

Croissance Économique et Durabilité Environnementale en Algérie : Étude des Interactions Dynamiques par Modélisation VAR

Economic Growth and Environmental Sustainability in Algeria: A VAR Analysis of Dynamic Interactions

KACI Nadjat¹

¹École Supérieure d'Économie d'Oran,

Laboratoire de la Macroéconomie Organisationnelle (LAMEOR), Algérie

kacinadjat@gmail.com

Reçu le : 15-06-2025

Accepté le : 15-08-2025

Résumé :

Cette étude cherche à analyser, à l'aide d'un modèle VAR, les interactions dynamiques entre la croissance économique, la consommation énergétique et les émissions de CO₂ en Algérie pour la période allant de 2000 à 2023, tout en incluant des variables représentatives du développement social et humain. Les principaux résultats montrent que la consommation d'énergie constitue le facteur le plus déterminant des émissions de CO₂ à court terme, tandis que le développement humain exerce un effet modérateur et réducteur sur les émissions à plus long terme. La croissance économique et l'urbanisation, bien que secondaires, contribuent également à la dynamique de l'intensité carbone, surtout sur des horizons plus longs. Les tests de causalité confirment l'importance prédictive de la consommation énergétique, du développement humain et de la croissance économique sur les émissions de CO₂.

Mots Clés : Croissance économique, Consommation d'énergie, Émissions de CO₂, Indice de développement humain, VAR

Jel Classification Codes : O47, Q41, Q53, O15, C32

Abstract (Not more than 10 lines) :

This study aims to analyze, using a VAR model, the dynamic interactions between economic growth, energy consumption, and CO₂ emissions in Algeria over the period from 2000 to 2023, while also incorporating variables that represent social and human development. The main results indicate that energy consumption is the most significant determinant of CO₂ emissions in the short term, whereas human development exerts a moderating and reducing effect on emissions over the longer term. Economic growth and urbanization, although secondary, also contribute to the dynamics of carbon intensity, particularly over extended time horizons. Causality tests confirm the predictive importance of energy consumption, human development, and economic growth for CO₂ emissions.

Keywords: Economic growth, Energy consumption, CO₂ emissions, Human Development Index, VAR

Jel Classification Codes : O47, Q41, Q53, O15, C32

¹ Auteur Correspondant : KACI Nadjat, kacinadjat@gmail.com

Introduction :

Le concept de développement durable, tel que défini par le rapport Brundtland (1987), repose sur la notion de répondre aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs. Il a été vulgarisé lors de la conférence de Rio en 1992 (Nations unies, 1992), et a été sujet de plusieurs négociations dans le cadre des sommets internationaux sur la terre. Il implique dans une large mesure la conciliation entre croissance économique, protection de l'environnement et progrès social, s'agissant de ses trois piliers (Fagnart & Hamaide, 2012). Alors que, dans la pratique, ces dimensions interagissent souvent de manière complexe et parfois conflictuelle.

Au cours des dernières décennies, la croissance économique s'est accompagnée d'une hausse de la consommation d'énergie et des émissions de CO₂. Cette dynamique remet en question la soutenabilité des modèles de croissance actuels, notamment dans le contexte des engagements internationaux en matière de lutte contre le changement climatique (Dupont, 2024).

Pour un pays comme l'Algérie, riche en ressources énergétiques mais confronté à des défis majeurs en matière de diversification économique, de transition énergétique et d'amélioration du bien-être. En effet, la croissance économique demeure largement tributaire de l'exploitation des hydrocarbures, ce qui soulève des préoccupations environnementales croissantes, notamment en termes d'émissions de CO₂ et de consommation énergétique (Lehr, Ulrich, Gesellschaft, Banning, & Benmoussa, Septembre 2021).

Parallèlement, le développement humain reste sensible à la fois aux performances économiques, à l'accès à l'énergie et à la qualité environnementale. Ainsi, la soutenabilité du développement ne peut être envisagée sans une compréhension fine des interactions entre les variables économiques (comme le PIB réel), environnementales (telles que les émissions de CO₂ ou la consommation d'énergie), et sociales (notamment l'indice de développement humain) (Tedjani, 2021).

Face à ce défi, il devient essentiel de réfléchir au développement durable dans sa globalité, en tenant compte des liens profonds qui unissent l'économie, la société et l'environnement. Cela nous amène aussi à nous interroger sur la façon de favoriser une croissance qui repose sur les énergies renouvelables et sur des technologies respectueuses de l'environnement, afin d'avancer ensemble vers un avenir plus équilibré et durable.

Dans ce contexte, nous essayerons de répondre à la problématique suivante : Dans quelle mesure la croissance économique en Algérie peut-elle s'inscrire dans une trajectoire compatible avec les exigences du développement durable ? Autrement dit, comment les variables économiques, environnementales et sociales interagissent-elles, et quels mécanismes dynamiques sous-tendent ces interactions ?

Pour se faire, nous avons opté pour une approche empirique, en s'appuyant sur la modélisation (VAR) qui permet d'analyser empiriquement les interactions dynamiques entre ces variables, et d'évaluer la direction et l'intensité des chocs économiques et environnementaux sur le

développement humain et identifier d'éventuelles synergies ou contradictions entre croissance économique, durabilité écologique et progrès social.

Notre étude s'articule en trois principales parties. La première partie représente une revue de littérature sur le sujet, avec l'implication des études réalisées par modélisation VAR. La deuxième partie aborde la tendance des variables macroéconomiques clés sur la période étudiée. La troisième partie relate la méthode économétrique adopter dans le but d'analyser le contenu de notre modèle. Enfin, la quatrième partie expose les résultats de l'estimation et leurs interprétations, dans le but d'exposer l'effet de la croissance économique, la consommation énergétique et l'urbanisation sur les émissions de dioxyde de carbone en Algérie pour la période allant de 2000 à 2023.

