

Impact du budget d'investissement public dans les énergies renouvelables sur l'efficacité énergétique au Maroc : une approche économétrique

Impact of the Public Investment Budget in Renewable Energy on Energy Efficiency in Morocco: An Econometric Approach

Sidi Moh RACHIDI, (*Doctorant en économie de l'énergie*)

Laboratoire LAREGS

École Supérieure de Technologie de Meknès (ESTM)

Université Moulay Ismail, Meknès, Maroc

Mohamed ELJIM, (*Professeur de l'enseignement supérieur*)

Laboratoire LAREGS

École Supérieure de Technologie de Meknès (ESTM)

Université Moulay Ismail, Meknès, Maroc

Adresse de correspondance :	Université Moulay Ismail École Supérieure de Technologie Maroc, Meknès Code postal : 50040 Tel : 0613-534035
Déclaration de divulgation :	Les auteurs n'ont pas connaissance de quelconque financement qui pourrait affecter l'objectivité de cette étude. Ils assument l'entière responsabilité de tout éventuel plagiat, de l'usage de l'intelligence artificielle dans la rédaction, ainsi que des résultats présentés dans cet article.
Conflit d'intérêts :	Les auteurs ne signalent aucun conflit d'intérêts.
Citer cet article	RACHIDI, S. M., & ELJIM, M. (2025). Impact du budget d'investissement public dans les énergies renouvelables sur l'efficacité énergétique au Maroc : une approche économétrique. <i>International Journal of Accounting, Finance, Auditing, Management and Economics</i> , 6(10), 495–520.
Licence	Cet article est publié en open Access sous licence CC BY-NC-ND

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

ISSN: 2658-8455

Volume 6, Issue 10 (2025)

Impact du budget d'investissement public dans les énergies renouvelables sur l'efficacité énergétique au Maroc : une approche économétrique

Résumé :

La présente étude examine l'impact du budget d'investissement public alloué aux énergies renouvelables (solaire, éolien, etc.) sur l'efficacité énergétique au Maroc. Elle s'inscrit dans une problématique centrale : « dans quelle mesure le budget d'investissement public dédié aux énergies renouvelables peut-il stimuler l'amélioration de l'efficacité énergétique au Maroc à court et à long terme ? ». Pour comprendre en profondeur cette problématique, nous mobilisons une approche économétrique basée sur le modèle ARDL/ECM, appliquée à des données annuelles couvrant la période entre 2000 et 2020. Le modèle retient trois variables explicatives majeures : le budget d'investissement public dans les énergies renouvelables (BIP_EnR), la part des EnR dans la consommation énergétique finale (Part_EnR_CFE) et les émissions de CO₂ issues de la combustion des carburants fossiles (EMIS_CO2_CC). Quant à la variable dépendante, elle est représentée par le niveau d'intensité énergétique primaire (Niv_IEEP), c'est un indicateur central de l'efficacité énergétique.

Les résultats obtenus révèlent que l'augmentation du budget d'investissement public dédié aux EnR exerce un effet positif et significatif sur l'amélioration de l'efficacité énergétique aussi bien à court terme qu'à long terme, et ce, malgré son ampleur relativement faible. En revanche, les émissions de CO₂ apparaissent comme un facteur majeur de dégradation de l'efficacité énergétique, ce qui confirme leur rôle déterminant dans la dynamique énergétique nationale. Enfin, la part des EnR dans la consommation finale montre un effet paradoxalement négatif, à court comme à long terme, traduisant probablement les coûts de transition, les contraintes technologiques et les ajustements nécessaires à l'intégration des énergies renouvelables dans le système énergétique marocain.

Mots-clés : énergies renouvelables, budget d'investissement public, efficacité énergétique, ARDL, Maroc

Classification JEL : C43, Q48, C32, O13.

Type du papier : Recherche empirique

Abstract

This study examines the impact of public investment budgets allocated to renewable energies (solar, wind, etc.) on energy efficiency in Morocco. It addresses a central research question: *to what extent can public investment in renewable energies foster improvements in energy efficiency in Morocco, both in the short and long term?* To investigate this issue, we apply an econometric approach based on the ARDL/ECM model to annual data covering the period 2000 - 2020. The model includes three main explanatory variables: the public investment budget in renewable energies (BIP_EnR), the share of renewables in final energy consumption (Part_EnR_CFE), and CO₂ emissions from fossil fuel combustion (EMIS_CO2_CC). The dependent variable is the level of primary energy intensity (Niv_IEEP), which is a key indicator of energy efficiency.

The results indicate that an increase in public investment in renewables has a positive and significant effect on improving energy efficiency in both the short and long term, although the magnitude of this effect remains relatively modest. By contrast, CO₂ emissions emerge as a major factor in the deterioration of energy efficiency, confirming their critical role in Morocco's energy dynamics. Finally, the share of renewables in final energy consumption shows a paradoxically negative effect in both the short and long term, likely reflecting transition costs, technological constraints, and the adjustments required for the integration of renewables into Morocco's energy system.

Keywords: renewable energy, public budget investment, energy efficiency, ARDL, Morocco

EL Classification : C43, Q48, C32, O13

Paper type: Empirical research

1. Introduction

Face à la montée des préoccupations climatiques et aux défis énergétiques mondiaux, l'efficacité énergétique s'impose aujourd'hui comme un levier stratégique incontournable pour un développement durable, résilient et inclusif. Pour les pays en développement comme le Maroc, l'amélioration de l'efficacité énergétique dépasse la simple question de performance technique ; elle constitue également un enjeu économique, social et environnemental crucial (IEA, 2022). En effet, la raréfaction des ressources fossiles, la dépendance vis-à-vis des importations énergétiques et la pression croissante des engagements climatiques internationaux obligent à repenser les modèles de production et de consommation d'énergie. Dans ce cadre, les investissements publics dans les énergies renouvelables (EnR) apparaissent comme une solution structurante, capable à la fois de diversifier le mix énergétique et de réduire l'intensité énergétique nationale.

Dans ce cadre, le Maroc s'est distingué par une politique énergétique ambitieuse, et ce, depuis le début des années 2000, ce qui est traduit par plusieurs réformes et mesures phares qui ont été entreprises durant ces deux dernières décennies. En effet, la Stratégie Énergétique Nationale, adoptée en 2009, a fixé comme objectif de porter la part des EnR à plus de 52 % de la capacité électrique installée à l'horizon 2030. Des projets emblématiques, tels que le complexe solaire Noor à Ouarzazate ou les parcs éoliens de Tarfaya et Midelt illustrent clairement l'engagement du Royaume dans cette transition (MEME, 2021). Parallèlement, un cadre institutionnel et législatif a été mis en place : création de l'Agence MASEN, adoption de la loi n°13-09 relative aux énergies renouvelables, ainsi que de la loi n°47-09 sur l'efficacité énergétique. Ces réformes concrétisent une volonté politique forte, soutenue par des investissements publics croissants, afin de sécuriser l'approvisionnement, promouvoir la durabilité et renforcer la compétitivité économique.

Cependant, malgré ces avancées, plusieurs limites et difficultés subsistent toujours. D'une part, le financement massif de projets en EnR pèse sur les finances publiques et risque de se heurter à la volatilité des marchés internationaux de l'énergie. D'autre part, la dépendance technologique vis-à-vis des partenaires étrangers ralentit parfois le transfert de savoir-faire local. De plus, la disponibilité et la fiabilité des données énergétiques posent un défi méthodologique limitant la précision des évaluations empiriques. Enfin, l'articulation entre objectifs de croissance économique et impératifs de durabilité constitue un dilemme permanent pour les décideurs. Ces contraintes rendent indispensable une analyse critique et rigoureuse de l'efficacité réelle des investissements publics dans les EnR.

C'est précisément à cette interrogation que se consacre la présente étude visant à évaluer économétriquement l'impact du budget d'investissement public dans les énergies renouvelables sur l'efficacité énergétique au Maroc. L'originalité de l'approche proposée réside dans l'intégration de trois dimensions complémentaires : l'effet direct des dépenses publiques sur les EnR ; la contribution de la part des EnR dans la consommation finale d'énergie et le rôle des émissions de CO₂ issues de la combustion des carburants fossiles, souvent considérées comme un indicateur inverse de performance énergétique (World Bank, 2023).

De ce fait, notre problématique peut dès lors être formulée comme suit :

« Dans quelle mesure le budget public alloué aux énergies renouvelables contribue-t-il à l'amélioration de l'efficacité énergétique au Maroc, à court et à long terme ? »

Pour appréhender cette question, la présente étude mobilise un modèle économétrique de type ARDL (Autoregressive Distributed Lag Model), spécifié comme suit :

$$Niv_IEEP = (BIP_EnR, Part_EnR_CFE, EMIS_CO2_CC)$$

Le choix du modèle ARDL se justifie par plusieurs raisons. Premièrement, il permet de capter simultanément les dynamiques de court terme et de long terme via le modèle ECM, ce qui correspond parfaitement à la nature progressive des réformes énergétiques marocaines.

Deuxièmement, il est particulièrement adapté aux séries temporelles de petite taille et potentiellement intégrées d'ordres différents ($I(0)$ ou $I(1)$), situation fréquente dans le cas du Maroc (Pesaran et al., 2001a). Enfin, il favorise une meilleure interprétation des effets différenciés des politiques publiques dans un contexte émergent.

Cette recherche s'inscrit ainsi dans une littérature croissante sur le rôle des EnR dans l'amélioration de l'efficacité énergétique. Plusieurs études ont déjà montré l'effet positif des investissements publics sur la transition énergétique dans les économies émergentes (Bhattacharya et al., 2016; Cherni & Essaber Jouini, 2017). Toutefois, peu de travaux se sont spécifiquement concentrés sur le cas marocain, alors que le pays représente un laboratoire pertinent de transition énergétique en Afrique et dans le monde arabe. C'est ce « gap » que notre étude ambitionne de combler, en apportant des éléments empiriques originaux et contextualisés aux décideurs.

La suite de l'article s'organise de manière structurée afin de répondre à la problématique posée. Dans un premier temps, une revue de la littérature, à la fois théorique et empirique, mettra en évidence les principaux fondements conceptuels ainsi que les études antérieures portant sur les relations entre budget d'investissement public et efficacité énergétique, en particulier dans les pays émergents. Cette revue permettra également de dégager les limites des travaux existants et de formuler nos hypothèses de recherche.

Dans un second temps, la section méthodologie précisera les données mobilisées, leur nature et leur période de couverture. Il s'agit de données en séries chronologiques annuelles relatives au Maroc, couvrant la période 2000 - 2020, soit un total de 21 observations. Malgré cette taille relativement réduite, ces données restent adaptées à une analyse par le modèle ARDL, dont l'un des atouts majeurs réside justement dans sa capacité à traiter de petits échantillons. Cette section présentera également le choix du modèle ARDL et les justifications empiriques de cette approche économétrique, en insistant sur sa pertinence pour analyser simultanément les dynamiques de court et de long terme.

La troisième partie sera consacrée à la présentation et à la discussion des résultats issus de l'estimation, tandis que la dernière section proposera des recommandations destinées aux décideurs publics marocains.

Enfin, en analysant la relation entre dépenses publiques en énergies renouvelables et performance énergétique, cette recherche ambitionne d'apporter une contribution aux débats stratégiques sur la transition énergétique au Maroc et, plus largement, dans les pays en développement, notamment en Afrique.

2. État de l'art sur le rôle de l'investissement public et l'efficacité énergétique

Les investissements publics dans les énergies renouvelables constituent un levier essentiel pour améliorer l'efficacité énergétique et réduire les émissions de CO_2 , en particulier dans les pays en développement (Acemoglu et al., 2012a; Stern, 2007). En corrigeant les défaillances du marché (Stiglitz, 1974), ces investissements facilitent la transition vers un système énergétique bas carbone. Ils permettent également de surmonter les blocages technologiques (Unruh, 2000) et d'orienter l'innovation vers des trajectoires durables (Romer, 1990). Ainsi, l'État joue un rôle catalyseur dans l'émergence d'une croissance verte.

