021) met en évidence l'effet des politiques commerciales et des innovations technologiques sur les émissions de gaz à effet de serre (GES) en Tunisie. Ils montrent que l'intensification de l'utilisation des énergies renouvelables contribue à la réduction des GES à long terme, tout en soulignant la nécessité de réformes dans le secteur de l'énergie pour améliorer l'efficacité énergétique et promouvoir des investissements dans les énergies propres. Leurs résultats appellent à des réformes structurelles et à des initiatives incitatives pour encourager l'investissement privé et accélérer l'adoption des énergies renouvelables.

Enfin, l'analyse approfondie de Ghorbal et al. (2021) met en évidence l'impact des brevets nationaux et des investissements directs étrangers sur la durabilité environnementale en Tunisie. Leur étude révèle que l'innovation, mesurée par les brevets nationaux, joue un rôle central dans la réduction des émissions de CO₂, tandis que les investissements directs étrangers, en apportant des technologies avancées, contribuent également à cet objectif. Ils concluent que le développement des énergies renouvelables, combiné à des politiques favorables à l'innovation, peut avoir un effet significatif sur l'amélioration de la durabilité environnementale en Tunisie.

Ainsi, la littérature met en lumière la complexité des politiques de transition énergétique en Tunisie. Les enjeux institutionnels, financiers, technologiques et environnementaux sont interconnectés, et la réussite de cette transition dépend de la capacité du pays à réformer ses

structures économiques, à attirer des investissements et à soutenir l'innovation. La transition énergétique représente non seulement un défi, mais aussi une opportunité pour le développement économique durable et la lutte contre le changement climatique en Tunisie.

3. Données et méthodologie de l'étude

3.1. Mesure des variables et sources des données

Dans cette étude, nous avons utilisé des variables clés pour examiner l'impact des politiques de transition énergétique sur les émissions de CO₂, la croissance économique, et le développement durable en Tunisie. Ces variables ont été sélectionnées en fonction de leur pertinence pour évaluer les tendances économiques, environnementales et énergétiques dans le cadre des ODD. Le Tableau 1 présente les statistiques descriptives des variables utilisées dans le modèle ARDL, tandis que les données proviennent principalement de la base de données WDI de la Banque mondiale (2024), couvrant une période de plusieurs décennies.

Les variables utilisées sont les suivantes :

- **Émissions de CO₂ par habitant (CO2_PC)** : Cette variable représente les émissions de CO₂ par personne en millions de tonnes métriques, un indicateur clé pour évaluer l'impact environnemental de la croissance économique et de la consommation d'énergie. En moyenne, les émissions par habitant en Tunisie sont de 1,722 millions de tonnes, avec une variation significative au fil du temps. Le maximum d'émissions atteint 2,122 millions de tonnes, tandis que le minimum est de 1,262 millions, reflétant les efforts de réduction des émissions.
- **PIB par habitant (PIB_PC)** : Le produit intérieur brut (PIB) en dollars constants de 2015 est utilisé pour mesurer la croissance économique de la Tunisie. La moyenne du PIB par habitant est de 30,1 milliards de dollars US constants, et la fourchette varie entre 12,4 milliards et 49,3 milliards, illustrant les périodes de croissance et de ralentissement économique.
- **Formation brute de capital fixe (FBCF_PC)** : Cette variable mesure l'investissement dans les infrastructures et autres actifs productifs, exprimée en milliards de dollars US constants de 2015. L'investissement moyen est de 6,26 milliards, avec un maximum de 12,6 milliards. Ce facteur joue un rôle important dans le développement des infrastructures énergétiques, en particulier celles liées aux énergies renouvelables.
- **Consommation totale d'énergie (CET)** : Exprimée en millions de tonnes équivalent pétrole (Mtep), la consommation totale d'énergie en Tunisie est un indicateur essentiel pour comprendre la demande énergétique et son impact sur les émissions de CO₂. En moyenne, la consommation d'énergie est de 7,041 Mtep, mais elle atteint un pic de 10,483 Mtep.
- **Consommation d'énergie renouvelable (CER)** : Cette variable, exprimée en millions de tonnes équivalent pétrole, mesure la part de l'énergie renouvelable dans le mix énergétique total. Bien que la consommation d'énergie renouvelable reste faible en Tunisie, avec une moyenne de 0,063 Mtep, elle a connu des augmentations significatives au fil du temps, atteignant un maximum de 0,279 Mtep.

Le Tableau 1 ci-dessous récapitule les statistiques descriptives de ces variables :

Tableau 1 : Statistiques descriptives des variables

Variable	CO2_PC	PIB_PC	FBCF_PC	CET	CER
Description	Émissions de CO ₂ (millions de tonnes métriques de dioxyde de carbone)	PIB (constantes en milliards de 2015 US\$)	Formation brute de capital fixe (constantes en milliards de 2015 US\$)	Consommation totale d'énergie (millions de tonnes équivalent pétrole)	Consommation d'énergie renouvelable (millions de tonnes équivalent pétrole)
Moyenne	1,722	30,000	6,000	7,041	0,063
Médiane	1,703	29,000	6,000	7,419	0,058
Maximum	2,122	49,000	13,000	10,483	0,279
Minimum	1,262	12,000	2,000	3,239	0,008
Écart type	0,251	13,00	3,00	2,271	0,046
Jarque-Bera	3,033	4,157	4,173	3,137	2,701
Probabilité	0,219	0,125	0,124	0,208	0,365
Observations	43	43	43	43	43

Source des données : WDI, Banque Mondiale (2024).

Les données montrent une variabilité significative entre les différentes années et illustrent les tendances de consommation énergétique et des émissions de CO₂ en Tunisie, ce qui est essentiel pour comprendre comment ces variables influencent la transition énergétique et la réalisation des ODD.

La Figure 1 présente les données historiques sur l'intensité énergétique et les émissions de CO₂ par habitant en Tunisie. Ces indicateurs, mesurés sur une période de plus de quatre décennies, montrent l'évolution de la consommation d'énergie en tonnes équivalent pétrole par personne ainsi que la part de l'énergie renouvelable dans le mix énergétique national. Les données mettent également en évidence la corrélation entre les émissions de CO₂ et la croissance économique, illustrée par le PIB constant et la formation brute de capital fixe.