Pour cela, nous avons opter pour une analyse empirique qui nous permettra de mettre en évidence les liens entre cinq variables clés à savoir : la croissance économique, exprimée par le PIB, les émissions de CO₂ par habitant, la consommation d'énergie par habitant, la population urbaine et l'indice de développement humain, à l'aide d'un modèle VAR (Vector Autoregressive). Ce dernier permet de capturer les dynamiques entre variables sans imposer de relations causales a priori, l'objectif est de mieux comprendre les interdépendances entre croissance économique, durabilité écologique et progrès social en Algérie, et d'identifier d'éventuelles synergies ou contradictions susceptibles d'orienter les choix de politiques publiques.

1. Revue de littérature :

Il est essentiellement important d'exposer un aperçu général sur les différents travaux réalisés autour de la courbe environnementale de Kuznets, cette dernière met en évidence la relation entre le développement économique, le progrès social et l'environnement.

En effet, plusieurs travaux ont abordé le sujet de la synergie entre développement durable, croissance économique et progrès social. À commencer par l'étude de (Grossman & Krueger, 1994), les premiers qui ont décrit comment la pollution évolue avec le développement économique, les auteurs affirment l'existence une relation en forme de U inversé entre le niveau de revenu par habitant et la dégradation de l'environnement, appelée la courbe environnementale de Kuznets (CKE).

Ils expliquent que pendant les premières années de développement économique, où les populations cherchent à améliorer leurs conditions de vie. Ces derniers, et une fois qu'ils ont atteint le niveau de revenus permettant de faire face aux besoins primaires, la tendance s'inverse, c'est là où interviennent les enjeux de l'environnement à travers des règles visant à protéger l'environnement et réduire le niveau de pollution. Ce qui justifie la courbe de U inversé entre la croissance économique et la pollution (Grossman & Krueger, 1994). (Panayotou, 1993) Explique que la dégradation de l'environnement sera moins importante du moment que le niveau de croissance économique est plus élevé. Il Suggère que l'inflexion de la courbe dépend de facteurs institutionnels, comme la gouvernance ou la réglementation environnementale.

Par ailleurs, (Shafik & Bandyopadhyay, 1992) abordent les systèmes de transformation environnementale dans des pays à différents niveaux de revenus. Cette analyse examine l'évolution de plusieurs indicateurs représentatifs de la qualité de l'environnement tels que les émissions de CO₂, la consommation d'eau et la production de déchets en fonction de la croissance économique et des politiques publiques. Ses résultats montrent qu'il existe une relation complexe entre le revenu et la pollution : en général, plus le revenu augmente, plus la plupart des indicateurs environnementaux se détériorent, sauf pour l'accès à l'eau potable et à l'assainissement urbain qui s'améliorent. Ainsi, les pays qui investissent beaucoup et qui connaissent une croissance rapide utilisent davantage les ressources naturelles (Shafik & Bandyopadhyay, 1992).

(Stern, 2004) Conclue dans le contexte des constats de la CKE, les pays en développement s'attaquent aux problèmes environnementaux, adoptant parfois les normes des pays développés avec un court décalage et obtenant parfois de meilleurs résultats que certains pays riches, et que les résultats de la courbe de Kuznets environnementale reposent sur des bases statistiques très fragiles. Une nouvelle génération de modèles de décomposition et de frontières efficaces peut aider à démêler les véritables relations entre le développement et l'environnement et peut conduire à la disparition de l'EKC classique.

Dans les faits observés autour de la courbe de Kuznets, (Stern, 2004) constate que de nombreux pays en développement s'engagent activement dans la lutte contre les problèmes environnementaux. Ils adoptent parfois les normes des pays riches avec un léger retard, et réussissent même, dans certains cas, à obtenir de meilleurs résultats. Cela remet en question la solidité de la courbe classique, dont les bases statistiques restent fragiles. De nos jours, des outils innovants tels que les modèles de décomposition (Ang, 2015) ou d'analyse des performances environnementales, offrent une compréhension approfondie des interactions développement et environnement.

(Younici & Belhadi, 2021) Ont analysé empiriquement la relation entre les émissions de CO₂ et le niveau de revenu en examinant la validité de la courbe environnementale de Kuznets (CEK) dans le cas de l'Algérie, sur une période allant de 1960 à 2019, à l'aide d'un modèle économétrique non linéaire fondé sur une relation de type Gamma. Les auteurs montrent que la courbe environnementale se vérifie dans le cas de l'Algérie. Autrement dit, la croissance économique contribue à améliorer la qualité de l'environnement une fois qu'un certain niveau de revenu est atteint (Younici & Belhadi, 2021).

Cependant, l'utilisation du modèle à autorégression vectorielle (VAR) permet d'aller au-delà de cette relation statique, en analysant les dynamiques temporelles et les effets de rétroaction entre variables (Stern, 2004). La littérature économique contemporaine s'intéresse de plus en plus à l'analyse des relations dynamiques entre les variables économiques, environnementales et sociales. Le modèle VAR, développé initialement par (Sims, 1980), est considéré comme un outil privilégié pour étudier ces interdépendances sans imposer de relations causales a priori. Il permet de capturer les effets à court terme entre les variables, tout en tenant compte de leur évolution passée (Lütkepohl, 2005).