Nous allons à présent essayer d'élaborer une revue de la littérature explorant les importantes contributions, tant théoriques qu'empiriques, sur le sujet de la transition énergétique et ce, dans toutes ses composantes, notamment sur le plan de l'efficacité énergétique.

2.1. Panorama de la littérature théorique

Les investissements publics dans les énergies renouvelables constituent un levier essentiel pour améliorer l'efficacité énergétique et réduire les émissions de CO_2 , en particulier dans les pays en développement (Acemoglu et al., 2012a; Stern, 2007). En corrigeant les défaillances du

marché (Stiglitz, 1974), ces investissements facilitent la transition vers un système énergétique bas carbone. Ils permettent également de surmonter les blocages technologiques (Unruh, 2000) et d'orienter l'innovation vers des trajectoires durables (Romer, 1990). Ainsi, l'État joue un rôle catalyseur dans l'émergence d'une croissance verte.

Ci-après, un essai de recension des écrits ayant exploré les importantes contributions théoriques sur le sujet de la transition énergétique et ce, dans toutes ses composantes, notamment sur le plan de l'efficacité énergétique.

L'analyse des fondements théoriques relatifs au rôle de l'investissement public dans les énergies renouvelables et son impact sur l'efficacité énergétique trouve ses origines dans plusieurs courants de pensée économique. Dès les années 1960, Arrow (1962) met en évidence le rôle de l'apprentissage par la pratique (*learning by doing*), montrant que le cumul d'expérience dans la production réduit les coûts et améliore l'efficacité. Cette approche justifie le soutien public initial accordé aux technologies émergentes, telles que les énergies renouvelables, dont les coûts peuvent décroître à mesure que leur diffusion progresse. Dans la même logique, Stiglitz (1974) souligne l'importance des externalités environnementales et des biens publics, plaidant pour l'intervention publique afin de corriger le dysfonctionnement des marchés, notamment dans la gestion des ressources énergétiques.

Dans le domaine de l'économie des ressources, Hartwick (1977) propose sa célèbre règle selon laquelle le réinvestissement des rentes tirées des ressources non renouvelables dans le capital productif permet de garantir une consommation constante dans le temps. Cette idée fonde le principe de soutenabilité intergénérationnelle, en lien direct avec les enjeux actuels d'efficacité énergétique. Plus récemment, Tirole (2011), à travers la théorie de l'organisation industrielle, insiste sur la nécessité de la régulation des industries énergétiques afin d'orienter leur développement vers des pratiques durables, en mettant en avant le rôle des incitations économiques.

Les modèles de croissance endogène ont également apporté une contribution majeure à ce champ d'étude. Romer (1990) montre que l'investissement en R&D constitue un moteur essentiel de la croissance, ouvrant la voie à l'idée que les investissements publics peuvent stimuler l'innovation dans les technologies propres et accroître l'efficacité énergétique. Dans la même veine, Acemoglu et al. (2012a) insistent sur le rôle des politiques publiques pour orienter le progrès technique vers des trajectoires vertes grâce à des subventions ciblées et des mesures incitatives favorisant l'innovation durable. Jaffe et Stavins (1994), quant à eux, mettent en lumière les barrières à l'adoption technologique (asymétries d'information, manque de coordination) en soulignant que seules des politiques volontaristes permettent de surmonter ces obstacles au déploiement massif des technologies renouvelables.

Par ailleurs, la littérature insiste sur les risques de verrouillage technologique. En effet, Unruh (2000) illustre comment les systèmes énergétiques peuvent rester bloqués dans des endroits très étroits dominés par des technologies inefficaces (dépendance au sentier), nécessitant des interventions publiques fortes en vue de briser l'inertie et favoriser des alternatives plus performantes. De surcroît, et dans une perspective complémentaire, Stern (2007) montre, à travers une analyse coût-bénéfice, que des investissements précoces dans la réduction des émissions de CO₂ sont économiquement justifiés pour éviter des coûts climatiques beaucoup plus élevés dans le futur. Ces arguments soutiennent la nécessité du recours massif et rapide aux investissements publics massifs dans les EnR.

D'autres approches théoriques ont élargi ce cadre, les auteurs Markard et Rosenbloom (2023), à travers la théorie des transitions durables, mettent en garde le fait que la transition énergétique est un processus non linéaire, jalonné de phases distinctes qui nécessitant des instruments politiques adaptés. En outre, la littérature sur le retour énergétique sur investissement (EROI) (Dumas et al., 2022), met en évidence les défis liés aux systèmes bas carbone dont le rendement énergétique peut être inférieur à celui des énergies fossiles, mais qui garantissent une durabilité

à long terme. Enfin, les travaux institutionnels et sociaux d'Elkadhi (2019) et de Maresca et al. (2014) montrent que les facteurs institutionnels, réglementaires et même culturels jouent un rôle déterminant dans le succès des investissements publics et dans l'adoption des technologies renouvelables.

L'ensemble de ces contributions met en lumière plusieurs points de convergence. D'une part, la littérature reconnaît majoritairement la nécessité d'une intervention des institutions publiques pour corriger les défaillances de marché, et ainsi favoriser une innovation verte. D'autre part, l'investissement public est présenté comme un levier crucial pour surmonter les obstacles technologiques afin d'impulser une transition vers des systèmes énergétiques fluides et durables. Cependant, des divergences subsistent encore au niveau de la soutenabilité économique de long terme des technologies bas carbone (Dumas et al., 2022) et la rapidité du transfert de savoir-faire dans les pays en développement reste également un point de divergence (Elkadhi, 2019).

Malgré ces efforts, la principale lacune réside dans le manque de travaux consacrés spécifiquement au rôle des budgets publics dans les pays émergents et leur impact direct sur l'efficacité énergétique nationale. La plupart des modèles se focalisent soit sur la croissance économique, soit sur la réduction des émissions (aspect purement climatique), cependant peu articulent simultanément ces dimensions avec la performance énergétique. À cela s'ajoute un problème méthodologique majeur lié à la taille limitée des séries temporelles disponibles, notamment dans le cas du Maroc, où le nombre d'observations demeure restreint. Cette contrainte réduit la puissance statistique des estimations et peut même affecter la robustesse et la qualité des conclusions empiriques. C'est précisément pour pallier ces lacunes que notre recherche mobilise le modèle ARDL spécifiquement adapté aux données limitées, reconnu pour sa capacité à traiter de petits échantillons, tout en capturant à la fois les dynamiques de court terme et de long terme.

En guise de synthèse, la littérature théorique présentée fournit un socle intellectuel et analytique solide pour appuyer notre étude quant à l'impact du budget public alloué aux énergies renouvelables sur l'efficacité énergétique. Elle met en évidence les fondements économiques, technologiques, institutionnels et sociaux qui expliquent la nécessité d'investissements publics dans les énergies propres, ainsi que l'intérêt d'une modélisation dynamique des interactions entre les variables économiques, environnementales et énergétiques. Il est par ailleurs important de noter que l'ensemble des contributions théoriques mobilisées, toutes choses étant égales par ailleurs, alimente notre démarche de modélisation économétrique via le modèle ARDL, permettant de capter à la fois les dynamiques de court terme et les relations de long terme entre investissements publics dans les EnR, efficacité énergétique et émissions de CO₂. La combinaison des cadres de la croissance endogène, des externalités environnementales, de la soutenabilité intergénérationnelle et des transitions sociotechniques confère à notre approche une robustesse à la fois théorique et empirique. Ainsi, notre choix méthodologique se justifie pleinement par la volonté d'identifier les leviers structurels et conjoncturels de la performance énergétique au Maroc.

2.2. Panorama de la littérature empirique

La recension des écrits à caractère empirique portant sur les relations entre énergies renouvelables, croissance économique, efficacité énergétique et émissions de CO₂ est relativement abondante, elle mobilise des approches méthodologiques variées telles que l'ARDL, le VECM, le VAR, le NARDL ou encore les approches dynamiques en données de panel. Plusieurs études qui réalisées sur des pays spécifiques mettent en évidence l'importance des dynamiques de court et de long terme. En Tunisie, par exemple, Ben Jebli et Ben Youssef (2015) montrent, à l'aide d'un modèle ARDL, que la consommation d'énergies renouvelables contribue à réduire les émissions de CO₂, tandis que les énergies fossiles et le commerce

international dégradent l'environnement en aggravent le processus de la pollution. Dans le cas de l'Inde, Sinha et Shahbaz (2018) confirment la validité de la courbe de Kuznets environnementale en démontrant qu'une augmentation du revenu entraîne d'abord une hausse des émissions avant d'aboutir à une amélioration grâce à la diffusion des énergies renouvelables. En Iran, l'étude menée par Karimi et al. (2021) en mobilisant un modèle non linéaire de type NARDL, révèle que la consommation d'énergies renouvelables couplée aux émissions de CO₂, stimule paradoxalement la croissance du PIB, ce qui traduit la complexité des trajectoires de la transition énergétique dans les pays fortement dépendants des hydrocarbures. Pour le cas de la Chine, Saliba et al. (2022) concluent que les énergies renouvelables et l'innovation technologique contribuent significativement à réduire les émissions de CO₂, alors que la croissance économique et les transferts de fonds exercent un effet aggravant à court terme.

Si les études nationales offrent des enseignements contextuels, les analyses comparatives et les panels multi-pays permettent de dégager des tendances plus générales. Dans ce cadre, Busu (2020) met en évidence, pour l'Union européenne, que la consommation d'énergies renouvelables améliore la croissance économique durable, bien que l'impact varie selon les structures économiques nationales. Cependant, les auteurs Hailemariam et al. (2022), à partir d'un panel de pays émergents et industrialisés, démontrent que les investissements publics en recherche et développement orientés vers les énergies renouvelables contribuent à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Dans un autre cadre, Khan et al. (2021) observent, pour un panel de trente-huit pays, que certes, l'innovation technologique favorise les énergies renouvelables et réduit les émissions, mais que le développement financier et les flux d'investissement direct étranger (IDE) produisent des effets ambivalents. Ces résultats rejoignent ceux de Yang et al. (2022), soulignant que l'efficacité des investissements dans les énergies renouvelables dépend étroitement des structures industrielles et des effets d'échelle, révélant ainsi une forte hétérogénéité des impacts.

La littérature empirique insiste également sur le rôle catalyseur de l'innovation et de la finance verte. En effet, Hailemariam et al. (2022) montrent que les investissements publics en recherche-développement dans les énergies renouvelables sont déterminants pour réduire les émissions. Quant aux auteurs Appiah-Otoo et al. (2023), ils confirment cette dernière dynamique en mettant en évidence que les politiques de la finance verte favorisent la transition énergétique et renforcent l'efficacité énergétique, notamment dans les pays africains. Dans la même lignée, Vergil et al. (2024) stipulent que les investissements publics dans les énergies renouvelables améliorent significativement la performance climatique mondiale, illustrant ainsi le rôle stratégique des gouvernements dans l'atteinte des objectifs climatiques internationaux.