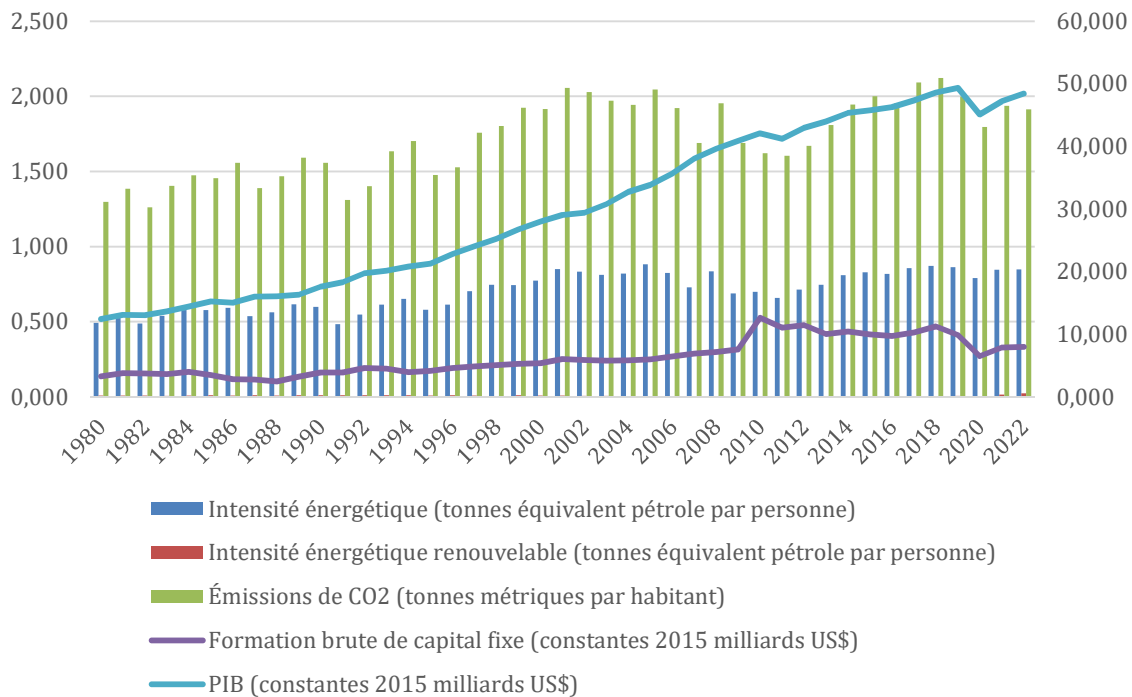


Figure 1 : Évolution de l'intensité énergétique, des émissions de CO₂ et du PIB en Tunisie (1980-2022)

Les graphiques montrent une tendance à la hausse des émissions de CO₂ au fil des décennies, corrélée à la croissance économique, tandis que l'intensité énergétique renouvelable reste relativement faible malgré quelques progrès récents. Cela reflète la nécessité d'intensifier les efforts pour adopter des sources d'énergie renouvelables et réduire la dépendance aux combustibles fossiles.

3.2. Méthodologie

Dans cette étude, nous utilisons un modèle de Solow augmenté pour examiner l'influence des politiques de transition vers les énergies renouvelables sur les émissions de CO₂ en Tunisie, ainsi que les implications économiques de ces politiques. Notre modèle empirique est inspiré de Mankiw et al. (1992), qui intègre le capital et d'autres facteurs dans le cadre du modèle de croissance de Solow. Nous adaptons ce cadre pour inclure des variables spécifiques à la transition énergétique et à l'investissement, en mettant l'accent sur les relations entre les émissions de CO₂ (comme indicateur environnemental) et l'investissement dans les énergies renouvelables.

3.2.1. Modèle de base : Solow augmenté

Le modèle de base utilisé pour cette analyse est formulé de manière similaire à celui de Solow (1956), mais est enrichi pour inclure des variables liées à la transition énergétique et à l'investissement (Mankiw et al., 1992). Le modèle de base peut être formulé comme suit :

$$Y = F(K, X) = AK^{\alpha_1} X^{\alpha_i} \quad (1)$$

Dans ce modèle :

- Y représente le PIB réel par habitant (PIB_PC), indicateur de la performance économique du pays.
- K représente la formation brute de capital fixe ($FBCF_PC$), capturant le stock de capital et les investissements réalisés dans l'économie.
- X représente un ensemble de variables supplémentaires, y compris les politiques énergétiques et les facteurs environnementaux, tels que la consommation d'énergie renouvelable (CER), la consommation totale d'énergie (CET), et les émissions de CO₂ par habitant (CO_2_PC), qui sont utilisés pour analyser la transition énergétique en Tunisie.
- A est un indicateur technologique supposé constant dans cette formulation.
- α_1 et α_i représentent les élasticités respectives du capital et des autres variables explicatives.

3.2.2. Formulation étendue du modèle

En désagrégant la relation (1), nous obtenons une équation plus détaillée qui permet d'isoler les effets des différentes variables sur le PIB, tout en tenant compte des facteurs environnementaux et énergétiques :

$$Y_t = A \prod_{i=2}^5 K_t^{\alpha_1} X_t^{\alpha_i} \quad (2)$$

Cette équation fonctionnelle peut être reformulée sous forme logarithmique afin de faciliter l'interprétation des élasticités et de simplifier l'estimation économétrique :

$$\log(Y_t) = \log(A) + \alpha_1 \log(K_t) + \sum_{i=2}^5 \alpha_i \log(X_t) \quad (3)$$

Ici, nous examinons les relations entre les variables suivantes :

- CO_2_PC : Émissions de CO₂ par habitant, en tant qu'indicateur clé de la durabilité environnementale.
- PIB_PC : Produit Intérieur Brut par habitant, mesuré en US\$ constants de 2015, indicateur de la performance économique.
- $FBCF_PC$: Formation brute de capital fixe par habitant, mesuré en US\$ constants de 2015, représentant l'investissement.
- CET : Consommation totale d'énergie, en millions de tonnes équivalent pétrole, capturant l'intensité énergétique de l'économie.
- CER : Consommation d'énergie renouvelable, en millions de tonnes équivalent pétrole, reflétant l'intégration des énergies propres dans le mix énergétique.

3.2.3. Modèle ARDL (Auto Regressive Distributed Lag)

Le modèle autorégressif à retards échelonnés (Auto Regressive Distributed Lag - ARDL) est particulièrement adapté pour cette étude car il permet de modéliser à la fois les dynamiques à court et à long terme entre les variables, même lorsque celles-ci ne sont pas intégrées du même ordre (c'est-à-dire, $I(0)$ ou $I(1)$).

$$\begin{aligned} \Delta \log(CO_2_PC_t) = & \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \beta_1 \Delta \log(CO_2_PC_{t-i}) + \sum_{i=1}^q \beta_2 \Delta \log(PIB_PC_{t-i}) + \\ & \sum_{i=1}^q \beta_3 \Delta \log(FBCF_PC_{t-i}) + \sum_{i=1}^q \beta_4 \Delta \log(CET_{t-i}) + \sum_{i=1}^q \beta_5 \Delta \log(CER_{t-i}) + \\ & \theta_1 \log(CO_2_PC_{t-i}) + \theta_2 \log(PIB_PC_{t-i}) + \theta_3 \log(FBCF_PC_{t-i}) + \theta_4 \log(CET_{t-i}) + \\ & \theta_5 \log(CER_{t-i}) + \varepsilon_t \end{aligned} \quad (4)$$

Dans cette équation :

- Les coefficients β représentent les dynamiques de court terme, capturant les effets des variations passées des variables explicatives sur les émissions de CO₂.
- Les coefficients θ capturent les relations de long terme entre les émissions de CO₂ et les variables explicatives.
- ε_t est le terme d'erreur aléatoire.

3.2.4. Modèle de correction d'erreur (ECM)

Dans le cas où une relation de cointégration est identifiée entre les variables, un modèle de correction d'erreur (ECM) sera estimé. Ce modèle permettra d'examiner comment les déséquilibres à court terme entre les variables s'ajustent pour retrouver un équilibre de long terme.