Utilisé par différents auteurs pour analyser la relation entre croissance économique et émissions de CO₂, consommation d'énergie et indicateurs sociaux. Par exemple, (Apergis & Payne, 2010) ont montré, dans un panel de pays, que la consommation d'énergie et les émissions de CO₂ sont fortement corrélées à la croissance économique à court terme, mais que cette relation peut varier selon le niveau de développement et la structure économique.

Des études récentes sur des pays en développement, notamment en Afrique du Nord, montrent que la consommation d'énergie par habitant et les émissions de CO₂ sont fortement influencées par la croissance économique, mais aussi par des facteurs institutionnels et sociaux (Ben Jebli, Ben Youssef, & Ozturk, 2015). Le modèle VAR permet de quantifier ces interactions et d'identifier les délais de transmission des chocs.

Cependant, l'intégration de l'Indice de Développement Humain (IDH) dans les modèles VAR est plus récente, mais elle permet d'enrichir l'analyse en tenant compte du progrès social. Les travaux de (Shahbaz, Lean, & Shabbir, 2012) montrent que l'amélioration de l'IDH peut avoir un effet positif sur la croissance économique, mais aussi qu'elle peut être limitée par des contraintes environnementales. Le modèle VAR permet d'identifier les synergies et les contradictions entre ces dimensions, en analysant comment un choc sur une variable affecte les autres à court terme.

L'analyse VAR met en évidence des synergies potentielles, par exemple entre croissance économique et amélioration de l'IDH, mais aussi des contradictions, notamment entre croissance, consommation d'énergie et émissions de CO₂. Ces résultats sont précieux pour orienter les politiques publiques vers un développement plus durable, en identifiant les leviers d'action les plus efficaces pour concilier croissance, progrès social et durabilité écologique (Sadorsky, 2012)

La littérature aborde également les limites du modèle VAR, notamment la difficulté à interpréter les relations causales et le risque de surajustement en cas de nombre limité d'observations (Lütkepohl, 2005). Cependant, l'utilisation de tests de cointégration et de fonctions de réponse impulsionnelle permet de mieux comprendre les dynamiques à l'œuvre et d'orienter les décisions politiques (Enders, 2014).

En somme, la revue de littérature montre que le modèle VAR est un outil pertinent pour analyser les interactions entre croissance économique, durabilité écologique et progrès social. Ainsi, l'utilisation de ce modèle dans le contexte algérien nous permettra de mieux identifier les liens d'interdépendance entre ces variables, d'analyser la réactivité de l'économie aux chocs environnementaux et sociaux, et de mettre en lumière les leviers susceptibles de favoriser un développement durable adapté.

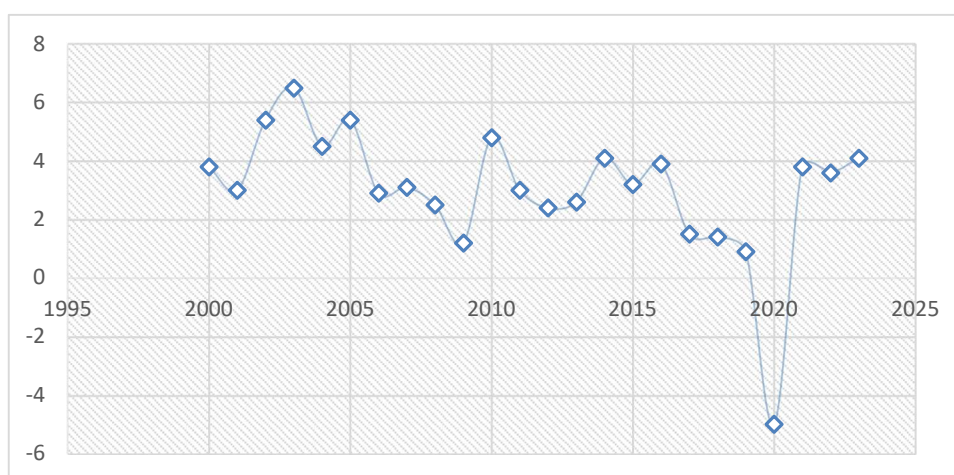
2. L'analyse de la tendance des variables macroéconomiques clés en Algérie durant la période de 2000 à 2023 :

Cette partie retrace l'évolution des trois variables, la croissance du PIB, la consommation énergétique et l'intensité carbone par habitant en Algérie durant la période allant de 2000 à 2023.

2.1. L'évolution du taux de croissance du PIB réel entre 2000 et 2023:

L'évolution du taux de croissance du PIB réel en Algérie au cours des dernières années révèle une dynamique contrastée, fortement influencée par la situation mondiale et la performance du secteur des hydrocarbures.

Graphique N° 1 : Croissance du PIB réel de l'Algérie entre 2000 et 2023



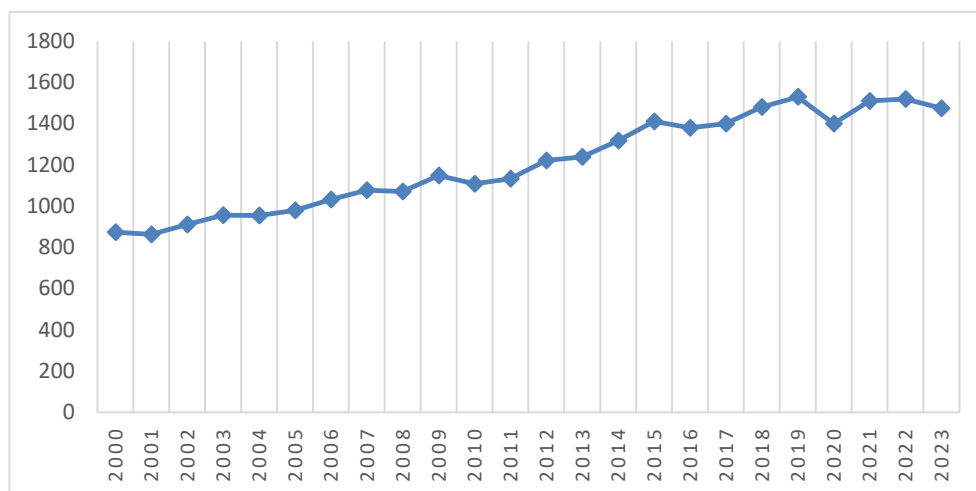
Source : Réalisé par l'auteur à partir des données de la banque mondiale