Par ailleurs, le cas du Maroc offre un terrain d'analyse particulièrement intéressant. En effet, les auteurs El Moummy et al. (2020) montrent que les énergies renouvelables contribuent à réduire les émissions de CO₂, mais constatent aussi que la courbe de Kuznets environnementale n'est pas vérifiée pour le contexte marocain. En outre, Gharnit et al. (2021) révèlent que l'accroissement de la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique stimule la croissance économique tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre, confirmant ainsi le potentiel des énergies propres dans le contexte marocain. Plus récemment, Farouki et Ferroud (2024) démontrent que la consommation d'énergies renouvelables et la formation brute de capital fixe exercent un effet positif sur la croissance à long terme, tandis que les énergies non renouvelables continuent de freiner la transition. Ces résultats traduisent l'importance des investissements publics dans la réussite de la stratégie énergétique du Royaume. Enfin, d'autres études sur la Tunisie menées par Mogodé et al. (2019), et Amayed (2025) soulignent également le rôle des politiques publiques et institutionnelles, via des approches VAR et ARDL, illustrant une dépendance persistante aux énergies fossiles à court terme.

En guise de conclusion, l'ensemble de ces travaux empiriques met en lumière plusieurs points de convergence. La majorité des études confirment que les énergies renouvelables jouent un rôle structurant dans la réduction des émissions de CO₂ et dans l'amélioration de la croissance durable et l'efficacité énergétique. Toutefois, la nécessité de politiques publiques actives, qu'il s'agisse de budgets publics, de recherche-développement ou de régulation, apparaît également comme un facteur central. En revanche, certaines divergences persistent toujours ; la soutenabilité économique des énergies renouvelables varie selon les pays et les structures industrielles, et les résultats sont souvent mitigés dans les économies fortement dépendantes des énergies fossiles. À ces divergences s'ajoute une contrainte méthodologique importante : la taille souvent restreinte des séries temporelles nationales, notamment dans le cas du Maroc, ce qui limite la robustesse des analyses et la pertinence des conclusions empiriques.

Ces constats renforcent la pertinence du recours au modèle ARDL, et plus particulièrement à sa spécification en modèle à correction d'erreur (ECM). Ce cadre économétrique est en effet reconnu pour sa capacité à traiter de petits échantillons tout en distinguant clairement les dynamiques de court et de long terme. Il constitue ainsi un outil adapté pour analyser l'impact du budget public alloué aux énergies renouvelables sur l'efficacité énergétique, en tenant compte des spécificités nationales et en s'appuyant sur les enseignements théoriques et empiriques issus de la littérature existante.

2.3. Élaborations des hypothèses de recherche

Partant de la revue de la littérature, plusieurs travaux théoriques et empiriques ont montré que les investissements publics dans les énergies renouvelables constituent un levier incontournable pour l'amélioration de l'efficacité énergétique et la réduction des émissions du dioxyde de carbone (CO₂), en particulier dans les pays en développement (Acemoglu et al., 2012a; Stern, 2007). Selon Stiglitz (1974), en corrigeant les défaillances du marché ces investissements facilitent la transition vers un système énergétique bas carbone, ils permettent également de surmonter les blocages technologiques (Unruh, 2000) et d'orienter l'innovation vers des trajectoires durables (Romer, 1990). Toutefois, la littérature souligne que la taille limitée des séries temporelles dans le cas du Maroc rend nécessaire le recours à des méthodes économétriques adaptées, comme le modèle ARDL, capable de capter à la fois les dynamiques de court terme et de long terme. Sur cette base, nous formulons les hypothèses suivantes :

- **Première hypothèse :**

« L'augmentation du budget d'investissement public alloué aux énergies renouvelables contribue à l'amélioration de l'efficacité énergétique au Maroc ». Cette hypothèse repose sur le rôle stratégique de l'État dans la correction des défaillances de marché (Stiglitz, 1974) et sur l'idée que les investissements publics orientent l'innovation vers des trajectoires durables (Acemoglu et al., 2012a; Romer, 1990). Empiriquement, plusieurs travaux marocains confirment l'importance des investissements publics dans les énergies renouvelables. Gharnit et al. (2021) montrent que l'accroissement de la part des énergies renouvelables stimule la croissance économique tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre, ce qui améliore indirectement l'efficacité énergétique. De même, Farouki et Ferroud (2024) démontrent que la consommation d'énergies renouvelables et la formation brute de capital fixe exercent un effet positif sur la croissance de long terme, confirmant l'effet structurant de la politique publique marocaine en matière d'énergies propres.

- **Deuxième hypothèse :**

« Les émissions de CO₂ provenant de la combustion des carburants détériorent l'efficacité énergétique à long terme ».

Cette hypothèse s'inscrit dans la littérature qui établit une corrélation négative entre intensité énergétique et émissions (Danish et al., 2020; Liu et al., 2022). Dans le cas du Maroc, El

Moummy et al. (2020) montrent que, bien que les énergies renouvelables réduisent les émissions, la courbe de Kuznets environnementale n'est pas vérifiée, traduisant ainsi la persistance d'une détérioration de l'efficacité énergétique au fur et à mesure que la consommation d'énergies fossiles augmente. Ces résultats confirment que, malgré les efforts de transition, les émissions de CO₂ liées aux hydrocarbures restent un frein majeur à l'efficacité énergétique nationale.

- **Troisième hypothèse :**

« Une part plus élevée des énergies renouvelables dans la consommation finale améliore l'efficacité énergétique à court et à long terme. »

Cette hypothèse découle de la théorie de l'apprentissage par la pratique (Arrow, 1962) et des externalités positives liées à la diffusion des technologies vertes. Empiriquement, les études marocaines confirment ce rôle ; Gharnit et al. (2021) soulignent que l'augmentation de la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique contribue à réduire les émissions et à stimuler la croissance, renforçant ainsi l'efficacité énergétique. De plus, les résultats de Farouki et Ferroud (2024) mettent en évidence qu'une plus grande utilisation des énergies propres améliore la performance énergétique à long terme, tout en réduisant la dépendance aux énergies fossiles.

Ainsi, ces trois hypothèses s'appuient sur un socle théorique solide et sont confirmées par des études empiriques menées au Maroc, ce qui renforce la pertinence du recours au modèle ARDL/ECM adapté aux petites séries temporelles.

3. Méthodologie

Dans cette section, nous allons présenter la démarche empirique adéquate pour l'évaluation de l'impact des investissements publics dans les énergies renouvelables sur l'efficacité énergétique au Maroc. De ce fait, notre approche analytique repose sur l'exploitation des données en série chronologique et l'estimation d'un modèle économétrique adapté à la dynamique des variables étudiées.

L'ensemble des données que nous utilisons sont de type secondaire issues de sources trois sources des célèbres : la base des indicateurs de développement de la Banque mondiale (WDI) ; l'Agence internationale de l'énergie (AIE) ; l'agence internationale pour l'énergie renouvelable (IRENA). Ces données d'ordre chronologique annuelle, couvrent la période 2000 - 2020, soit 21 observations pour chaque variable. Pour analyser ces données, nous avons opté à l'utilisation du modèle économétrique ARDL vue sa pertinence dans de telles études où la taille des échantillons est relativement réduite.

3.1. Variables de l'étude

Le tableau (1), ci-après, donne une description détaillée des variables utilisées dans notre étude : leur nature, leur source de donnée, leur unité de mesure ainsi que leur désignation codifiée utilisée le long de l'étude.

Tableau 1 Désignation des variables utilisées et source des données

Variable	Nature	Source et désignation	Observations
Intensité énergétique de l'énergie primaire (En KWh/\$ ou MJ/\$)	Variable Indépendante	(AIE) NIV_IEEP	Mesure la quantité d'énergie utilisée pour produire une unité de PIB. Toute augmentation de l'intensité énergétique implique une dégradation de l'efficacité énergétique
Budget d'investissement public dans les EnR. (En million de USD 2020)	Variable explicative principale	(IRENA) BIP_EnR	Données brutes sans transformation
Part des énergies renouvelables dans la consommation totale d'énergie. (En %)	Variable explicative de contrôle	(WDI) Part_EnR_CFE	La variable est exprimée en pourcentage
Émissions de CO2 issues de la combustion de carburants à base de fossiles. (En millions de tonne MT)	Variable explicative de contrôle	(WDI) LEMIS_CO2_CC	Cette variable a été transformée par la fonction logarithmique : $\ln()$

Source : Perfectionné par nos soins

3.2. Description des modèles

Nous rappelons que notre étude empirique se base sur des données secondaires, en séries temporelles, pour analyser l'impact du budget d'investissement public alloué aux EnR sur l'efficacité énergétique au Maroc. La période couverte est relativement petite s'étendant de 2000 à 2022. Par ailleurs, et dans souci de simplification, la variable concernant l'émission de CO2 est exprimée sous forme logarithmique naturelle, une pratique très courante en économétrie pour améliorer la robustesse, la stabilité et l'interprétabilité des résultats. Il est toutefois important de souligner que toutes les variables utilisées sont largement identifiées dans la revue de la littérature (théorique et empirique).

Nous allons à présent estimer la relation entre la variable dépendante et les variables explicatives qui lui sont associées comme suit :

$$Niv_{IEEP_t} = f(BIP_{ENR_t}, Part_{EnR_CFE_t}, LEMIS_CO2_CC_t) ; \text{ sachant que : } LEMIS_CO2_CC = \ln(EMIS_CO2_CC)$$

- **Spécification générale d'un modèle ARDL**

D'après la littérature, nous exprimons l'équation générale du modèle ARDL($p, q_1, q_2, \dots, q_k$) comme suit (Pesaran, 1998) :

$$Y_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i Y_{t-i} + \sum_{j=0}^{q_1} \beta_{1,j} X_{1,t-j} + \sum_{j=0}^{q_2} \beta_{2,j} X_{2,t-j} + \dots + \sum_{j=0}^{q_k} \beta_{k,j} X_{k,t-j} + \epsilon_t$$

Où

- Y_t : est la variable dépendante
- $X_{1,t}, X_{2,t}, \dots, X_{k,t}$: sont les variables explicatives
- p : représente le nombre de retards de la variable dépendante
- q_i : est le nombre de retards pour chaque variable explicative X_i
- α_0 : constante (intercept)
- ϵ_t : terme d'erreur aléatoire

Il est à noter que le modèle peut inclure une tendance ou d'autres spécifications déterministes, et ce, selon le « case » au niveau de l'outil utilisé (Eviews, STATA, gretl, ou autre).

• *Structure générale du modèle à correction d'erreur (ECM)*

Une fois le modèle ARDL estimé, et après confirmation de l'existence d'une relation de long terme entre l'intensité énergétique et ses facteurs déterminants via utilisation du Bounds Test de (Pesaran et al., 2001b), nous passons à l'estimation d'un modèle à correction (ECM) dont l'équation générale s'écrit comme suit :

$$\Delta Y_t = \alpha + \sum \beta_i \cdot (\Delta X_{i,t-1}) + \phi \cdot ECT_{t-1} + \epsilon_t$$

Où :

- ΔY_t : variation de la variable dépendante.
- α : est l'intercept du modèle ECM.
- β_i : Effet marginal à court terme de chaque variable explicative ΔX_i
- $\Delta X_{i,t-1}$: variations des variables explicatives.
- $ECT(t-1)$: terme de correction d'erreur (résidu de la relation de long terme).
- ϕ : vitesse d'ajustement vers l'équilibre de long terme
- ϵ_t : Erreur aléatoire.

NB : dans la littérature, nous trouvons plusieurs formulations de l'équation de spécification du modèle ECM issu d'ARDL, mais convergent toutes vers le même résultat.

4. Résultats et discussion

4.1. Résultats descriptifs

Les résultats descriptifs concernés sont : 1-Statistiques descriptives des variables ; 2-Coefficients de corrélation ; 3-Analyse des représentations graphiques ; 4-Analyses des corrélogrammes

• *Statistiques descriptives des variables de l'étude*

En utilisant l'état de sortie fourni par le logiciel Eviews, nous allons mettre en évidence les caractéristiques les plus saillantes des statistiques descriptives de toutes les variables de notre étude, notamment l'analyse et l'interprétation de : les tendances centrales (moyenne et médiane), la dispersion (Écart Type, Minimum, Maximum), la distribution (Skewness & Kurtosis) et la normalité (Test de Jarque-Bera).