L'équation du modèle ECM est la suivante :

$$\begin{aligned} \Delta \log(CO_2_PC_t) = & \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \beta_1 \Delta \log(CO_2_PC_{t-i}) + \sum_{i=1}^q \beta_2 \Delta \log(PIB_PC_{t-i}) + \\ & \sum_{i=1}^q \beta_3 \Delta \log(FBCF_PC_{t-i}) + \sum_{i=1}^q \beta_4 \Delta \log(CET_{t-i}) + \sum_{i=1}^q \beta_5 \Delta \log(CER_{t-i}) + \\ & \lambda \cdot ECM_{t-1} + \varepsilon_t \end{aligned} \quad (5)$$

- λ est le coefficient de correction d'erreur qui indique la vitesse à laquelle le système retourne à l'équilibre après un choc.
- ECM_{t-1} est le terme d'erreur de cointégration, capturant les écarts de long terme.

3.2.5. Tests statistiques

Afin de garantir la robustesse du modèle estimé, plusieurs tests statistiques seront menés :

1. **Test de stationnarité** : Le test de racine unitaire de Dickey-Fuller augmenté (Augmented Dickey-Fuller - ADF) de Pesaran (2007) sera utilisé pour évaluer la stationnarité des séries, afin de déterminer le degré d'intégration de chaque variable.

2. **Test de cointégration** : Le test aux bornes de Pesaran et al. (2001) sera utilisé pour vérifier l'existence d'une relation de long terme entre les variables.

3. **Tests de diagnostic** : Des tests de normalité des résidus, d'autocorrélation et d'hétéroscédasticité seront appliqués pour évaluer la qualité de l'ajustement du modèle et la stabilité des coefficients estimés.

3.2.6. Résultats attendus

Les résultats attendus du modèle ARDL devraient indiquer des relations de long terme entre l'investissement (*FBCF_PC*) et les émissions de CO₂ (*CO2_PC*), tout en tenant compte des effets des énergies renouvelables et de la consommation énergétique globale. Il est attendu que :

- Une augmentation de l'investissement dans les énergies renouvelables et les technologies vertes ait un effet négatif sur les émissions de CO₂, contribuant ainsi à la réalisation des objectifs climatiques.
- Le PIB par habitant ait un effet positif sur les émissions, car une augmentation de l'activité économique peut conduire à une plus grande demande énergétique, bien que cet effet puisse être atténué par des politiques énergétiques durables.
- Une augmentation de la consommation d'énergie renouvelable (CER) soit associée à une réduction des émissions de CO₂, conformément aux objectifs de transition énergétique.

4. Résultats et discussion

4.1. Analyse de stationnarité – Test de racine unitaire ADF de Pesaran (2007)

Les résultats des tests de racine unitaire ADF (Augmented Dickey-Fuller) appliqués aux différentes variables du modèle, y compris les émissions de CO₂ par habitant (*CO2_PC*), le PIB par habitant (*PIB_PC*), la formation brute de capital fixe par habitant (*FBCF_PC*), la consommation totale d'énergie (CET) et la consommation d'énergie renouvelable (CER) sont présentés dans le Tableau 2. Ces tests sont essentiels pour évaluer le niveau d'intégration des séries temporelles, condition nécessaire pour l'application du modèle ARDL. En effet, le modèle ARDL requiert que les variables soient intégrées d'ordre I(0) ou I(1) et non d'ordre I(2), car cela permet d'assurer la robustesse des estimations à court et à long terme.

Les résultats du test de racine unitaire ADF sont présentés dans le Tableau 2. Ils montrent que certaines variables sont stationnaires en niveau (*PIB_PC*), tandis que d'autres le deviennent après avoir appliqué une différenciation (*CO2_PC*, *FBCF_PC*, CET, CER). Cela confirme que ces variables sont intégrées d'ordre I(1), ce qui justifie l'utilisation d'un modèle ARDL pour analyser les relations dynamiques entre ces variables.

Tableau 2 : Résultats des tests de racine unitaire (ADF)

Variables (en log)	(en	En niveau		Première différence		Ordre
		Sans tendance	Avec tendance	Sans tendance	Avec tendance	
CO2_PC		-2,227	-3,005	-6,545***	-6,638***	I(1)
PIB_PC		-3,873***	-0,487	-6,399***	-7,025***	I(0)
FBCF_PC		-1,273	-2,161	-6,715***	-6,633***	I(1)
CET		-1,261	-1,792	-6,699***	-7,768***	I(1)
CER		-1,665	-1,355	-7,188***	-7,307***	I(1)

Note : *** indique un seuil de significativité de 1%, où l'hypothèse nulle de racine unitaire est rejetée.

D'après le Tableau 2, les variables CO₂_PC, FBCF_PC, CET, et CER présentent des signes clairs de stationnarité après avoir pris la première différence, ce qui les classe parmi les séries intégrées d'ordre 1 (I(1)). En revanche, le PIB_PC est stationnaire en niveau, ou d'ordre I(0), ce qui indique qu'il n'est pas nécessaire d'appliquer une différenciation à cette variable.

Ce diagnostic justifie l'application du modèle ARDL pour modéliser les relations dynamiques à court et à long terme entre ces variables, permettant ainsi de mieux comprendre comment les politiques de transition énergétique affectent les émissions de CO₂ et les implications économiques en Tunisie.

4.2. Analyse de cointégration : Test de cointégration aux bornes de Pesaran et al. (2001)

Le test de cointégration aux bornes (bounds test) de Pesaran et al. (2001) est utilisé pour vérifier s'il existe une relation de long terme entre les variables incluses dans le modèle. Cette étape est déterminante, car l'absence de cointégration signifierait que les relations à long terme entre les variables n'existent pas, rendant ainsi l'estimation des coefficients à long terme non pertinente. Le test de cointégration repose sur l'estimation d'un modèle ARDL préalable, suivi de la comparaison de la statistique F de Fisher avec les valeurs critiques, définissant les bornes inférieure et supérieure.

4.2.1. Détermination du nombre de retards optimal selon le critère d'Akaike (AIC)

Le modèle ARDL est d'abord estimé en utilisant le critère d'information d'Akaike (AIC) pour sélectionner le nombre optimal de retards. Ce critère permet de choisir le modèle qui maximise l'ajustement des données tout en minimisant le nombre de paramètres à estimer. La Figure 2 montre que le modèle ARDL optimal dans notre analyse est le modèle ARDL (1,0,2,1,1), qui présente la plus faible valeur d'Akaike parmi les 20 autres modèles testés. Ce modèle sera donc utilisé pour examiner les relations à long terme entre les émissions de CO₂, le PIB, la FBCF, la consommation d'énergie totale et la consommation d'énergie renouvelable.