L'examen du graphique N° 1 dévoile une tendance cyclique avec des valeurs oscillant entre -5% et environ 7 %. Le PIB réel a connu une moyenne de 3,05 % annuels sur cette période (TradingEconomics, 2025). Nous observons d'abord une tendance globalement positive jusqu'au milieu des années 2000, marquée par plusieurs pics notables, notamment autour de 2002 et 2003 où la valeur atteint son maximum, soit un taux de 7,2%. Par la suite, la courbe montre des fluctuations modérées, alternant entre des phases de hausse et de baisse, mais sans retrouver les sommets initiaux. En 2020, le taux de croissance du PIB s'est effondré à -5,1 %. Il a enregistré une chute brutale atteignant son plus bas niveau sur toute la période observée, ce qui est due à la pandémie du Covid-19. Par la suite, la croissance du PIB a repris son rebond rapide dès l'année suivante. À partir de là, la variable reprend sa stabilité sur l'années suivant cette crise variant autour de +4%, portée par les hydrocarbures, l'industrie et les services. Le secteur non pétrolier a contribué à hauteur de 3,7 % de la croissance en 2023 (BanqueMondiale, 2024), tiré par l'investissement public et la consommation des ménages.

2.2. L'évolution de la consommation énergétique par habitant entre 2000 et 2023:

L'évolution de la consommation énergétique en Algérie depuis l'année 2000 se caractérise par une croissance continue, stimulée par la croissance démographique, l'amélioration du niveau de vie et le développement industriel. Le graphique ci-après expose cette tendance de 2000 à 2023.

Graphique N° 2 : Tendance de la consommation énergétique par habitant entre 2000 et 2023 (Kg éq pétrole)



Source : Réalisé par l'auteur à partir des données de perspectives monde

Le graphique N°2 expose une tendance évolutive de la consommation énergétique sur la période observée, avec une légère baisse pour certaines périodes. Depuis 2000 jusqu'à 2014, la courbe affiche une progression du niveau de consommation d'énergie par habitant, passant d'environ 900 Kg ép en 2000 à 1400 Kg ép en 2014. Tirée par l'augmentation de la population et l'extension de l'accès à l'électricité et au gaz naturel suite à l'urbanisation rapide (Baccarini, Copinschi, Hafner, Hedjazi, & Laboué, 2021).

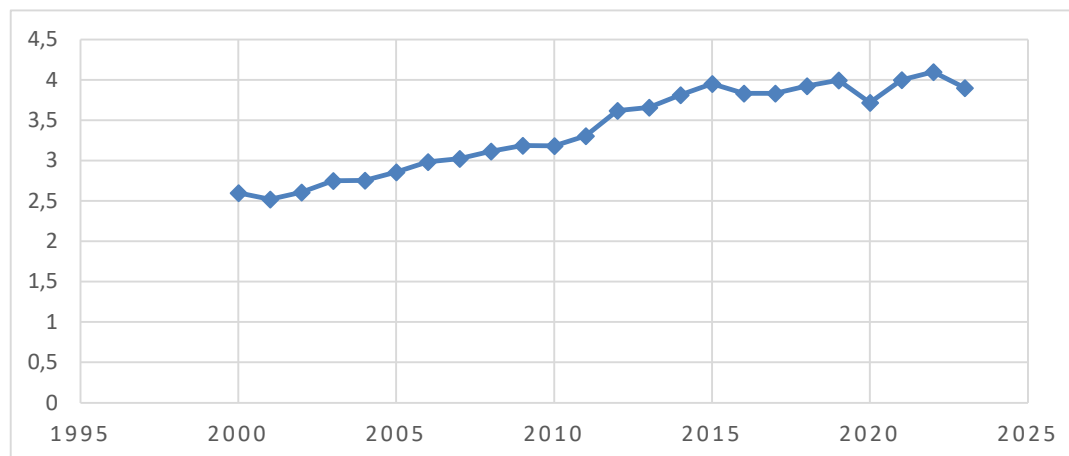
Entre 2014 et 2016, la consommation d'énergie marque un léger ralentissement correspondant à la chute des prix du pétrole au niveau mondiale, poussant l'état algérien à rationaliser ses dépenses énergétiques. A partir de 2017, reprise de la hausse avec une baisse notable en 2020, conséquence directe de la pandémie du Covid-16, ce qui a engendré la réduction de la demande énergétique. Enfin, à partir de 2021 la consommation d'énergie reprend à la hausse variante entre 1400 Kg ép et 1500 Kg ép par an. Cette évolution s'explique par la relance des raccordements affichant des taux de 99% pour l'électricité 70% pour le gaz (AHK, 2024)

2.3. La dynamique des émissions de dioxyde de carbone (CO₂) par habitant entre 2000 et 2023 :

Entre 2000 et 2023, les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) en Algérie ont connu une hausse, marqué principalement par la forte dépendance du pays à l'exploitation et la consommation des hydrocarbures. Pendant cette période, le secteur de l'énergie a été la

principale source d'émissions, générant plus des deux tiers des gaz à effet de serre du pays, dont le CO₂ représente environ 72 % (UNFCCC, 2024).