Tableau 2 Analyse Statistique des Variables

Analyse des tendances centrales (Moyenne, Médiane)	
Variable	Interprétation
NIV IEPP	Moyenne (3.19) $\approx$ Médiane (3.21) : Distribution centrée, peu biaisée.
BIP_EnR	Moyenne (231.45) > Médiane (155.48) : Présence de valeurs extrêmes élevées. (Asymétrie à droite).
LEMIS CO2 CC	Moyenne (3.82) $\approx$ Médiane (3.83) : Répartition équilibrée.
Part EnR CFE	Moyenne (13.93) < Médiane (13.90) : Distribution fortement symétrique.
Analyse de la dispersion (Écart-type, Minimum & Maximum)	
Variable	Interprétation
NIV IEPP	Faible dispersion (Écart-type = 0.15) : Variations modérées autour de la moyenne.
BIP_EnR	Écart-type très élevé (320.42) : Forte volatilité du budget d'investissement public. Max=1351.127 et min= 0.004072, énorme écart-type ($\sigma = 320.42$), très forte hétérogénéité des investissements publics dans les EnR.
LEMIS CO2 CC	Écart-type modéré (0.26) : Variabilité maîtrisée des émissions.
Part EnR CFE	Dispersion importante (Écart-type = 3.37) : Évolution marquée de la part des EnR.
Analyse de la distribution de Skewness & Kurtosis (Pearson, 1895, 1905)	

<i>Variable</i>	<i>Interprétation</i>
NIV_IEEP	Skewness ≈ 0.17 : distribution légèrement asymétrique à droite Kurtosis ≈ 2.17 : proche de la normale.
BIP_EnR	Skewness = 2.38 : forte asymétrie positive ; Kurtosis = 8.49 : distribution leptokurtique (valeurs extrêmes fréquentes).
LEMIS_CO2_CC	Skewness ≈ 0.29 : distribution quasi symétrique ; Kurtosis ≈ 1.94 : légèrement aplatie.
Part_EnR_CFE	Skewness ≈ 0.91 : légère asymétrie positive ; Kurtosis = 3.11 : distribution légèrement pointue.
Normalité des distributions (Test de Jarque-Bera)	
<i>Variable</i>	<i>Interprétation</i>
NIV_IEEP	JB = 0.69 ; p = 0.70 : suit la loi normale.
BIP_EnR	JB = 46.17 ; p = 0.00 : distribution non normale (extrême).
LEMIS_CO2_CC	JB = 1.23 ; p = 0.54 : suit la loi normale.
Part_EnR_CFE	JB = 3.10 ; p = 0.21 : distribution normale acceptable.

Source : élaboré par les d'après les outputs d'Eviews

En guise de conclusion, les variables (NIV_IEEP) et (LEMIS_CO2_CC) présentent des distributions équilibrées et proches de la normale, traduisant ainsi une stabilité statistique. En revanche, BIP_EnR montre une forte dispersion et une asymétrie marquée indiquant des pics irréguliers dans les investissements publics. Cependant, la variable Part_EnR_CFE présente une évolution plus modérée mais non négligeable. Par ailleurs, les tests de normalité de Jarque et Bera¹ (1980) confirment que seule la série BIP_EnR dévie significativement de la loi normale. Ces constats préalables sont essentiels pour orienter les traitements économétriques à venir, notamment le choix des transformations et des tests de stationnarité.

• Matrice des coefficients de corrélation

Les coefficients de corrélation permettent l'évaluation des relations linéaire entre les variables. Des tests statistiques permettent de tester leur significativité. De ce fait, l'analyser des coefficients de corrélation est d'une grande utilité dans le processus de modélisation, notamment pour juger de la pertinence d'une relation linéaire entre les variables., mais aussi pour détecter l'existence d'une multicolinéarité entre les variables explicatives (Keho, 2023).

Tableau 3 : Matrice des coefficients de corrélations

Variables	NIV_IEEP	BIP_ENR	PART_ENR_CFE	LEMIS_CO2_CC
NIV_IEEP	1	-0.363800	0.771845	-0.621819
BIP_ENR	-0.363800	1	-0.376220	0.475690
PART_ENR_CFE	0.771845	-0.376220	1	-0.742240
LEMIS_CO2_CC	-0.621819	0.475690	-0.742240	1

Source : Réarrangé par les auteurs d'après l'output du logiciel Eviews.

L'analyse de cette matrice des coefficients de corrélation met en évidence un ensemble d'enseignements clés pour notre étude. D'abord, l'intensité énergétique (NIV_IEEP) est fortement corrélée positivement avec la part des énergies renouvelables dans la consommation finale (PART_ENR_CFE), ce qui suggère que la montée en puissance des EnR s'accompagne paradoxalement d'une intensité élevée, cela reflète probablement des effets transitoires liés à la phase d'intégration technologique. En revanche, la relation négative observée entre NIV_IEEP et les émissions de CO2 issues des carburants (LEMIS_CO2_CC) traduit une dynamique inverse entre efficacité énergétique et émissions de dioxyde de carbone, ce qui illustre des mécanismes structurels propres au contexte marocain. Par ailleurs, le budget d'investissement public alloué aux EnR (BIP_ENR) présente une corrélation négative avec le niveau d'intensité

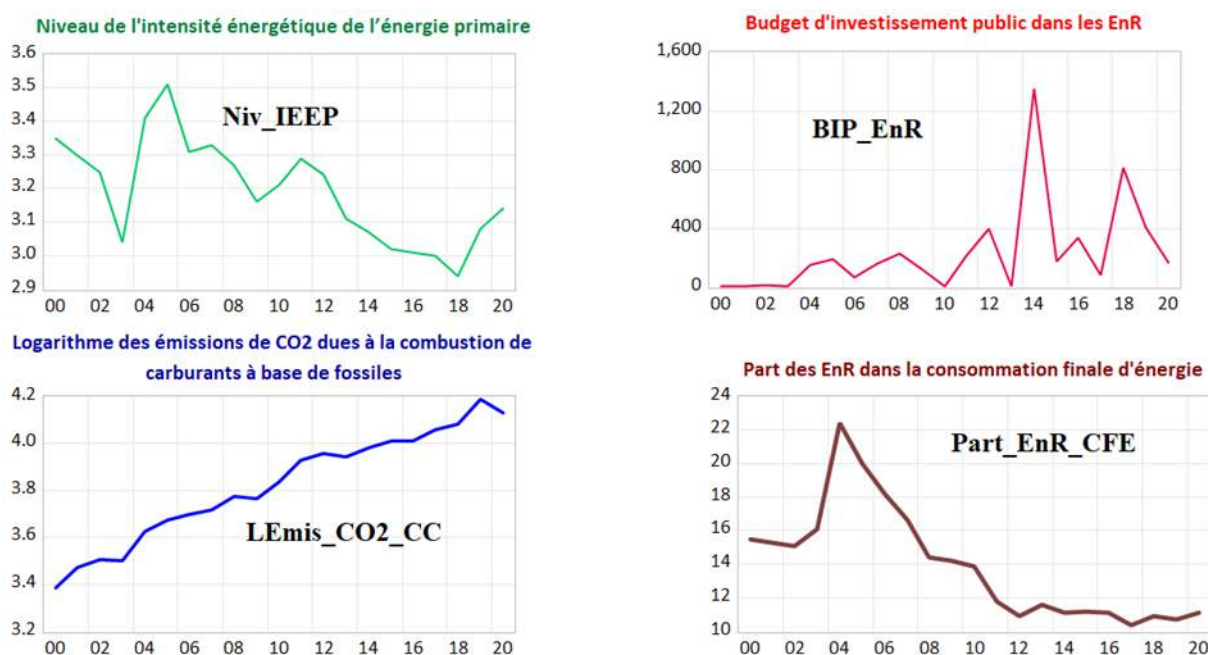
¹ Formule du test : $JB=6n(S^2+4(K-3)/2)$ où n : taille de l'échantillon, S : skewness, K : kurtosis

énergétique (NIV_IEEP), confirmant ainsi le rôle potentiel d'un tel investissement quant à l'amélioration de l'efficacité énergétique, et ce, bien que ses effets sur la part des EnR apparaissent différés. Enfin, le lien fortement négatif entre PART_ENR_CFE et LEMIS_CO2_CC confirme que l'augmentation de la part des renouvelables contribue à réduire les émissions et renforce la pertinence des politiques publiques en faveur d'un mix énergétique plus durable, même si cela n'entre pas directement dans notre objet d'étude.

- **Aspect visuelle des représentations graphiques des séries**

Dans l'analyse des séries chronologiques, il est souvent de coutume de commencer par leur analyse visuelle via leur représentation graphique, et ce, pour avoir une idée préalable sur leur tendance générale.

Figure 1 : Représentation graphiques des séries de l'étude



Source : Output du logiciels Eviews réarrangé par les auteurs

Dans toute recherche basée sur des séries temporelles, il est important de commencer par une première analyse visuelle afin d'avoir une idée générale sur la stationnarité des variables. Cette étape repose sur l'examen des représentations graphiques des séries ainsi que sur leurs corrélogrammes. Cela permet de mettre en évidence la présence de tendances, de cycles ou de ruptures structurelles.

Dans le cadre de notre étude, la série Niv_IEEP mesurant l'intensité énergétique de l'énergie primaire, présente de légères fluctuations autour d'une tendance globalement décroissante sur la période 2000 - 2020 ce qui reflète une amélioration progressive de l'efficacité énergétique au Maroc. Toutefois, un changement de tendance est remarquable à partir de 2018 marquant une légère hausse de la consommation d'énergie par unité de PIB. Une telle dynamique suggère que la série est probablement non stationnaire en niveau à cause d'une tendance persistante et la présence de fluctuations non aléatoires.

Concernant la série BIP_EnR qui représente le budget d'investissement public dans les énergies renouvelables, elle est caractérisée par une forte volatilité. En effet, des pics bien visibles sont observés en 2004, 2012, 2014, 2016 et 2018, ce qui traduit une politique publique d'investissement souffrant d'une série irrégularités. Cette instabilité structurelle dans les montants investis renforce l'hypothèse d'une éventuelle non-stationnarité en niveau.

Par ailleurs, la série $LEMIS_CO2_CC$, exprimée en logarithme naturel, correspondant aux émissions de CO2 issues de la combustion des carburants fossiles, suit une tendance haussière relativement régulière révélant une pression environnementale croissante au fil du temps. En outre, la linéarité apparente de cette trajectoire plaide également en faveur d'une non-stationnarité de la série en niveau.