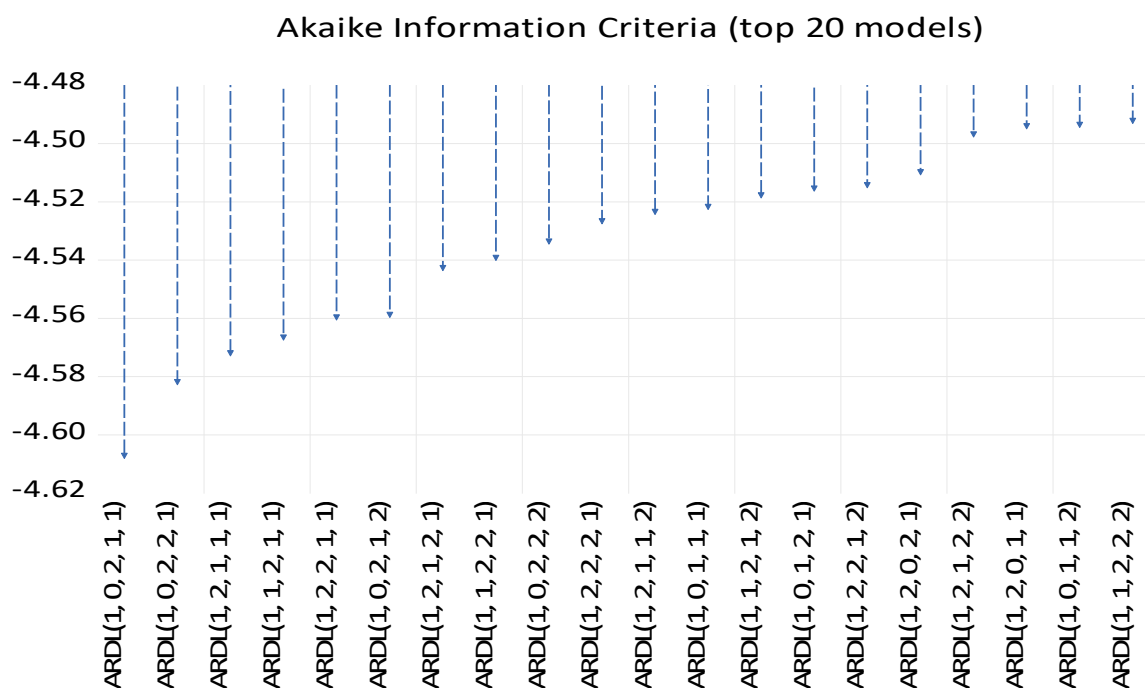


Figure 2 : Détermination du nombre de retards optimal

Ce modèle optimal sera appliqué dans l'étape suivante pour évaluer la présence de cointégration entre les variables, étape préalable à l'estimation des relations de long terme.

4.2.2. Test de cointégration aux bornes (Bounds Test)

Une fois le modèle ARDL optimal déterminé, le test de cointégration aux bornes est effectué. La statistique F de Fisher est ensuite comparée aux valeurs critiques pour déterminer l'existence d'une relation de long terme entre les variables.

Les résultats du Tableau 3 montrent que la statistique F calculée (4,013174) est supérieure à la borne supérieure (4,01) au seuil de significativité de 2,5%. Cela signifie qu'il existe une relation de cointégration entre les variables étudiées, ce qui permet de conclure qu'elles évoluent ensemble à long terme. En d'autres termes, les politiques de transition vers les énergies renouvelables en Tunisie ont un impact durable sur les émissions de CO₂, le PIB, la formation brute de capital fixe, et les consommations d'énergie (totale et renouvelable).

Tableau 3 : Résultats du test de cointégration

Variables	CO ₂ _PC ; PIB_PC ; FBCF_PC ; CET ; CER	
F-stat. Calculée	4,013174	
Niveau de significativité	Borne inférieure I(0)	Borne supérieure I(1)
1%	2,45	3,52
2.5%	2,86	4,01
5%	3,25	4,49
10%	3,74	5,06

Source : Estimations de l'auteur à partir du logiciel Eviews 12.

Ces résultats confirment la validité de l'estimation des coefficients de long terme en utilisant le modèle ARDL. Nous pouvons ainsi procéder à l'analyse des effets des différentes variables sur les émissions de CO₂ et les implications économiques, en prenant en compte les dynamiques de court et de long terme.

4.3. Estimation : modèle ARDL

4.3.1. Résultats de la relation à court terme

Les résultats du Tableau 4 montrent que la performance globale du modèle ARDL estimé est satisfaisante, avec la majorité des variables ayant l'effet attendu à court terme sur les émissions de CO₂ en Tunisie. La plupart des variables indépendantes ont un impact significatif, suggérant que les politiques énergétiques et économiques actuelles influencent directement les émissions de CO₂ dans le pays à court terme.

- **LOG(PIB_PC)** (PIB par habitant) présente un effet positif et significatif, ce qui suggère qu'à court terme, la croissance économique entraîne une augmentation des émissions de CO₂. Cette relation est cohérente avec l'idée que les phases initiales de développement économique s'accompagnent généralement d'une intensification de l'activité industrielle, souvent alimentée par des énergies fossiles.

- **LOG(FBCF_PC)** (Formation brute de capital fixe) montre un effet positif sur les émissions de CO₂ lorsqu'elle est retardée de deux périodes. Cela reflète l'effet différé des investissements en infrastructures, qui, bien qu'essentiels à la croissance économique, peuvent également accroître temporairement la consommation d'énergie non renouvelable, augmentant ainsi les émissions.

- **LOG(CET)** (Consommation totale d'énergie) a un impact très significatif et positif sur les émissions de CO₂, indiquant que la consommation globale d'énergie, principalement issue de sources non renouvelables, contribue largement à l'augmentation des émissions à court terme.

- **LOG(CER)** (Consommation d'énergie renouvelable), quant à elle, a un effet négatif et significatif lorsqu'elle est retardée d'une période, suggérant que l'adoption croissante des énergies renouvelables commence à avoir un effet modérateur sur les émissions de CO₂ à court terme. Cependant, son effet direct dans la période actuelle reste faible, indiquant qu'il faut du temps pour que les investissements dans les énergies renouvelables produisent leurs effets sur la réduction des émissions.

Enfin, le terme de correction d'erreur (ECT) est négatif et significatif, confirmant l'existence d'une relation de cointégration à long terme entre les variables. Cela signifie que les écarts par rapport à l'équilibre de long terme sont corrigés de manière progressive, assurant ainsi une convergence à long terme.

Tableau 4 : Résultats de l'estimation du modèle ARDL à court terme

Variable	Coefficient	Erreur-type	Statistique t	Probabilité
LOG(PIB_PC)	0,299	0,104	2,871	0,007
LOG(FBCF_PC)	0,025	0,040	0,630	0,533
LOG(FBCF_PC(-1))	0,135	0,040	3,382	0,002

LOG(FBCF_PC(-2))	0,065	0,031	2,110	0,043
LOG(CET)	0,988	0,051	19,271	0,000
LOG(CET(-1))	0,481	0,157	3,054	0,005
LOG(CER)	0,021	0,008	2,550	0,016
LOG(CER(-1))	-0,042	0,010	-4,087	0,000
ECT	-0,537	0,149	-3,605	0,001

Source : Estimations de l'auteur à partir du logiciel Eviews 12.

4.3.2. Résultats de la relation à long terme

Les résultats à long terme, présentés dans le Tableau 5, confirment que la plupart des variables étudiées influencent de manière significative les émissions de CO₂ en Tunisie.

- **LOG(PIB_PC)** continue de présenter un effet positif et significatif, soulignant que la croissance économique à long terme entraîne une augmentation des émissions de CO₂. Ce résultat est cohérent avec le lien observé entre la croissance économique et la consommation d'énergie dans les pays en développement, où une grande partie de l'énergie consommée provient encore de sources fossiles.

- **LOG(FBCF_PC)**, représentant l'investissement, n'a pas d'effet significatif à long terme sur les émissions de CO₂. Ce résultat peut indiquer que l'investissement, bien qu'essentiel à la croissance économique, n'a pas d'effet direct sur la réduction ou l'augmentation des émissions à long terme dans le contexte tunisien.

- **LOG(CET)**, la consommation totale d'énergie, a un effet positif et très significatif sur les émissions de CO₂ à long terme. Cela montre que la consommation d'énergie en Tunisie, principalement à partir de sources non renouvelables, est le principal moteur des émissions de CO₂.