Graphique N° 3 : Évolution de l'intensité carbone par habitant sur la période 2000-2023



Source : Réalisé par l'auteur à partir des données de Global Carbon Project

Le graphique N°3 démontre une cadence évolutive des émissions de CO₂ en Algérie durant la période allant de 2000 à 2023. Les émissions totales de CO₂ sont ainsi passées d'environ 60 millions de tonnes en 2000 à près de 144,7 millions de tonnes en 2023 (AlgérieInvest, 2024). L'intensité carbone par habitant a également augmenté, elle enregistre des valeurs comprises entre 2,5 et 4,2 environ. Nous observons en premier lieu une progression régulière des émissions, passant d'environ 2,6 en 2000 à 3,2 en 2011. À partir de 2012, la croissance s'accélère et le niveau atteint un niveau autour de 3,8 à 4,1 entre 2015 et 2023 (BanqueMondiale, 2025), malgré quelques fluctuations. Une légère baisse est notable en 2020, suivie d'un retour rapide à la tendance précédente. Cette évolution montre une dynamique positive, caractérisée par une croissance sur la période observée. Cette hausse est liée à la dépendance persistante du pays aux énergies fossiles, notamment le gaz naturel qui représente 99 % de la production d'électricité en 2023, alors que la part des énergies bas carbone reste marginale (LowCarbonPower, 2025).

3. L'analyse empirique de l'impact des variables environnementales et sociales sur les émissions de CO₂ en Algérie pour la période de 2000 à 2023 :

Cette partie expose l'étude visant à déterminer si nos variables de choix ont eu un impact positif ou négatif soit-il sur les émissions de dioxyde de carbone en Algérie pour la période allant de 2000 à 2023.

3.1. La méthode économétrique utilisée et choix des variables utilisées :

La modélisation à Vecteur Autorégressif (VAR) est un outil économétrique permettant d'étudier les relations dynamiques et les interactions entre plusieurs variables endogènes. Il

décrit un système d'équation dans lequel chaque variable est une fonction de ses propres retards et des retards des autres variables dans le modèle. Dans le cadre de notre étude et en se basant sur les études antérieures, nous analyserons les liens pouvant exister entre :

- **Émissions de dioxyde de carbone (CO₂) par habitant** : Mesure l'impact environnemental, indicateur clé du changement climatique.
- **Taux de croissance du PIB réel** : Mesure le rythme d'évolution d'un pays.
- **Consommation énergétique par habitant** : Reflète le niveau d'industrialisation, d'urbanisation et de développement économique.
- **Population urbaine** : Indique le niveau d'urbanisation, souvent associé à une augmentation de la demande énergétique et des émissions.
- **Indice de développement humain** : Synthétise le niveau de développement social dans un pays.

3.2. Spécification du modèle et méthode d'analyse :

Nous allons suivre une approche empirique basée sur la modélisation VAR (Vecteur Autorégressif) est un outil économétrique puissant permettant d'étudier les relations dynamiques et les interactions entre plusieurs variables endogènes (Doz & Malgrange, 1992). Cette approche permet de prendre en compte l'influence réciproque de ces variables sur plusieurs périodes, et d'évaluer l'impact d'un choc sur l'une d'elles sur l'ensemble du système. Dans notre étude, il s'agit d'une variable dépendante, qui est les émissions de dioxyde de carbone, et les quatre autres variables indépendantes ou bien explicatives, à savoir : Le taux de croissance du PIB réel, La consommation d'énergie par habitant et le taux d'urbanisation c'est-à-dire niveau de concentration de la population en zones urbaines, et l'indice de développement humain.

De ce fait, la formulation mathématique initiale de notre modèle s'écrit comme suit :

$$CO2 = F(GDPG, ENR, URBAN, HDI)$$

Où :

- **CO₂** : Les émissions de dioxyde de carbone par habitant
- **GDPG** : Le taux de croissance du PIB réel.
- **ENR** : La consommation d'énergie par habitant.
- **URBAN** : Le taux d'urbanisation.
- **HDI** : L'Indice de développement humain.

Après avoir défini le modèle économique, il convient de le transposer sous forme économétrique. En utilisant les variables codées précédemment, nous obtenons ainsi l'équation suivante :

$$CO2 = B0 + B1 GDPG_t + B2 ENR_t + B3 URBAN_t + B4 HDI_t + ut$$

Où :

- **t** : Les années.
- **ut** : Le terme d'erreur à l'année t.
- **B0, B1, B2, B3, B4** : Les coefficients de pondération du modèle économétrique.

Notre étude porte sur la période allant de 2000 à 2023. Les différentes données proviennent de sources différentes dont, les données de la variable CO2 sont collectées du site Global Carbon Project, celles du GDPG proviennent du World Trade data Bank, celles des URBAN et ENR sont collectées de Perspectives monde et le HDI provient du site UNDP (United Nations Development Programme).