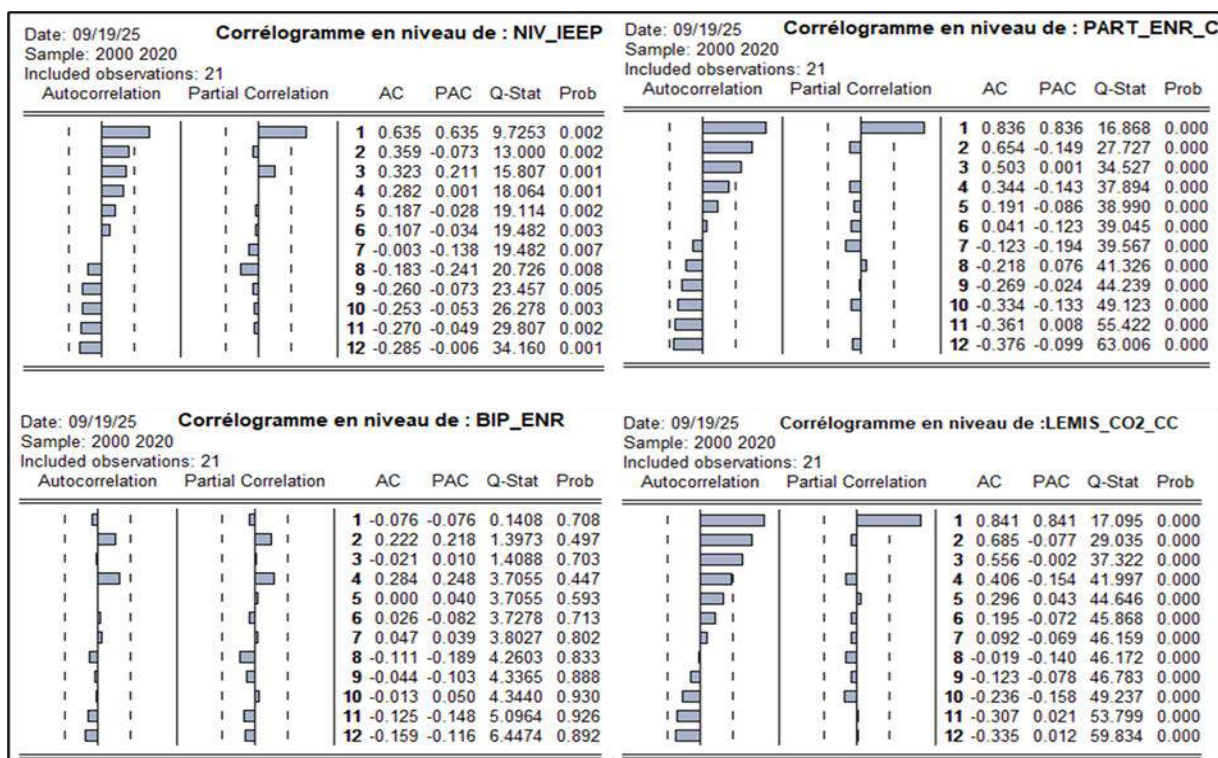
S'agissant enfin de la série $Part_EnR_CFE$, représentant la part des énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie, le graphique met en évidence une baisse significative après un pic enregistré en 2004. Cette décroissance semble se stabiliser autour de 11 % à partir de 2014 traduisant un affaiblissement du recours aux EnR dans le mix énergétique au niveau national. D'ailleurs, la présence d'une tendance décroissante prolongée suggère une probable non-stationnarité de la série à son niveau initial.

Sur la base de ces premières observations visuelles, il est de précaution de supposer que les quatre séries ne deviennent stationnaires qu'après leur première différenciation. Toutefois, cette intuition doit être confirmée par des tests formels de stationnarité (comme le test ADF, PP ou KPSS) pour valider empiriquement le comportement stochastique de ces variables.

• Analyse des corrélogrammes des séries

Selon les états de sortie d'Eviews, les corrélogrammes des séries brutes indiquent une forte corrélation pour les séries $Part_EnR_CFE$ et $LEMIS_CO2_CC$ ce qui présage leur non stationnarité en niveau. En revanche, les séries Niv_IEEP et BIP_EnR paraissent stationnaire en niveau. Toutefois, en première différence, l'analyse de l'autocorrélation des séries confirment que toutes les séries, non stationnaires en niveau, sont devenues stationnaires après différenciation, ce qui justifie notre choix de l'utilisation d'un modèle ARDL (Autorégressif à retards distribués) dans l'analyse économétrique. En effet, le modèle ARDL est adapté aux séries intégrées en niveau $I(0)$ ou d'ordre $I(1)$ permettant d'évaluer les relations de long et court terme entre les variables de l'étude. Cependant, reste à renforcer ce constat par le biais de l'un des tests de stationnarité (ADF, PP ou KPSS).

Figure 2 : Corrélogramme en niveau des séries de l'étude



Source : Output du logiciels Eviews réarrangé par les auteurs

4.2. Résultats empiriques

Tout au long de la présente section, nous allons essayer de mettre en évidence les principaux résultats empiriques que nous avons obtenus en étudiant l'impact du budget d'investissement public en EnR sur l'efficacité énergétique au Maroc.

• *Étude de la stationnarité des variables de l'étude*

Les études économétriques sur les séries temporelles reposent fondamentalement sur la stationnarité des variables. En effet, une série est dite stationnaire si ses caractéristiques statistiques (moyenne, variance et autocorrélation) restent constantes dans le temps (Hamilton, 1994). En revanche, une série non stationnaire présente des tendances persistantes ou des évolutions instables susceptibles de fausser les résultats de régressions classiques, ce qui mène à des régressions fallacieuses. Ainsi, avant toute modélisation, il est indispensable de déterminer l'ordre d'intégration de chaque variable à l'aide de tests de racine unitaire tels que le test de Dickey-Fuller augmenté (1979), Phillips-Perron (Phillips & Perron, 1988) et d'autres. Cela permet d'assurer la validité des relations estimées, notamment lorsqu'il s'agit de détecter l'existence d'une relation de long terme (cointégration) entre les variables. Entre autres, notre objectif est de vérifier l'ordre d'intégration des variables de l'étude pour valider l'utilisation éventuelle du modèle ARDL.

Tableau 4 : récapitulatif des Tests de Stationnarité des séries

Variable	Selon corrélogramme	ADF	PP	Résultat retenu	Commentaire
NIV_IIEP	Stationnaire en niveau,	I(0)	I(1)	I(0)	Stationnaire en niveau autour d'une tendance déterministe
BIP_EnR	Stationnaire en niveau,	I(0)	I(0)	I(0)	Cohérence parfaite entre les tests
LEMIS_CO2_CC	Non stationnaire en niveau, stationnaire en 1 ^{ère} différence	I(1)	I(1)	I(1)	Non stationnaire en niveau, stationnaire en première différence
Part_EnR_CFE	Non stationnaire en niveau, stationnaire en 1 ^{ère} différence	I(1)	I(1)	I(1)	Non stationnaire en niveau, stationnaire en première différence

Source : élaboré par les auteurs à partir des outputs d'Eviews

En guise de conclusion, les résultats obtenus montrent que toutes les variables sont soit stationnaires en niveau, soit deviennent stationnaires après une première différenciation, ce qui légitime notre utilisation d'un modèle ARDL (Autoregressive Distributed Lag), car ce dernier est conçu pour les séries intégrées I(0) ou I(1), même avec des tailles faibles.

Par conséquent, nous pouvons désormais passer à l'étape d'estimation ARDL pour analyser l'impact du budget d'investissement public en EnR sur l'efficacité énergétique au Maroc.

• *Estimation du modèle ARDL retenu*

D'après l'état de sortie de l'opération d'estimation du modèle ARDL (généré par le logiciel Eviews), nous constatons que la qualité d'ajustement est excellente (R^2 ajusté = 0.859792), ce qui justifie une très bonne capacité explicative du modèle (environ 86 % de la variance de la variable dépendante est expliquée par le modèle).

En outre, le modèle estimé est globalement significatif (F-statistique = 13.26452 et Prob(F) = 0.00034) et ne présentant aucune preuve d'autocorrélation résiduelle forte car le test Durbin-Watson est très proche de 2 (1.98). En plus, les trois critères d'information (AIC, SIC et HQ) sont faibles confirmant davantage la qualité globale et la pertinence du modèle sélectionné. Ce

qui apporte une garantie supplémentaire que les résultats estimés ne sont ni surajustés ni biaisés. (Voir tableau 5)

Tableau 5 : Estimation du modèle ARDL (1,1,2,1)

Selected model: ARDL(1,1,2,1)				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.*
NIV_IEEP(-1)	-0.409958	0.428283	-0.957214	0.3635
BIP_ENR	-7.59E-05	5.22E-05	-1.453545	0.1800
BIP_ENR(-1)	-9.56E-05	5.26E-05	-1.818179	0.1024
LEMIS_CO2_CC	1.881517	0.419356	4.486682	0.0015
LEMIS_CO2_CC(-1)	1.975840	1.036266	1.906692	0.0889
LEMIS_CO2_CC(-2)	-0.680849	0.432142	-1.575522	0.1496
PART_ENR_CFE	0.018930	0.012538	1.509737	0.1654
PART_ENR_CFE(-1)	0.019194	0.016235	1.182305	0.2674
C	-6.950644	2.760481	-2.517910	0.0329
@TREND	-0.118382	0.046143	-2.565563	0.0304
R-squared	0.929896	Mean dependent var		3.178421
Adjusted R-squared	0.859792	S.D. dependent var		0.153452
S.E. of regression	0.057459	Akaike info criterion		-2.570075
Sum squared resid	0.029714	Schwarz criterion		-2.073002
Log likelihood	34.41571	Hannan-Quinn criter.		-2.485951
F-statistic	13.26452	Durbin-Watson stat		1.981101
Prob(F-statistic)	0.000345			

Source : Output du logiciels EvIEWS réarrangé par les auteurs

Le modèle ARDL (1,1,2,1) estimé est conçu pour analyser l'évolution du niveau de l'intensité énergétique de l'énergie primaire (NIV_IEEP) au Maroc entre 2000 et 2020 s'articule autour trois principaux déterminants explicatifs : le budget d'investissement public dans les énergies renouvelables (BIP_ENR), les émissions de CO2 provenant de la combustion des carburants fossiles (LEMIS_CO2_CC) et la part des énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie (PART_ENR_CFE). Par ailleurs, le modèle inclut également une constante et une tendance temporelle pour refléter la dimension structurelle de la trajectoire énergétique au niveau national.

Les résultats obtenus mettent en évidence le fait que les émissions en dioxyde de carbone constituent le facteur le plus déterminant dans la dégradation de l'efficacité énergétique. En effet, le coefficient contemporain est positif et hautement significatif (environ +1,88 avec $p < 0,01$) indiquant qu'une hausse des émissions fait augmenter l'intensité énergétique, autrement dit, réduit l'efficacité énergétique. D'ailleurs, les retards de cette variable confirment ce constat : un effet positif marginal au premier retard et un signe négatif au second retard, non significatif, ce qui traduit des effets transitoires susceptibles de se corriger au fil du temps. En revanche, les coefficients de la variable explicative principale (BIP_ENR), bien que négatifs comme prévu, ne sont pas significatifs, suggérant ainsi que l'impact des investissements publics en EnR ne se réagissent pas immédiatement sur l'efficacité énergétique. Par ailleurs, en ce qui concerne la part des EnR dans la consommation finale, les coefficients sont positifs mais non significatifs, cette situation peut s'expliquer par les coûts d'ajustement liés à la phase de transition énergétique au Maroc.

Quant aux paramètres déterministes, ils apportent des indications importantes, En effet, la constante (C) et la tendance temporelle (@TREND) sont négatives et significatives, ce qui traduit une orientation structurelle vers une baisse de l'intensité énergétique au fil du temps, indépendamment des chocs conjoncturels. Toutefois, le coefficient associé au retard de la variable dépendante (NIV_IEEP (-1)) n'est pas significatif suggérant une faible inertie immédiate.

Globalement, le modèle présente une excellente qualité d'ajustement ($R^2 = 0,93$; R^2 ajusté = 0,86), validé par la statistique F qui est très significative. Toutefois, il convient de rappeler que les coefficients estimés dans cette forme en niveaux ne permettent pas d'isoler clairement les

effets de court et de long terme. Pour cela, le passage à un modèle de type ECM (Error Correction Model) reste nécessaire afin de mieux appréhender la dynamique d'ajustement et les relations structurelles entre les variables.