- **LOG(CER)**, la consommation d'énergie renouvelable, a un effet négatif et significatif sur les émissions de CO₂ à long terme. Ce résultat confirme que l'augmentation de la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique est essentielle pour réduire les émissions de CO₂ à long terme. Cela met en évidence l'importance des politiques visant à promouvoir les énergies renouvelables pour atteindre les objectifs climatiques de la Tunisie.

Tableau 5 : Résultats de l'estimation du modèle ARDL à long terme

Variable	Coefficient	Erreur-type	Statistique t	Probabilité
LOG(PIB_PC)	0,647	0,135	4,791	0,000
LOG(FBCF_PC)	0,097	0,070	1,379	0,178
LOG(CET)	1,096	0,124	8,853	0,000
LOG(CER)	-0,044	0,019	-2,301	0,028

Source : Estimations de l'auteur à partir du logiciel Eviews 12.

Les résultats du modèle ARDL, tant à court qu'à long terme, montrent que les politiques énergétiques de la Tunisie jouent un rôle déterminant dans la gestion des émissions de CO₂.

Tandis que la croissance économique et la consommation d'énergie non renouvelable continuent d'accroître les émissions, l'adoption des énergies renouvelables présente une solution viable pour inverser cette tendance à long terme.

4.4. Tests de diagnostic et de robustesse

Les tests de diagnostic et de robustesse sont essentiels pour garantir que le modèle ARDL que nous avons estimé est correctement spécifié et que les résultats obtenus sont fiables. Ils permettent de vérifier l'adéquation des hypothèses relatives aux résidus et la stabilité du modèle. Dans le cadre de cette étude sur l'impact des politiques de transition vers les énergies renouvelables en Tunisie sur les émissions de CO₂ et les implications économiques, plusieurs tests ont été réalisés, dont les résultats sont présentés dans le Tableau 6.

4.4.1. Test de Breusch-Pagan-Godfrey pour l'hétéroscédasticité

L'hétéroscédasticité désigne une situation où la variance des résidus n'est pas constante. Pour vérifier cette hypothèse, nous avons appliqué le test de Breusch-Pagan-Godfrey. Le résultat montre que la statistique F est de 0,875 avec une probabilité associée de 0,216, ce qui est supérieur au seuil de significativité de 5%. Par conséquent, nous acceptons l'hypothèse nulle de la constance de la variance des résidus (homoscédasticité), ce qui signifie que le modèle ne présente pas de problème d'hétéroscédasticité.

4.4.2. Test de Breusch-Godfrey pour l'autocorrélation des résidus

L'autocorrélation des résidus est un problème fréquent dans les modèles dynamiques. Elle peut biaiser les estimations et rendre les tests de significativité invalides. Pour détecter l'autocorrélation des résidus, nous avons utilisé le test de Breusch-Godfrey. La statistique F obtenue est de 0,110 avec une probabilité associée de 0,896. Comme cette probabilité est supérieure au seuil de significativité de 5%, nous acceptons l'hypothèse nulle d'absence d'autocorrélation des résidus. Cela signifie que le modèle est valide et que les erreurs sont indépendantes les unes des autres.

4.4.3. Test de normalité de Jarque-Bera

Le test de normalité de Jarque-Bera permet de vérifier si les résidus du modèle sont distribués normalement, une hypothèse essentielle dans les tests de significativité statistique. Les résultats montrent que la statistique de Jarque-Bera est de 1,680 avec une probabilité de 0,711, largement supérieure au seuil de 5%. Cela confirme que l'hypothèse nulle de normalité des résidus est acceptée. Les erreurs du modèle sont donc normalement distribuées, ce qui valide les conclusions statistiques.

4.4.4. Test RESET de Ramsey pour la spécification du modèle

Le test RESET de Ramsey est utilisé pour évaluer si le modèle est correctement spécifié ou s'il manque des variables explicatives importantes. Les résultats montrent une statistique de 0,232 avec une probabilité de 0,818. Comme cette probabilité est supérieure au seuil de 5%, nous acceptons l'hypothèse nulle selon laquelle le modèle est correctement spécifié. Cela signifie que la relation fonctionnelle estimée n'a pas omis de variables importantes et est bien adaptée aux données.

Les résultats des différents tests de diagnostic montrent que le modèle ARDL utilisé est robuste et statistiquement valide. Il n'y a pas de problème d'hétéroscédasticité,

d'autocorrélation des résidus ou de mauvaise spécification. De plus, les résidus sont normalement distribués, ce qui renforce la fiabilité des estimations.

4.4.5. Résumé des tests de diagnostic

Les résultats obtenus (voit Tableau 6) renforcent la validité des estimations du modèle ARDL pour analyser l'impact des politiques de transition énergétique sur les émissions de CO₂ et les implications économiques en Tunisie.

Tableau 6 : Résultats des tests de diagnostic pour le modèle ARDL

Test	Stat. du test	Probabilité	Hypothèse nulle (H0)	Conclusion
Test de Breusch-Pagan-Godfrey	0,875	0,216	H0 : Variance constante (homoscédasticité)	H0 non rejetée
Test de Breusch-Godfrey	0,110	0,896	H0 : Absence d'autocorrélation	H0 non rejetée
Test de normalité de Jarque-Bera	1,680	0,711	H0 : Distribution normale	H0 non rejetée
Test RESET de Ramsey	0,232	0,818	H0 : Modèle correctement spécifié	H0 non rejetée

Source : Estimations de l'auteur à partir du logiciel Eviews 12.

4.4.6. Analyse graphique : Résultats des tests de normalité et de stabilité

La Figure 3 illustre la distribution des résidus du modèle ARDL. Cette courbe en forme de cloche indique une distribution proche de la normale, ce qui corrobore les résultats du test de Jarque-Bera.

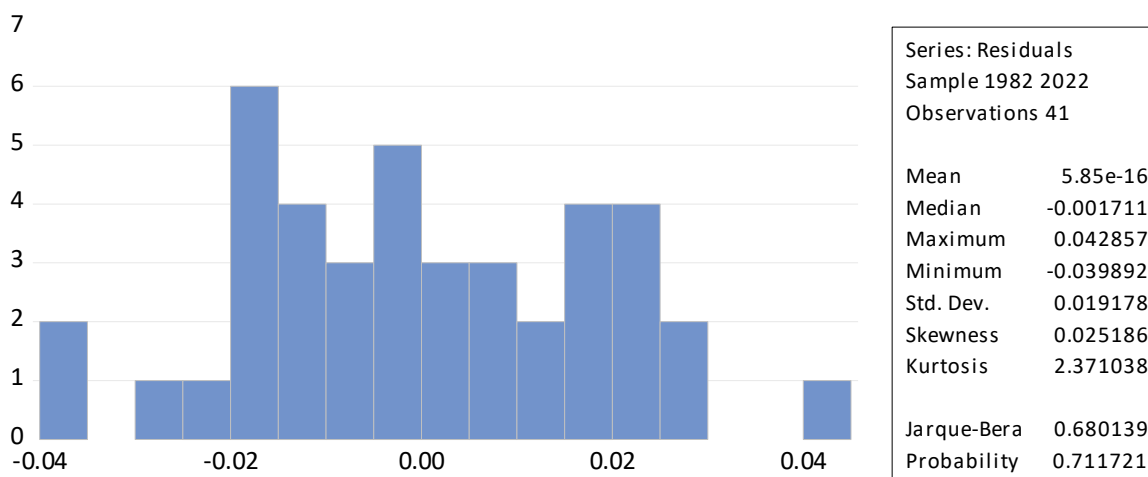


Figure 3 : Résultats du test de normalité des erreurs

Le test CUSUM (Cumulative Sum of Squares) est également utilisé pour vérifier la stabilité des paramètres du modèle au fil du temps. La Figure 4 montre que la courbe du test CUSUM reste à l'intérieur des bornes de confiance à 5%, ce qui indique que les coefficients du modèle sont stables pendant la période d'analyse. Cela renforce la robustesse des résultats et la validité du modèle pour des analyses prospectives.