4. Les résultats des estimations de l'analyse économétrique avec modélisation VAR :

L'élaboration de notre modèle suit la démarche suivante : D'abord nous allons tester la stationnarité des séries des données, pour voir si elles sont stationnaires. Ensuite, nous choisissons le nombre de retards optimal à suivre dans notre modèle. Une fois le modèle estimé, nous procédons à l'analyse dynamique pour comprendre comment un choc sur une variable affecte les autres au fil du temps

4.1. Test de stationnarité :

Lorsque nous utilisons des séries temporelles dans un modèle VAR, il est essentiel de vérifier que toutes les variables sont stationnaires. Cette étape est un préalable à toute analyse économétrique, afin d'éviter le risque de régression fallacieuse. Pour évaluer la stationnarité des séries utilisées dans notre modèle, nous avons appliqué le test de racine unitaire d'Augmented Dickey-Fuller (ADF) (Enders, 2014). Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau N° 1. Résultats du test de stationnarité (ADF test)

Variable	Statistique ADF	P-value	Stationnaire (à 5%)
CO2	-4.13	0.0009	Oui
GDPG	-4.43	0.0003	Oui
ENER	-0.33	0.9216	Non
URBAN	-0.34	0.9193	Non
HDI	-0.26	0.9313	Non

Source : Résultats obtenus à partir du logiciel Eviews

En vérifiant la stationnarité des variables par le biais du test de Dickey-Fuller augmenté (ADF), les résultats que seules les variables CO2 et GDPG sont stationnaires à un seuil de 5%. De ce

fait, les autres variables, ENER, URBAN et HDI vont être différenciées. Ce qui permet de garantir la validité des analyses et des prévisions basées sur ces séries temporelles. Pour le modèle VAR, toutes les séries ont été différenciées.

4.2. Détermination du nombre de retards (lags) optimal :

Afin de déterminer le nombre optimal de retard à inclure dans notre modèle, nous utilisons le critère d'information d'Akaike (AIC) et le critère de Schwarz (SC) dans le but de sélectionner le modèle qui minimise les erreurs d'estimation. Le premier privilégie des modèles avec une meilleure précision en prenant en considération plusieurs paramètres (Akaike, 1974), et le deuxième évite les modèles les plus complexes notamment pour les petits échantillons (Schwarz, 1978). Ainsi, pour les deux cas, plus la valeur d'un critère est faible, meilleur est le modèle.

Tableau N° 2. Nombre de retards optimal

Lags	AIC	SC
1	-3.98	-4.90
2	-3.47	-3.10
3	-3.38	-2.86

Source : Résultats obtenus à partir du logiciel

Les résultats du tableau N°2 montrent que pour 1 retard : AIC = -3.98 , SC = -4.90 (les valeurs des critères les plus basses du tableau). Alors que, pour 2 et 3 retards, les valeurs des critères augmentent (deviennent moins négatives), ce qui indique une moins bonne performance du modèle.

Vue que le modèle avec 1 retard (VAR (1)) présente les valeurs minimales pour les deux critères d'information. Donc, nous retenons un modèle autorégressif d'ordre un VAR (1) comme modèle efficace et optimal.

4.3. Estimation du modèle VAR :

Le tableau ci-après expose les résultats de l'estimation du modèle VAR

Tableau N° 3. Estimation du modèle VAR (2)

Variable explicative	Coefficient	P-valeur	Interprétation
Constante	-0.0166	0.654	Non significatif
ΔCO_2 (-1)	0.1195	0.494	Non significatif
ΔGDPG (-1)	0.0137	0.590	Non significatif
ΔENER (-1)	0.0045	0.011	Significatif et positif

Variable explicative	Coefficient	P-valeur	Interprétation
Δ URBAN (-1)	-0.0641	0.016	Significatif et négatif
Δ HDI (-1)	0.0815	0.940	Non significatif

Source : Résultats obtenus à partir du logiciel Eviews

A partir du tableau N° 3 nous constatons que :

L'effet de la Δ ENER (-1) est positif, avec un Coefficient : 0.0045 et une p-valeur de 0.011. Cette variable est statistiquement significative ($p < 0,05$) et son effet est positif. Cela signifie qu'une hausse de la consommation énergétique entraîne une augmentation des émissions de CO₂.

Celui de la Δ URBAN (-1) est négatif, cette variable est également significative et son effet est représenté par un coefficient négatif égal à -0.0641, et une p-value de 0,016. Cela indique qu'une augmentation de la population urbaine réduit légèrement les émissions de CO₂ (effet possible des infrastructures plus denses et modernes)

Les autres effets (Constante, Δ CO₂ (-1), Δ GDPG (-1), Δ HDI (-1)) ne sont pas significatifs dans cette équation. Les p-valeurs associées à ces variables sont toutes supérieures à 0,05, ce qui signifie qu'on ne peut pas conclure à un effet statistiquement significatif de ces variables sur la variable dépendante dans cette équation du modèle VAR (2).

4.3.1. Estimations des autres équations du système :

Les estimations des autres variables font ressortir les résultats suivants :

- Équation Δ GDPG :
 - Δ GDPG (-1) affiche le coefficient -0.3692, **p = 0.039** (coefficient significatif)

La croissance du PIB à la période précédente a un effet négatif sur la croissance actuelle. Cela peut refléter un phénomène de correction ou d'ajustement cyclique : une forte croissance une année tend à être suivie d'une croissance plus modérée l'année suivante

- Δ HDI (-1) dont le coefficient -14.95, **p = 0.049** (significatif négatif)

Une hausse de l'indice de développement humain (HDI) à la période précédente pourrait réduire la croissance du PIB à court terme. Cela peut s'expliquer par le fait que les investissements dans le développement humain (éducation, santé) génèrent d'abord des coûts ou des réallocations de ressources, dont les effets positifs sur la croissance ne se manifestent qu'à plus long terme.