- **Spécification du modèle retenu ARDL (1,1,2,1)**

Selon des informations produites par l'estimation du modèle (figure 3 ci-dessus), et suivant l'équation générale d'un modèle autorégressif à retards distribués (voir plus haut) nous en déduisons l'équation de la spécification finale de notre modèle ARDL, soit :

$$\begin{aligned} Niv_IEEP_t = & -6,950644 - 0,409958 * Niv_IEEP_{t-1} \\ & - 0,0000759 * BIP_{IB_ENR_t} - 0,0000956 * BIP_ENR_{t-1} \\ & + 1,881517 * LEmis_CO2_CC_t + 1,97584 * LEmis_CO2_CC_{t-1} \\ & - 0,680849 * LEmis_CO2_CC_{t-2} + 0,01893 * Part_EnR_CFE_t \\ & + 0,019194 * Part_EnR_CFE_{t-1} - 0,118382 * @TREND_t + \epsilon_t \end{aligned}$$

4.3. Validation économétrique du modèle ARDL (1,1,2,1)

Afin de nous assurer de la robustesse et la validité du modèle ARDL estimé, nous allons lui appliquer lui une batterie de tests économétriques classiques. Cette démarche nous permet de vérifier les hypothèses fondamentales du modèle, étudier l'existence d'une relation de cointégration entre les variables, et ainsi approfondir la dynamique du modèle à travers l'estimation d'un modèle à correction d'erreur ECM).

- **Tests de diagnostic du modèle (validité des hypothèses classiques)**

Après l'estimation réussie de notre modèle ARDL, il est crucial de nous assurer de sa validité économétrique, et ce, avant de tirer des conclusions ou d'envisager son utilisation à des fins prédictives. En effet, même si des coefficients apparaissent significatifs et que le pouvoir explicatif du modèle est élevé, cela ne garantit pas pour autant la robustesse globale du modèle. Les tests de validation permettent de vérifier que les hypothèses fondamentales de la régression linéaire sont bien respectées, à savoir :

- L'absence d'autocorrélation des résidus (LM Test de Breusch-Godfrey),
- L'homoscédasticité des erreurs, variance constante (Test de Breusch-Pagan ou White),
- La normalité des résidus (Test de Jarque-Bera),
- La stabilité des coefficients dans le temps (CUSUM / CUSUMQ),
- Test de spécification fonctionnelle du modèle (Test de Ramsey RESET).

Ces tests, de nature complémentaire à l'analyse des coefficients, constituent une étape indispensable pour confirmer que le modèle ARDL retenu est statistiquement fiable et économiquement interprétable. Le tableau ci-après récapitule les résultats de ces cinq tests :

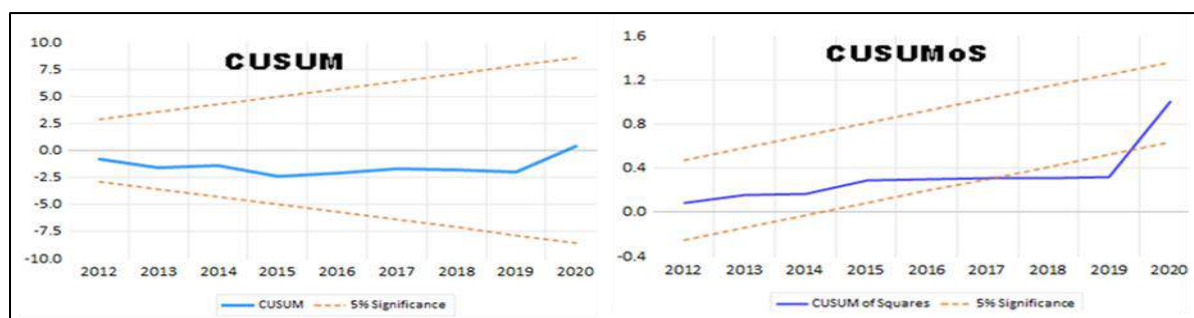
Tableau 6 : Tests de confirmation de la robustesse générale de notre modèle

Test	But	Seuil critique	Résultat
LM Test de Breusch-Godfrey	Corrélation des résidus	F-stat = 0.6834 ; _p-value (0.5356) est > 0.05	Absence d'autocorrélation des résidus
Breusch- Pagan -Godfrey	Variance constante	La p-value de Obs*R-squared (0.1397) est > 0.05	Variance constante Homoscédasticité
Jarque-Bera	Normalité des erreurs	JB = 0.599 avec p-value = 0.7412 > 0.05	Résidus suivent une distribution normale
CUSUM / CUSUMQ (Voir figure 4 ci-dessous)	Stabilité du modèle	Les deux courbes sont globalement dans les bandes de confiance	La stabilité des coefficients est validée

Test	But	Seuil critique	Résultat
Ramsey RESET	Spécification fonctionnelle	Toutes les p-values du test sont supérieures à 5%	Modèle bien spécifié

Source : élaboré par les auteurs selon les sorties d'Eviews

Figure 3 : Tests de stabilité des coefficients (CUSUM et COSUM of Square



Source : Output du logiciels Eviews réarrangé par les auteurs

• Bounds Test et relation de cointégration

Le test de cointégration par la méthode des bornes (Bounds Test), proposé par Pesaran et al. (2001), permet de vérifier l'existence d'une relation de long terme entre les variables du modèle ARDL(1,1,2,1). L'hypothèse nulle stipule l'absence de cointégration, c'est-à-dire l'absence de relation de long terme entre les variables.

D'après les résultats obtenus sous EViews, la statistique **F** du test est de **5.2035**.

Or, la comparaison de cette valeur aux bornes critiques asymptotiques fournies par Pesaran à **10 %** de niveau de signification donne :

Borne inférieure **I(0) = 3.770**

Borne supérieure **I(1) = 4.535**

Étant donné que **5.203444 > 4.535**, la statistique **F** dépasse la borne supérieure au seuil de **10%**, on rejette donc l'hypothèse nulle de non-cointégration, ce qui confirme l'existence d'une relation de long terme entre l'intensité énergétique et ses variables explicatives, y compris la tendance temporelle.

Par conséquent, ce résultat valide l'utilisation d'un modèle à correction d'erreur (ECM) pour analyser les dynamiques de court et long terme dans le cadre de l'étude sur l'impact de l'investissement public en EnR sur l'efficacité énergétique au Maroc.

• Processus d'estimation d'un modèle à correction d'erreur (ECM)

L'existence d'une relation de cointégration entre les variables, confirmée via le test aux bornes, légitime la spécification d'un modèle à correction d'erreur (ECM). Ce dernier est utile pour capturer les dynamiques de court terme en prenant en considération les variations immédiates des variables explicatives, tout en mettant en évidence le mécanisme de retour à l'équilibre de long terme. De ce fait, le modèle ECM intègre une composante appelée terme de correction d'erreur, souvent noté ECTt, qui mesure le déséquilibre observé à la période précédente. Ce terme indique dans quelle mesure la variable dépendante ajuste ce déséquilibre afin de converger vers sa trajectoire de long terme.

La création du terme ECT via la commande Eviews suivante :

$$ECT = NIV_IEEP(-1) - (-0.000122*BIP_ENR(-1) + 2.252909*LEMIS_CO2_CC(-1) + 0.027039*PART_ENR_CFE(-1) - 0.083961*@trend)$$

Le terme $ECT(t-1)$ (Erreur de Correction) mesure l'écart de l'intensité énergétique (NIV_IEEP) par rapport à sa relation d'équilibre de long terme avec ses déterminants fondamentaux (BIB_ENR, LEMIS_CO2_CC, Part_EnR_CFE et la tendance temporelle (@TREND)).

Ce terme évalue le niveau de déséquilibre enregistré à la période précédente, qui va être corrigé partiellement ou totalement au cours de la période courante par les dynamiques de court terme du modèle ECM. Autrement dit, le terme ECT_{t-1} mesure l'écart de l'intensité énergétique par rapport à sa relation de long terme avec l'investissement public dans les EnR, les émissions de CO2, la part des EnR dans la consommation finale, et la tendance temporelle.

Dans le modèle ECM que nous allons estimer, le coefficient du $ECT(t-1)$ doit être négatif (généralement entre -1 et 0). Ce dernier indique la vitesse à laquelle le système retourne à l'équilibre de long terme après un choc.

Selon les états de sortie extraits d'Eviews, la formulation de l'équation de cointégration (long terme) estimée à partir du modèle ARDL(1,1,2,1) s'écrit comme suit :

$$\text{Niv_IEEP}_t = -0.000122 * \text{BIP_EnR}_{t-1} + 2.252909 * \text{Lemis_CO2_CC}_{t-1} \\ + 0.027039 * \text{Part_EnR_CFE}_{t-1} - 0.083961 * \text{Trend}_t + u_t$$

À présent, nous allons donner une brève interprétation pour chacun des coefficients estimés par cette équation de cointégration (long terme), représentant des effets retardés dans le modèle ECM.

Tableau 7 : Interprétations et commentaires sur les composantes de cette équation

Variable	Interprétations/Commentaires des coefficients
BIP_ENR_{t-1}	Le coefficient (-0.000122) est très faible, négatif et significatif au seuil de 10%, suggérant qu'à long terme, une augmentation des investissements publics dans les EnR est légèrement associée à une amélioration de l'efficacité énergétique (réduction de l'intensité énergétique), bien que son effet reste relativement faible.
$\text{Lemis_CO2_CC}_{t-1}$	Le coefficient (2.252909) est positif et significatif au seuil de 1%, indiquant qu'une hausse des émissions de CO2 détériore l'efficacité énergétique à long terme.
$\text{Part_EnR_CFE}_{t-1}$	Le coefficient (0.02739) est positif et significatif au seuil de 1%, indiquant qu'une part plus élevée des EnR dans la consommation finale d'énergie est corrélée à une intensité énergétique plus élevée ce qui est contre intuitif. Cela peut être dû à des effets de transition ou d'adaptation technologique non encore stabilisés.
Trend_t	Le terme de tendance (-0.83961) est négatif et très significatif au seuil de 1% suggérant une amélioration structurelle de l'efficacité énergétique au fil du temps, toutes choses égales par ailleurs.
u_t	Terme d'erreur

Source : élaboré par les auteurs à partir des sorties d'Eviews

Suite à la confirmation de l'existence d'une relation de cointégration via le Bound Test, un modèle ECM peut être estimé pour capturer les dynamiques de court terme et le processus d'ajustement vers l'équilibre de long terme. Il s'agit d'une transformation pure et simple du modèle ARDL(1,1,2,1) précédemment estimé

Tableau 8 : Extrait de l'estimation du modèle à correction d'erreur (ECM)

Modèle ECM issu de ARDL(1,1,2,1)				
Variable dépendante : D(Niv IEPP) ; Case 4				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
NIV IEPP(-1)*	-1,409957	0,428285	-3,292101	0,0093
BIP ENR(-1)	-0,000171	8,85E-05	-1,936323	0,0848
LEMIS CO2 CC(-1)	3,176505	1,105771	2,87266	0,0184
PART ENR CFE(-1)	0,038124	0,009304	4,097566	0,0027
@TREND	-0,118382	0,046143	-2,565551	0,0304
D(BIP ENR)	-0,0000759	5,22E-05	-1,453538	0,18
D(LEMIS CO2 CC)	1,881518	0,419357	4,486674	0,0015
D(LEMIS CO2 CC(-1))	0,680847	0,432143	1,575514	0,1496
D(PART ENR CFE)	0,01893	0,012538	1,509732	0,1654
C	-6,950639	2,760489	-2,517901	0,0329
R-squared	0,903417	Mean dependent var		-0,008421
Adjusted R-squared	0,866270	S.D. dependent var		0,130736
S.E. of regression	0,0478809	Akaike info criterion		-2,991124
Sum squared resid	0,029714	Schwarz criterion		-2,072998
Log likelihood	34,41567	Hannan-Quinn criter.		-2,940649
F-statistic	24,31996	Durbin-Watson stat		1,981097
Prob(F-statistic)	0,000004			

Source : sortie Eviews réarrangée par les auteurs

Nous allons interpréter brièvement les éléments importants contenus dans l'estimation du modèle ECM, et ce, selon leur ordre d'apparition. Commençons d'abord par les coefficients estimés avant de passer au diagnostic global et qualité d'ajustement du modèle puis à la spécification du notre modèle ECM.

a) Lecture interprétative des coefficients de l'ECM

Tableau 9 : Résumé des coefficients de court terme estimés

Variable/Constante	Coefficient	p-value	Interprétation
COINTEQ*	-1.409958	0.0000	Vitesse d'ajustement vers l'équilibre. Significatif et négatif indiquant un retour rapide vers l'équilibre de long terme.
D(BIP_ENR)	-0,0000759	0.0143	Effet de court terme, négatif et significatif, montre que les investissements publics en EnR améliorent l'efficacité énergétique.
D(LEMIS_CO2_CC)	1.881517	0.0000	Effet positif et très significatif suggérant Qu'une hausse des émissions de CO2 dégrade l'efficacité énergétique à court terme.
D (LEMIS_CO2_CC (-1))	0.680849	0.0600	Effet retardé modérément significatif des émissions. Contribution négative sur l'efficacité énergétique.
D(PART_ENR_CFE)	0.018930	0.0156	Effet court terme significatif mais paradoxalement positif, suggérant une détérioration de l'efficacité énergétique. Résultat contre intuitif
Constante	-6.950644	0.0000	Constante structurelle négative dans l'équation ECM.