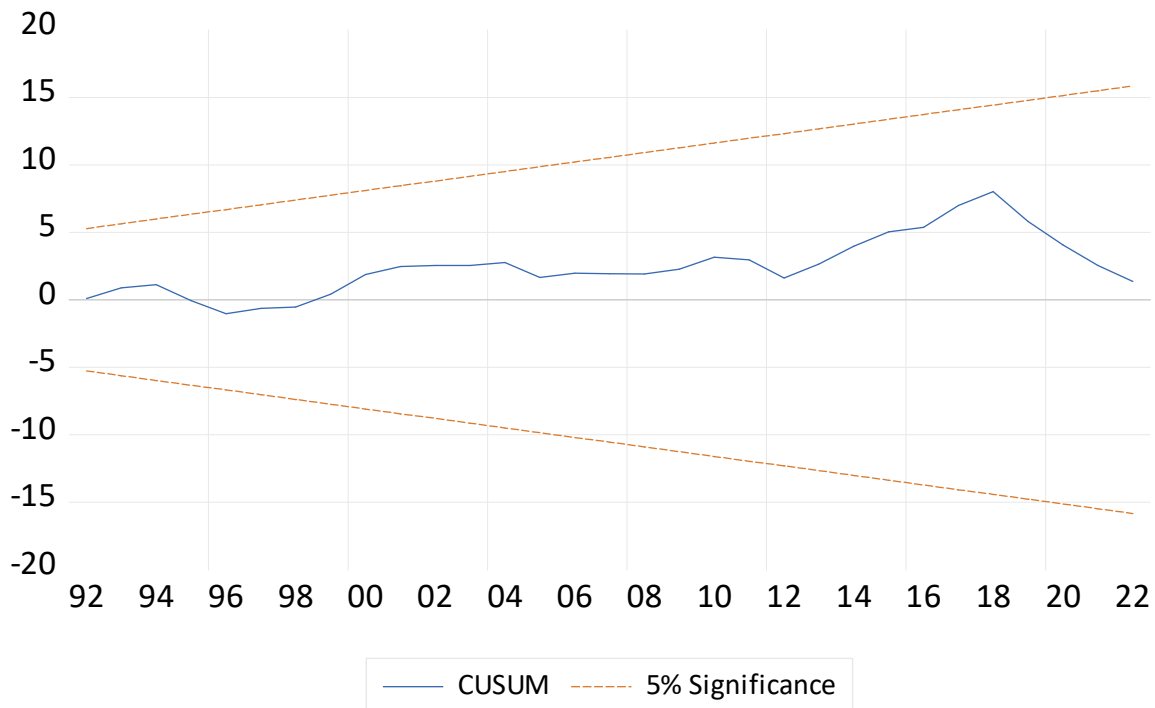


Figure 4 : Résultats du test CUSUM

Ces diagnostics confirment que le modèle est robuste et statistiquement cohérent, permettant une interprétation fiable des relations entre les variables, notamment entre les émissions de CO₂, le PIB, la FBCF, la consommation d'énergie totale et la consommation d'énergie renouvelable.

4.5. Discussion des résultats et implications pour la Tunisie

Les résultats empiriques présentés dans la section précédente montrent clairement que les politiques de transition énergétique en Tunisie influencent de manière significative les ODD, en particulier ceux liés à l'action climatique, à l'énergie propre, à la croissance économique, et aux infrastructures durables. L'impact des variables telles que le PIB par habitant (PIB_PC), la formation brute de capital fixe (FBCF), la consommation totale d'énergie (CET), et la consommation d'énergie renouvelable (CER) reflète l'importance d'aligner les politiques économiques et énergétiques pour réduire les émissions de CO₂ tout en soutenant le développement économique.

Le rôle de la croissance économique, illustré par la relation positive entre le PIB par habitant et les émissions de CO₂ à court et long terme, soulève un défi central pour la Tunisie dans sa quête pour atteindre les ODD. Une économie en expansion, qui dépend encore largement des énergies fossiles, entraîne une augmentation des émissions, ce qui peut compromettre les engagements climatiques du pays. Ce phénomène est bien documenté dans la littérature, notamment dans les études de Saadaoui et Omri (2023) ainsi que de Ben Youssef et al. (2024), qui soulignent l'importance de diversifier les sources d'énergie pour réduire la pression environnementale tout en soutenant une croissance économique soutenable.

Toutefois, les résultats relatifs à la consommation d'énergie renouvelable (CER) suggèrent qu'une stratégie énergétique axée sur le développement des énergies propres pourrait apporter des solutions tangibles à long terme. En effet, l'effet négatif et significatif de la CER sur les émissions de CO₂ à long terme confirme que l'augmentation de la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique tunisien est une priorité pour la réduction des

émissions. Cela corrobore les conclusions de Ghorbal et al. (2021), qui ont montré que l'intégration des énergies renouvelables est une condition sine qua non pour la durabilité environnementale en Tunisie.

Le secteur des infrastructures, représenté par la formation brute de capital fixe (FBCF), a montré un effet modeste sur les émissions à court terme et non significatif à long terme. Ce résultat reflète la nécessité de mieux orienter les investissements vers des projets plus verts. Cela soulève une question clé pour les décideurs tunisiens : comment aligner les besoins en infrastructure avec les exigences du développement durable, tout en stimulant la croissance économique ? Comme l'a démontré Saadaoui et Omri (2023), le recours accru à l'investissement direct étranger (IDE) pourrait jouer un rôle dans le financement de projets verts, à condition que ces investissements soient accompagnés de réformes institutionnelles favorisant un climat d'affaires stable et attractif pour les acteurs internationaux.

Les résultats mettent également en évidence l'importance de la gouvernance et de la stabilité politique. Les travaux de Saadaoui et al. (2024) ont souligné le rôle essentiel que jouent la stabilité institutionnelle et l'innovation technologique dans la transition vers les énergies renouvelables. En Tunisie, le contexte politique post-révolutionnaire a souvent été un frein à la mise en place de réformes ambitieuses en matière d'énergie. Cependant, l'analyse démontre que lorsque des investissements à long terme dans les énergies renouvelables sont couplés à une gouvernance renforcée, la réduction des émissions de CO₂ devient possible.

D'un point de vue économique, les résultats à long terme concernant la consommation totale d'énergie (CET) montrent que la dépendance actuelle aux énergies fossiles reste un obstacle majeur à la réalisation des objectifs climatiques de la Tunisie. Cette conclusion est conforme aux observations de Salem et al. (2023) dans leur analyse des pays du Conseil de Coopération du Golfe (GCC), où la dépendance aux énergies fossiles freine également les progrès vers un avenir durable. En Tunisie, cette dépendance ne pourra être surmontée que par un effort concerté pour accélérer l'adoption des énergies renouvelables et réformer le cadre institutionnel.