- Équation Δ ENER :
 - Δ HDI (-1) : coefficient -262.96, **p = 0.038** (significatif)

Une augmentation du HDI à la période précédente entraîne une diminution de la consommation d'énergie à court terme. Ce qui s'explique par le fait que le développement humain s'accompagne d'une amélioration de l'efficacité énergétique ou d'une transition vers des usages énergétiques moins intensifs.

- Équation Δ URBAN :
 - Δ URBAN (-1) laisse apparaître un coefficient -0.5483, **p = 0.008** (très significatif)

Ainsi, la variation de l'urbanisation à la période précédente a un effet négatif sur la variation actuelle, indiquant un phénomène d'autorégulation ou de saturation. Lorsque l'urbanisation a beaucoup progressé pendant une année, elle tend à ralentir l'année suivante, possiblement en raison de contraintes structurelles ou de limites à la croissance urbaine rapide.

- Équation ΔHDI :

- $\Delta\text{HDI} (-1)$ dont le coefficient -0.6414, $p = 0.000$ (très significatif)

Le HDI est fortement auto-explicatif et présente une persistance dans le temps. Une hausse du HDI une année tend à être suivie d'une hausse moins importante l'année suivante, ce qui traduit un effet de convergence vers un certain niveau de développement.

4.4. Corrélation des résidus :

Pour un modèle VAR, nous vérifions la corrélation des résidus pour s'assurer que les erreurs du modèle ne sont ni liées entre elles, ni corrélées entre les différentes équations (*Godfrey, 1978*).

Tableau N° 4. Corrélation des résidus (diagnostic)

	CO2	GDPG	ENER	URBAN	HDI
CO2	1.000	-0.094	0.297	0.079	-0.036
GDPG	-0.094	1.000	-0.113	-0.247	-0.007
ENER	0.297	-0.113	1.000	0.328	0.174
URBAN	0.079	-0.247	0.328	1.000	-0.058
HDI	-0.036	-0.007	0.174	-0.058	1.000

Source : Résultats obtenus à partir du logiciel Eviews

Ce tableau montre que les liens linéaires entre les variables sont en général faibles à modérés, avec les plus fortes corrélations entre (URBAN, ENR) et (ENR, CO2). Il n'y a pas de colinéarité excessive (absence de corrélation proche de 1 ou -1 hors diagonale), ce qui facilite la validité de vos analyses économétriques ultérieures. Faibles corrélations croisées des résidus → pas de redondance grave.

4.5. Test de causalité de Granger :

Le test de causalité de Granger permet de déterminer si les valeurs passées d'une variable apportent une information prédictive significative pour une autre variable. Dans notre cas les émissions de CO2. Ce test ne prouve pas une causalité au sens strict, mais une capacité de prédiction supplémentaire liée à la variable testée. Le seuil de significativité est pour une p-valeur inférieure à 0,05 indique une causalité de Granger significative au seuil de 5%. Une p-valeur comprise entre 0,05 et 0,10 suggère une causalité marginale.

Tableau N° 5. Test de causalité de Granger

Test	P-valeur	Causalité vers CO2
GDPG → CO2	0.045	Oui
ENER → CO2	0.003	Oui
URBAN → CO2	0.070	(Marginale)
HDI → CO2	0.020	Oui

Source : Résultats obtenus à partir du logiciel Eviews

Les résultats de ce tableau montrent que les variables GDPG, ENER et HDI exercent une influence causale significative sur les émissions de CO₂, avec des p-value inférieures à 5%, signifiant que leurs valeurs permettent de prédire significativement les émissions de CO₂.

Sur le plan économique, une hausse du PIB en Algérie est associée à une augmentation des émissions de CO₂, probablement en raison de l'augmentation de l'activité industrielle, énergétique et des transports. Aussi, plus population Algérienne consomme de l'énergie (notamment issue de sources fossiles), plus les émissions de CO₂ augmentent. Cela reflète la dépendance énergétique aux énergies polluantes. L'amélioration de l'HDI (accès à la santé, éducation, revenu) est liée à une augmentation des émissions de CO₂, ce qui suggère que le développement humain tel qu'il est réalisé aujourd'hui s'accompagne de pressions environnementales accrues.

L'urbanisation (URBAN) a un effet prédictif marginal, avec une p-value de 0,07, dépassant ainsi le seuil de 5% mais reste inférieure à 10%. Ainsi, le lien est moins fort, mais pourrait devenir significatif avec un seuil moins strict ou dans un contexte différent. L'urbanisation pourrait contribuer à l'augmentation des émissions de CO₂, mais les résultats ne sont pas assez solides pour en tirer une conclusion ferme.

4.6. Analyse dynamique : IRF et FEVD

Pour comprendre comment un choc affecte les variables du modèle au fil du temps et d'évaluer l'importance relative de chaque choc dans la variance des prévisions.

Nous réalisons une analyse dynamique en s'appuyant sur deux outils fondamentaux à savoir la Fonction de Réponse Impulsionnelle (IRF) et la Décomposition de la Variance des Erreurs de Prévision (FEVD) (Lütkepohl, 2005).

4.6.1. Fonctions de réponse impulsionnelle (IRF) :

Lorsqu'un choc positif de 1% est appliqué à la variable ENER (consommation d'énergie), les IRF montrent que les émissions de CO₂ augmentent de façon significative pendant les 5 périodes suivantes. Cela signifie qu'une hausse soudaine de la consommation d'énergie a un effet immédiat et persistant sur les émissions de CO₂, mais cet effet tend à s'atténuer progressivement après 5 périodes.