Source : Élaboré par les auteurs selon les données fournies par Eviews

b) Diagnostic global et qualité d'ajustement du modèle à correction d'erreur

Selon les informations fournies par l'estimation du modèle ECM, nous avons les résultats suivants :

- $R^2 = 0.903417$: excellente capacité explicative.

- R^2 ajusté = 0.866270 : le modèle reste performant après correction du nombre de variables.
- F-statistic = 24.31996 ($p < 0.01$) : le modèle est globalement très significatif. (Durbin-Watson = 1.981097) : absence d'autocorrélation dans les résidus.
- S.E. de régression = 0.047809 : faibles erreurs standards des résidus.

En guise de conclusion, le modèle ECM estimé est économétriquement robuste. Il confirme un mécanisme d'ajustement vers une relation d'équilibre stable entre l'intensité énergétique et ses déterminants. Les émissions de CO2 jouent un rôle majeur à court terme, tandis que les investissements en EnR et la part des énergies renouvelables dans la consommation finale ont des effets qui méritent une analyse complémentaire selon les délais de mise en œuvre et les structures technologiques nationales.

c) Spécification finale du modèle ECM

Le modèle ECM estimé peut s'écrire sous la forme :

$$\Delta Niv_IEEP_t = \alpha_0 + \lambda * COINTEQ_{t-1} + \beta_1 * \Delta BIP_ENR_t + \beta_2 * \Delta LEMIS_CO2_CC_t + \beta_3 * \Delta LEMIS_CO2_CC_{t-1} + \beta_4 * \Delta PART_ENR_CFE_t + \varepsilon_t$$

Où :

- λ : représente le coefficient de correction
- α_0 : représente est la constante du modèle.
- β_i : représente les effets de **court terme** des variations des variables explicatives.
- $COINTEQ_{t-1}$: représente le terme d'erreur de cointégration mesurant le déséquilibre passé.

En remplaçons tous les coefficients par leur valeur estimé on obtient :

$$\Delta Niv_IEEP_t = -6.950644 - 1.409958 * COINTEQ_{t-1} - 0.0000759 * \Delta BIP_ENR_t + 1.881517 * \Delta LEMIS_CO2_CC_t + 0.680849 * \Delta LEMIS_CO2_CC_{t-1} + 0.018930 * \Delta PART_ENR_CFE_t + \varepsilon_t$$

Le coefficient de correction d'erreur ($\lambda = -1.4099$) est négatif et très significatif confirmant l'existence d'une relation de long terme entre les variables, ce indique un retour rapide vers l'équilibre après un choc. Étant donné que la valeur absolue de λ est supérieure à 1, cela implique une sur-correction : l'ajustement vers l'équilibre est plus que proportionnel à chaque période traduisant ainsi une dynamique de réajustement très forte. La vitesse de correction est généralement approximée par le rapport $1/|\lambda|$, soit environ 0.71 année (environ près de 8 mois et demi). Autrement dit, chaque déséquilibre observé, lors d'un choc, sur l'efficacité énergétique tend à être corrigé en moins d'une année.

• Discussion des résultats et validation des hypothèses

À travers cette section, nous mettons en relief les résultats empiriques les plus saillants issus de l'estimation du modèle à correction d'erreur (ECM) appliqué à l'étude de l'impact de l'intelligence artificielle sur l'efficacité énergétique au Maroc. Nous discutons également à propos de la robustesse du modèle, puis nous évaluons la validité des hypothèses formulées lors de la revue de la littérature. Ci-dessous un tableau récapitulatif des résultats concernant la validation des hypothèses de recherche.

Tableau 10 : Récapitulatif du processus de validation des hypothèses de recherche

Hypothèse	Variable Explicative	Effet LT (ARDL)	Effet CT (ECM)	Validation
L'augmentation du budget d'investissement public alloué aux EnR contribue à l'amélioration de l'efficacité énergétique au Maroc	BIP_EnR	-0.000122 (S10%) E. faible	-0,0000759 (S5%) E. faible	LT+CT (HV)
Les émissions de CO2 provenant de la combustion des carburants détériorent l'efficacité énergétique à long terme	LEMIS CO2 CC	+2.252909 (S1%)	+1.881517 (S1%)	LT+CT (HV)
	LEMIS CO2 CC (-1)		+0.680849 (S10%)	
Une part plus élevée des énergies renouvelables dans la consommation finale améliore l'efficacité énergétique à court et à long terme	Part_EnR_CC	+0.027039 (S1%)	+0.018930 (S5%)	Résultat contre intuitif à (LT et CT) (HNV)
- (HV) : hypothèse validée ; (HNV) : hypothèse non validée ; E. Faible : effet considéré comme faible				

Source : Élaboré par les auteurs

Les résultats économétriques issus de l'estimation du modèle à correction d'erreur (ECM) mettent en évidence plusieurs enseignements importants relatifs à la dynamique de l'efficacité énergétique au Maroc.

Tout d'abord, le terme d'ajustement (ECT_{t-1}) est négatif et largement significatif ($\lambda = -1.4099$). Ce résultat confirme l'existence d'un mécanisme de rappel à l'équilibre et traduit une forte capacité du système énergétique marocain à corriger rapidement les déséquilibres de long terme après des chocs conjoncturels. La valeur absolue du coefficient, supérieure à l'unité, indique une sur-correction : l'ajustement vers l'équilibre est plus que proportionnel, ce qui peut engendrer des oscillations de courte durée avant la stabilisation. D'ailleurs, ce constat est en cohérence avec la littérature sur les modèles ARDL/ECM (Pesaran et al., 2001) qui souligne l'importance des mécanismes correctifs dans l'analyse dynamique des systèmes énergétiques. Concernant les variables explicatives, les résultats obtenus montrent que le budget d'investissement public dans les énergies renouvelables (BIP_ENR) exerce un effet négatif aussi bien à court terme (-0.0000759, S5%) qu'à long terme (-0.000122, S10%). Cela indique que l'augmentation du budget public EnR contribue à la réduction de l'intensité énergétique, et par conséquent, à une amélioration progressive de l'efficacité énergétique. Toutefois, l'ampleur des coefficients reste faible, ce qui suggère que l'effet de ces investissements se matérialise de façon graduelle et requiert non seulement des montants soutenus, mais aussi une certaine durée pour être pleinement perceptible. Cela peut s'expliquer par le temps nécessaire à la mise en œuvre et à l'opérationnalisation des projets énergétiques, ainsi que par les délais d'intégration des nouvelles infrastructures dans le système électrique national. En conséquence, l'impact tangible sur l'efficacité énergétique ne se manifeste qu'à moyen ou long terme.

Par ailleurs, les émissions de CO2 issues de la combustion des carburants (LEMIS_CO2_CC) apparaissent comme étant le facteur le plus déterminant de la dégradation de l'efficacité énergétique. En effet, leurs effets sont positifs et significatifs aussi bien à long terme (+2.2529, S1%) qu'à court terme (+1.8815, S1%), traduisant ainsi qu'une hausse des émissions s'accompagne d'une augmentation de l'intensité énergétique, donc une détérioration de l'efficacité énergétique. En outre, l'effet retardé (+0.6808, S10%) confirme la persistance de cette dynamique négative. Toutefois, ces résultats restent cohérents avec les travaux de Liu et al. (2022), qui met l'accent sur l'impact structurel des émissions sur l'efficacité énergétique dans les économies émergentes.

En revanche, la part des énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie (PART_ENR_CFE) présente un effet paradoxal. En effet, les coefficients estimés sont positifs et significatifs tant à court terme (+0.0189, S5%) qu'à long terme (+0.0270, S1%), ce qui indique une augmentation de l'intensité énergétique lorsque la part des EnR s'accroît. Il s'agit

d'un résultat contre-intuitif par rapport aux attentes théoriques, il peut être expliqué par les effets de transition énergétique, notamment les coûts d'intégration des renouvelables intermittentes, la dépendance temporaire aux énergies fossiles d'appoint et les délais de mise en service des infrastructures de stockage et de régulation. Ces observations rejoignent celles de certaines études empiriques menées dans les pays en développement, où les bénéfices des EnR ne se traduisent pas immédiatement par des gains d'efficacité énergétique.

Enfin, les tests de robustesse (absence d'autocorrélation, absence d'hétéroscédasticité, normalité des résidus et stabilité des coefficients selon CUSUM et CUSUMQ) confirment la crédibilité des estimations obtenues.

La confrontation des résultats obtenus avec nos hypothèses de recherche a donné ce qui suit :

- 1) Le budget public alloué aux EnR a bien un effet positif, mais faible, sur l'efficacité énergétique à long terme comme à court terme. D'où la validation totale de la première hypothèse ;
- 2) Les émissions de CO₂ constituent un facteur majeur de détérioration de l'efficacité, à long terme, mais aussi relativement à court terme. D'où la deuxième est aussi pleinement validée ;
- 3) En revanche, la part des EnR dans la consommation finale ne joue pas encore son rôle attendu, ce qui invite à renforcer les politiques de gestion de l'intégration des EnR et de maturité des infrastructures énergétiques au Maroc. Par conséquent la troisième hypothèse est non validée.

Pour clore cette discussion, nous soulignons que les hypothèses de recherche formulées en amont, en lien direct avec la question centrale de notre étude cherchant à analyser dans quelle mesure le budget d'investissement public en EnR peuvent-il contribuer à l'amélioration de l'efficacité énergétique au Maroc à court et à long terme, partiellement validées (rapport 2/3).

5. Conclusion

Dans cette recherche, nous avons mobilisé un modèle ARDL/ECM afin d'analyser l'impact du budget public alloué aux énergies renouvelables sur l'efficacité énergétique au Maroc, en couvrant la période 2000-2020. Les résultats obtenus mettent en évidence des dynamiques contrastées selon l'horizon temporel. À court terme, les effets apparaissent parfois paradoxaux, traduisant les coûts de transition et les délais d'intégration des investissements publics dans les infrastructures énergétiques. En revanche, à long terme, l'étude confirme le rôle déterminant de l'investissement public dans les EnR pour améliorer durablement l'efficacité énergétique, tout en soulignant l'influence négative des émissions de CO₂ issues des carburants fossiles.