Le défi principal qui se pose pour la Tunisie est donc d'intégrer pleinement les énergies renouvelables dans sa stratégie de développement, tout en s'assurant que les gains économiques ne se traduisent pas systématiquement par une augmentation des émissions de CO₂. Il s'agit là d'un équilibre délicat que la Tunisie devra maintenir si elle veut atteindre les ODD, en particulier l'ODD 7, qui prône l'accès universel à une énergie propre et abordable, et l'ODD 13, qui vise à lutter contre le changement climatique.

Les implications pour les décideurs politiques sont claires. D'une part, il est nécessaire de promouvoir des investissements dans les infrastructures durables qui réduisent l'empreinte carbone, tout en stimulant l'innovation dans les technologies vertes. D'autre part, il est tout aussi important de veiller à ce que la gouvernance politique soutienne efficacement cette transition. Les recherches de Saadaoui et Chtourou (2022) suggèrent que la qualité institutionnelle est un facteur clé pour réussir cette transformation, en assurant que les réformes énergétiques soient appliquées de manière cohérente et transparente.

Pour atteindre les objectifs de développement durable en Tunisie, il sera essentiel de continuer à diversifier le mix énergétique, à encourager l'investissement dans les énergies renouvelables et à adopter des politiques institutionnelles stables. Cela demandera une planification à long terme et une coopération accrue entre les secteurs public et privé, comme l'ont recommandé Dadashi et al. (2022) dans leur analyse des stratégies de transition énergétique dans les pays arabes. En capitalisant sur ses ressources renouvelables, la Tunisie peut s'engager dans un

modèle de croissance plus vert, garantissant à la fois une réduction des émissions et une amélioration des conditions économiques pour ses citoyens.

5. Conclusion

Cette recherche a exploré l'impact des politiques de transition énergétique en Tunisie sur les émissions de CO₂ et la croissance économique, tout en les plaçant dans le cadre des Objectifs de développement durable (ODD), notamment l'ODD 7 sur l'accès à une énergie propre et abordable, et l'ODD 13 relatif à l'action climatique. Les résultats mettent en lumière des interactions complexes qui soulignent les tensions entre les impératifs de développement économique et les exigences environnementales. La croissance économique continue d'être fortement corrélée à une augmentation des émissions de CO₂, ce qui reflète une dépendance persistante aux énergies fossiles. Ce constat pose un défi central pour la Tunisie, où les mécanismes de croissance actuels sont en contradiction avec les engagements climatiques.

Cependant, l'étude montre que les énergies renouvelables offrent une voie prometteuse pour réduire les émissions à long terme, bien que leur contribution actuelle au mix énergétique demeure limitée. L'analyse confirme que leur intégration accrue pourrait significativement atténuer l'impact environnemental des activités économiques, renforçant ainsi les progrès vers les ODD. Par ailleurs, la consommation totale d'énergie, encore largement dominée par des sources fossiles, reste le principal moteur des émissions de CO₂, soulignant l'urgence de réformer la structure énergétique nationale. En revanche, les investissements en infrastructures n'ont pas démontré un impact significatif sur les émissions à long terme, ce qui révèle une nécessité de mieux orienter les ressources financières vers des projets favorisant la durabilité environnementale et énergétique.

Ces résultats ont des implications claires pour les décideurs politiques. La Tunisie doit non seulement accélérer l'adoption des énergies renouvelables, mais aussi repenser ses modèles d'investissement pour les aligner davantage sur les objectifs climatiques. Cela pourrait inclure la création de mécanismes incitatifs pour attirer des financements nationaux et internationaux, tels que des subventions pour les projets solaires et éoliens ou des incitations fiscales pour les technologies vertes. En parallèle, des réformes institutionnelles sont nécessaires pour garantir un cadre réglementaire stable et attractif, capable de rassurer les investisseurs et de soutenir des partenariats public-privé. La planification énergétique doit également intégrer des objectifs sociaux, comme l'accès équitable à l'énergie et la formation professionnelle, pour garantir une transition énergétique juste et inclusive, conformément aux aspirations des ODD.

L'efficacité énergétique constitue une autre priorité. Des initiatives telles que des audits énergétiques pour les grandes industries et des normes renforcées de performance énergétique pourraient réduire la consommation totale d'énergie, tout en augmentant l'efficacité des processus industriels et résidentiels. Par ailleurs, il est crucial d'accompagner cette transformation par des campagnes de sensibilisation et des formations ciblées, afin de garantir l'acceptation sociale des énergies renouvelables et de renforcer l'engagement des citoyens et des entreprises dans la transition.

Cette recherche, bien qu'elle offre des perspectives enrichissantes, n'est pas exempte de limites. L'utilisation de données macroéconomiques limite la prise en compte des spécificités sectorielles ou régionales, qui pourraient révéler des disparités importantes dans les impacts des politiques énergétiques. De plus, certains facteurs non quantifiables, comme les avancées technologiques récentes ou la stabilité politique, n'ont pu être pleinement intégrés dans l'analyse, bien qu'ils jouent un rôle déterminant dans la réussite des stratégies énergétiques.

Enfin, les effets à très long terme des politiques mises en œuvre ne peuvent être entièrement saisis dans le cadre temporel de l'étude.

Les perspectives de recherche futures pourraient se concentrer sur une analyse sectorielle plus détaillée ou sur l'impact des subventions énergétiques et des mécanismes de tarification du carbone. Il serait également pertinent d'explorer les interactions entre la transition énergétique et d'autres dimensions des ODD, telles que la réduction des inégalités (ODD 10) ou la promotion d'emplois décents (ODD 8). En définitive, la transition énergétique en Tunisie constitue une opportunité stratégique pour redéfinir son modèle économique tout en atteignant les engagements climatiques et sociaux définis par les ODD. Réussir cette transformation nécessitera des efforts coordonnés, une vision à long terme et une mobilisation accrue des acteurs publics et privés, permettant ainsi au pays de se positionner comme un leader régional d'une transition énergétique inclusive et durable.

Références :

Aghion, P., & Howitt, P. (1992). A model of growth through creative destruction. *Econometrica*, 60(2), 323-351.

Aschauer, D. A. (1989). Is public expenditure productive? *Journal of Monetary Economics*, 23(2), 177-200.

Awan, H. M., & Khattak, A. (2020). The impact of green innovation on environmental performance: Evidence from the energy sector. *Journal of Cleaner Production*, 258, 120584.

Ben Youssef, A., Dahmani, M., & Mabrouki, M. (2024). Decoupling carbon emissions and economic growth in Tunisia: Pathways to sustainable development. *Handbook on Energy and Economic Growth*, 103–127. <https://doi.org/10.4337/9781802204803.00012>

Bettaieb, H. (2015). Rationalisation de la consommation d'énergie et qualité de développement durable: Étude de la relation consommation d'énergie-croissance économique (cas de la Tunisie) (Doctoral dissertation, Université Paris Saclay (COMUE); Université de Sousse (Tunisie), Faculté des sciences économiques et de gestion).

Biely, K., Maes, D., & van Passel, S. (2016). The idea of weak sustainability is illegitimate. *Ecological Economics*, 121, 50-59.