Les hypothèses de recherche ont été globalement validées : l'augmentation du budget public d'investissement en EnR contribue, bien que faiblement, à la réduction de l'intensité énergétique ; les émissions de CO₂ dégradent significativement l'efficacité énergétique ; enfin, la part des EnR dans la consommation finale présente des effets contre-intuitifs, suggérant que les bénéfices de ces énergies ne se matérialisent pleinement qu'à un stade avancé de leur intégration.

La robustesse méthodologique a été assurée par une batterie de tests économétriques (stationnarité, cointégration, diagnostic des résidus, stabilité des coefficients), garantissant la crédibilité des conclusions. Toutefois, l'étude présente certaines limites. En effet, l'utilisation de données annuelles réduit la finesse de l'analyse et peut masquer des dynamiques intermédiaires importantes. De plus, certaines variables clés comme la gouvernance énergétique, l'efficacité des politiques publiques ou la maturité des technologies de stockage n'ont pas été prises en compte faute de données. Enfin, si le modèle ARDL/ECM se révèle pertinent pour analyser les relations de long terme, il ne permet pas de capturer d'éventuelles

non-linéarités ou ruptures structurelles qui pourraient être mieux saisies par des approches alternatives comme le NARDL.

Sur le plan stratégique, cette recherche plaide pour un renforcement continu du budget public alloué aux énergies renouvelables, combiné à des mécanismes de suivi, d'évaluation et d'accélération des impacts afin de réduire les effets de transition observés à court terme. Les décideurs publics sont ainsi invités à inscrire ces investissements dans une logique cohérente de développement durable, en veillant à maximiser les synergies entre transition énergétique, efficacité économique et réduction des émissions de CO₂.

Enfin, cette étude ouvre des perspectives de recherche futures, notamment l'examen de l'impact différencié des investissements selon les secteurs (industrie, transport, résidentiel), ou encore l'extension à une analyse en panel incluant d'autres pays émergents afin de situer le Maroc dans une trajectoire comparative internationale.

Références

- (1). Acemoglu, D., Aghion, P., Bursztyn, L., & Hemous, D. (2012a). The Environment and Directed Technical Change. *American Economic Review*, 102(1), 131-166. <https://doi.org/10.1257/aer.102.1.131>
- (2). Acemoglu, D., Aghion, P., Bursztyn, L., & Hemous, D. (2012b). The Environment and Directed Technical Change. *American Economic Review*, 102(1), 131-166. <https://doi.org/10.1257/aer.102.1.131>
- (3). amayed, Y. (2025, février 25). *Transition énergétique, durabilité et réduction des émissions en Tunisie : Une analyse empirique par le modèle ardl* [MPRA Paper]. <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/124142/>
- (4). Appiah-Otoo, I., Chen, X., & Kursah, M. B. (2023). Modélisation de l'impact des investissements dans les énergies renouvelables sur les émissions mondiales de dioxyde de carbone. *Energy Reports*, 10, 3787-3799. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.10.043>
- (5). Arrow, K. J. (1962). The Economic Implications of Learning by Doing. *The Review of Economic Studies*, 29(3), 155-173. <https://doi.org/10.2307/2295952>
- (6). Ben Jebli, M., & Ben Youssef, S. (2015). Output, renewable and non-renewable energy consumption and international trade : Evidence from a panel of 69 countries. *Renewable Energy*, 83, 799-808. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.04.061>
- (7). Bhattacharya, M., Paramati, S. R., Ozturk, I., & Bhattacharya, S. (2016). The effect of renewable energy consumption on economic growth : Evidence from top 38 countries. *Applied Energy*, 162, 733-741. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.104>
- (8). Busu, M. (2020). Analyzing the Impact of the Renewable Energy Sources on Economic Growth at the EU Level Using an ARDL Model. *Mathematics*, 8(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/math8081367>
- (9). Cherni, A., & Essaber Jouini, S. (2017). An ARDL approach to the CO₂ emissions, renewable energy and economic growth nexus : Tunisian evidence. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(48), 29056-29066. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.08.072>
- (10). Danish, Ulucak, R., & Khan, S. (2020). Relationship between energy intensity and CO₂ emissions : Does economic policy matter? *Sustainable Development*, 28(5), 1457-1464. <https://doi.org/10.1002/sd.2098>
- (11). Dumas, J., Dubois, A., Thiran, P., Jacques, P., Contino, F., Cornélusse, B., & Limpens, G. (2022). *The energy return on investment of whole energy systems : Application to Belgium*. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2205.06727>
- (12). Elkadhi, H. (2019). *Trois essais sur les investissements dans les énergies renouvelables* [These de doctorat, Université Clermont Auvergne (2017-2020)]. <https://theses.fr/2019CLFAD013>

- (13). FAROUKI, E., & FERROUD, A. (2024). *L'impact de la transition énergétique sur la croissance économique : Cas du Maroc*. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.12993972>
- (14). Gharnit, S., Bouzahzah, M., & Bounahr, I. (2021). Impact des énergies renouvelables sur la croissance économique et les émissions du CO₂ au Maroc : Une analyse empirique en modèle vectoriels auto régressifs. *Revue Internationale du Chercheur*, 2(2), Article 2. <https://www.revuechercheur.com/index.php/home/article/view/212>
- (15). Hailemariam, A., Ivanovski, K., & Dzhumashev, R. (2022). Does R&D investment in renewable energy technologies reduce greenhouse gas emissions? *Applied Energy*, 327, 120056. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120056>
- (16). Hamilton, J. D. (1994). *Time series analysis*. Princeton University Press.
- (17). Hartwick, J. M. (1977). Intergenerational Equity and the Investing of Rents from Exhaustible Resources. *The American Economic Review*, 67(5), 972-974.
- (18). IEA. (2022). *Energy Efficiency 2022 : Analysis and Outlooks to 2030*. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2022>
- (19). Jaffe, A. B., & Stavins, R. N. (1994). Energy-Efficiency Investments and Public Policy. *The Energy Journal*, 15(2), 43-65. <https://doi.org/10.5547/ISSN0195-6574-EJ-Vol15-No2-3>
- (20). Jarque, C. M., & Bera, A. K. (1980). Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial independence of regression residuals. *Economics Letters*, 6(3), 255-259. [https://doi.org/10.1016/0165-1765\(80\)90024-5](https://doi.org/10.1016/0165-1765(80)90024-5)
- (21). Karimi, M. S., Ahmad, S., Karamelikli, H., Dinç, D. T., Khan, Y. A., Sabzehei, M. T., & Abbas, S. Z. (2021). Dynamic linkages between renewable energy, carbon emissions and economic growth through nonlinear ARDL approach : Evidence from Iran. *PLOS ONE*, 16(7), e0253464. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253464>
- (22). Keho, Y. (2023). *Introduction à l'économétrie appliquée sous EViews : Rappels de cours et illustrations pratiques*. l'Harmattan.
- (23). Khan, A., Chenggang, Y., Hussain, J., & Kui, Z. (2021). Impact of technological innovation, financial development and foreign direct investment on renewable energy, non-renewable energy and the environment in belt & Road Initiative countries. *Renewable Energy*, 171(C), 479-491.
- (24). Liu, J., Caporin, M., Zheng, Y., & Yu, S. (2022). The effect of renewable energy development on China's energy intensity : Evidence from partially linear functional-coefficient panel data analyses. *Journal of Cleaner Production*, 350, 131505. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131505>
- (25). Maresca, B., & Dujin, A. (2014). La transition énergétique à l'épreuve du mode de vie. *Flux*, 96(2), 10-23. <https://doi.org/10.3917/flux.096.0010>
- (26). Markard, J., & Rosenbloom, D. (2023). *Phases of the net-zero energy transition and strategies to achieve it*. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2311.09472>
- (27). MEME. (2021). *Stratégie énergétique nationale à l'horizon 2030*. Ministère de la Transition Énergétique et du Développement Durable. https://www.mem.gov.ma/Lists/Lst_rapports/Attachments/33/Strat%C3%A9gie%20Nationale%20de%20l'Efficacit%C3%A9%20%C3%A9nerg%C3%A9tique%20%C3%A0%20l'horizon%202030.pdf
- (28). Mogodé, N., & Loukil, F. (2019). Les déterminants de l'investissement dans les énergies renouvelables en Afrique Francophone. *Actes de la conférence internationale*, 598-622. https://ofe.umontreal.ca/fileadmin/ofe/documents/Actes/Conf_OFE_UCAD_2019/72-Mogode_Loukil.pdf
- (29). Moummy, C. E., Hindou, B., & Salmi, Y. (2020). Energies renouvelables, croissance économique et ouverture commerciale : Une analyse empirique de la courbe environnementale de Kuznets au Maroc. *International Journal of Accounting, Finance,*

- Auditing, Management and Economics*, 1(3), Article 3.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.4282283>
- (30). Pearson, K. (1895). X. Contributions to the mathematical theory of evolution.—II. Skew variation in homogeneous material. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. (A.)*, 186, 343-414. <https://doi.org/10.1098/rsta.1895.0010>
 - (31). Pearson, K. (1905). La loi de l'erreur et ses généralisations par Fechner et Pearson. *Biometrika*, 4(1/2), 169-212. <https://doi.org/10.2307/2331536>
 - (32). Pesaran, M. H. (1998). An Autoregressive Distributed-Lag Modelling Approach to Cointegration Analysis. In S. Strøm (Éd.), *Econometrics and Economic Theory in the 20th Century : The Ragnar Frisch Centennial Symposium* (p. 371-413). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CCOL0521633230.011>
 - (33). Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. J. (2001a). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics*, 16(3), 289-326. <https://doi.org/10.1002/jae.616>
 - (34). Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. J. (2001b). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics*, 16(3), 289-326. <https://doi.org/10.1002/jae.616>
 - (35). Romer, P. M. (1990). Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy*, 98(5), S71-S102.
 - (36). Saliba, C. B., Hassanein, F. R., Athari, S. A., Dördüncü, H., Agyekum, E. B., & Adadi, P. (2022). The Dynamic Impact of Renewable Energy and Economic Growth on CO2 Emissions in China: Do Remittances and Technological Innovations Matter? *Sustainability*, 14(21), 14629. <https://doi.org/10.3390/su142114629>
 - (37). Sinha, A., & Shahbaz, M. (2018). Estimation de la courbe environnementale de Kuznets pour les émissions de CO2 : Rôle de la production d'énergie renouvelable en Inde. *Renewable Energy*, 119, 703-711. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.12.058>
 - (38). Stern, N. (2007). *The Economics of Climate Change : The Stern Review*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511817434>
 - (39). Stiglitz, J. (1974). Growth with Exhaustible Natural Resources : Efficient and Optimal Growth Paths. *The Review of Economic Studies*, 41, 123. <https://doi.org/10.2307/2296377>
 - (40). Tirole, J. (2011). *The theory of industrial organization* (18th print). The MIT Press.
 - (41). Unruh, G. C. (2000). Understanding carbon lock-in. *Energy Policy*, 28(12), 817-830. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(00\)00070-7](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(00)00070-7)
 - (42). Vergil, H., Mursal, M., Kaplan, M., & Khan, A. U. I. (2024). The Causal Relationship between Public Investment in Renewable Energy and Climate Change Performance Index. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 15(1), 121-130. <https://doi.org/10.32479/ijeep.17308>
 - (43). World Bank. (2023). *World Development Indicators*. The World Bank Group. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>
 - (44). Yang, Z., Zhang, M., Liu, L., & Zhou, D. (2022). Can renewable energy investment reduce carbon dioxide emissions? Evidence from scale and structure. Les investissements dans les énergies renouvelables peuvent-ils réduire les émissions de dioxyde de carbone ? Preuves d'échelle et de structure. *Energy Economics*, 112, 106181. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106181>