Borenstein, S., & Davis, L. W. (2016). The distributional effects of US clean energy tax credits. *Tax Policy and the Economy*, 30(1), 191–234. <https://doi.org/10.1086/685597>

Buchholz, W., Dasgupta, P., & Mitra, T. (2002). On sustainability and efficiency of economies with exhaustible resources: A generalized Hartwick rule. *Journal of Economic Theory*, 105(2), 331-355.

Camagni, R., & Maillat, D. (2006). Milieux innovateurs et dynamique territoriale. *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*.

Chang, C., & Chen, Y. (2013). Green organizational identity and green innovation. *Management Decision*, 51(5), 1056-1070.

- Chen, Y. S., Lai, S. B., & Wen, C. T. (2006). The influence of green innovation performance on corporate advantage in Taiwan. *Journal of Business Ethics*, 67(4), 331-339.
- Dadashi, Z., Mahmoudi, A., & Rashidi, S. (2022). Capacity and strategies of energy production from renewable sources in Arab countries until 2030: A review from renewable energy potentials to environmental issues. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(32), 47837–47866. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20544-z>
- Dahmani, M., & Ben Youssef, A. (2024). Sustainable development in Africa: Analyzing the interplay of environmental taxes, productive capacities, and urban growth. <https://doi.org/10.20944/preprints202403.1627.v1>
- Dahmani, M., Mabrouki, M., & Ragni, L. (2021). Decoupling analysis of greenhouse gas emissions from economic growth: A case study of Tunisia. *Energies*, 14(22), 7550. <https://doi.org/10.3390/en14227550>
- Daly, H. E. (1990). Toward some operational principles of sustainable development. *Ecological Economics*, 2(1), 1-6.
- Freeman, C. (1979). *The Economics of Industrial Innovation*. Penguin.
- Freeman, C., & Soete, L. (1991). *Information technology and employment: A study of policy options for employment growth*. OECD Publishing.
- Ghorbal, S., Farhani, S., & Youssef, S. B. (2021). Do renewable energy and national patents impact the environmental sustainability of Tunisia? *Environmental Science and Pollution Research*, 29(17), 25248–25262. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17628-7>
- Grossman, G. M., & Helpman, E. (1991). Quality ladders in the theory of growth. *The Review of Economic Studies*, 58(1), 43-61.
- Hamilton, K., Ruta, G., & Tajibaeva, L. (2006). Capital accumulation and resource depletion: A Hartwick Rule counterfactual. *World Bank Policy Research Working Paper*, No. 3899.
- Hartwick, J. M. (1977). Intergenerational equity and the investing of rents from exhaustible resources. *The American Economic Review*, 67(5), 972-974.
- Hilkenmeier, F., Braun, B., & Schmitt, T. (2021). Green innovation and firm performance. *Sustainability*, 13(10), 5582.
- Hotelling, H. (1931). The economics of exhaustible resources. *Journal of Political Economy*, 39(2), 137–175.
- Khaled, M. W. B., Dahmani, M., & Ben Youssef, A. (2024). Overcoming barriers to energy transition in the MENA region: New institutional dynamics. <https://doi.org/10.20944/preprints202402.1440.v1>
- Khan, K., & Zhang, Y. (2021). Environmental innovation and sustainable development: An empirical study. *Sustainability*, 13(11), 6314.

- Klein, R., & Shu, W. (2021). Green marketing strategies and firm competitiveness. *Journal of Business Research*, 123, 34-45.
- Lucas, R. E. (1988). On the mechanics of economic development. *Journal of Monetary Economics*, 22(1), 3-42.
- Ma, Y., He, F., & Huang, J. (2018). Green innovation and environmental sustainability: An empirical investigation. *Journal of Cleaner Production*, 197, 1446-1456.
- Ministère de l'Industrie, de l'Énergie et des Mines. (2020). *Stratégie nationale de l'énergie*. <http://www.industrie.gov.tn/>
- Nations Unies. (2015). *Objectifs de développement durable*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/energy/>
- Omri, E., Chtourou, N., & Bazin, D. (2015). Solar thermal energy for sustainable development in Tunisia: The case of the PROSOL project. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 1312–1323. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.09.023>
- Peyrache, A. (1999). L'innovation dans les systèmes territoriaux. *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*.
- Quental, N., Lourenço, J. M., & da Silva, F. N. (2011). Sustainability: Characteristics and scientific roots. *Environment, Development and Sustainability*, 13(2), 257-276.
- Rawls, J. (1971). *A Theory of Justice*. Harvard University Press.
- Rivera-Batiz, L. A., & Romer, P. M. (1991). Economic integration and endogenous growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 106(2), 531-555.
- Romer, P. M. (1990). Endogenous technological change. *Journal of Political Economy*, 98(5), S71-S102.
- Saadaoui, H., & Chtourou, N. (2022). Do institutional quality, financial development, and economic growth improve renewable energy transition? Some evidence from Tunisia. *Journal of the Knowledge Economy*, 14(3), 2927–2958. <https://doi.org/10.1007/s13132-022-00999-8>
- Saadaoui, H., & Omri, E. (2023). Towards a gradual transition to renewable energies in Tunisia: Do foreign direct investments and information and communication technologies matter? *Energy Nexus*, 12, 100252. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2023.100252>
- Saadaoui, H., Omri, E., & Chtourou, N. (2024). The transition to renewable energies in Tunisia: The asymmetric impacts of technological innovation, government stability, and democracy. *Energy*, 293, 130686. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.130686>
- Salem, H. S., Pudza, M. Y., & Yihdego, Y. (2023). Harnessing the energy transition from total dependence on fossil to renewable energy in the Arabian Gulf region, considering population, climate change impacts, ecological and carbon footprints, and United Nations' Sustainable Development Goals. *Sustainable Earth Reviews*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s42055-023-00057-4>

Schumpeter, J. A. (1911). *The Theory of Economic Development*. Harvard University Press.

Shahzad, M., Qu, Y., Rehman, S. U., & Zafar, A. U. (2022). Adoption of green innovation technology to accelerate sustainable development among manufacturing industry. *Journal of Innovation & Knowledge*, 7(4), 100231. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2022.100231>

Shu, W., & Zhou, H. (2016). Green innovation and firm competitiveness: The role of environmental regulation. *Journal of Business Research*, 69(6), 2187-2194.

Skare, M., & Soriano, D. R. (2021). Technological and knowledge diffusion link: An international perspective 1870–2019. *Technology in Society*, 66, 101652. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101652>

Solow, R. M. (1974). Intergenerational equity and exhaustible resources. *The Review of Economic Studies*, 41, 29-45.

Stollery, K. R. (1983). Extractive resources and the theory of optimal depletion. *Canadian Journal of Economics*, 16(4), 665-683.

Tabariés, F. (2005). Les milieux innovateurs: Éléments d'un paradigme. *Revue Internationale de Sciences Sociales*, 183(1), 31-45.

Trabelsi, E. (2024). Transition to sustainable environment and economic growth in Tunisia: An ARDL approach. *World Development Sustainability*, 4, 100165. <https://doi.org/10.1016/j.wds.2024.100165>

van den Bergh, J. C. J. M. (2001). Ecological economics: Themes, approaches, and differences with environmental economics. *Regional Environmental Change*, 2(1), 13-23.

Xie, X., & Zhu, Q. (2022). Green innovation and firm competitiveness: Evidence from China's manufacturing sector. *Sustainability*, 14(3), 1379.