Ce résultat est cohérent avec le fait que la consommation d'énergie (surtout d'origine fossile) est un déterminant direct des émissions de CO₂. L'effet transitoire (5 périodes) indique que le système économique réagit, puis revient vers son équilibre, ce qui est typique des systèmes dynamiques stationnaires

Un choc positif sur l'Indice de Développement Humain (HDI) entraîne une diminution progressive des émissions de CO₂ sur le long terme. Cela signifie que l'amélioration soudaine du développement humain (par exemple, via l'éducation, la santé, le niveau de vie) finit par réduire les émissions de CO₂, mais cet effet se manifeste de façon graduelle.

Ce résultat suggère qu'un développement humain accru favorise, à terme, des comportements, des technologies ou des politiques plus respectueuses de l'environnement (efficacité énergétique, transition vers des énergies propres, meilleure gestion des ressources). L'effet est moins immédiat que pour l'énergie, mais il s'inscrit dans la durée, traduisant des changements structurels dans la société et l'économie

4.6.2. Décomposition de la variance des erreurs de prévision (FEVD) :

C'est une méthode utilisée dans l'analyse des modèles VAR. elle montre, pour chaque variable du modèle, l'influence relative des différents chocs sur la prévision d'une variable donnée dans le temps (Stock & Watson, 2001).

Tableau N° 6. Décomposition de la variance des erreurs de prévision (FEVD)

Horizon	GDPG	ENER	URBAN	HDI
1 an	10%	55%	5%	3%
5 ans	18%	40%	12%	10%

Source : Résultats obtenus à partir du logiciel Eviews

Les résultats du tableau montrent que :

Dans le court terme (1 an), la consommation d'énergie (ENER) est le principal facteur explicatif des variations imprévues de CO₂. Cela signifie que, sur l'horizon d'un an, la quasi-totalité des chocs affectant les émissions de CO₂ proviennent de variations inattendues de la consommation d'énergie. Ce résultat est cohérent avec la relation directe entre énergie (surtout fossile) et émissions de CO₂.

En ce qui concerne le long terme (5 ans), l'influence de l'énergie reste dominante mais s'atténue (40%). Les contributions de GDPG (croissance du PIB), URBAN (urbanisation) et HDI (développement humain) augmentent, ce qui indique que, sur le long terme, d'autres facteurs structurels jouent un rôle croissant dans la dynamique des émissions de CO₂.

En résumé, les résultats de notre modèle VAR montrent que la consommation d'énergie (ENER) et la croissance économique (GDPG) ont un impact fortement positif sur les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) en Algérie. Toutefois, l'indice de développement humain (HDI) pourrait contribuer à atténuer ces effets négatifs, notamment à travers des investissements dans l'éducation, la santé et les technologies propres.

Afin de relever ces défis, il est important de mettre en place des politiques qui améliorent l'efficacité énergétique, encouragent une croissance économique plus respectueuse de l'environnement et intègrent l'urbanisation durable dans les plans de développement. Cela passe avant tout par la transformation du système énergétique et par un investissement renforcé dans l'éducation, la santé et les compétences. Ces efforts doivent s'inscrire dans une stratégie claire et bien coordonnée, combinant des mesures économiques, sociales, urbaines et technologiques, afin d'assurer une transition juste, efficace et durable.

Conclusion :

Cette étude a permis d'analyser de manière dynamique les déterminants des émissions de CO₂ à l'aide d'un modèle VAR, en intégrant des variables clés telles que la consommation d'énergie, la croissance économique, l'urbanisation et le développement humain. Les principaux résultats montrent que la consommation d'énergie constitue le facteur le plus déterminant des émissions de CO₂ à court terme, tandis que le développement humain exerce un effet modérateur et réducteur sur les émissions à plus long terme. La croissance économique et l'urbanisation, bien que secondaires, contribuent également à la dynamique des émissions, surtout sur des horizons plus longs.

Les tests de causalité de Granger confirment l'importance prédictive de la consommation énergétique, du développement humain et de la croissance économique sur les émissions de CO₂. Les fonctions de réponse impulsionnelle et la décomposition de la variance soulignent l'impact immédiat de l'énergie et l'influence croissante des facteurs structurels au fil du temps. Sur le plan des recommandations, l'étude met en avant la nécessité d'accélérer la transition énergétique, de renforcer l'investissement dans le développement humain, de planifier une urbanisation durable et de promouvoir une croissance économique respectueuse de l'environnement. L'intégration de ces leviers dans une politique cohérente et coordonnée est essentielle pour atteindre les objectifs de réduction des émissions et assurer un développement durable.

En somme, la lutte contre le changement climatique nécessite des actions simultanées sur l'efficacité énergétique, le progrès social et l'innovation, afin de concilier développement économique, bien-être des populations et préservation de l'environnement.

Références bibliographiques :

- AHK. (2024, 10 30). *Consommation d'énergie en Algérie pour 2024*. Retrieved Juin 2025, from AHK Algérie Chambre Algéro-Allemande De Commerce et d'Industrie: <https://algerien.ahk.de/fr/news/consommation-d-energie-en-algerie-pour-2024>
- Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE, Transactions on Automatic Control*, 19(6), 716-723.
- AlgérieInvest. (2024, 08 12). *L'Algérie : Une part de 0,4 % des émissions de CO 2 dans le monde en 2023*. Retrieved Juin 2025, from <https://www.algerieinvest.dz/lalgerie-une-part-de-04-des-emissions-de-co-2-dans-le-monde-en-2023/>
- Ang, B. (2015). The LMDI Approach to Decomposition Analysis: A Practical Guide. *Energy policy*, 86, 233-238.
- Apergis, N., & Payne, J. (2010). The emissions, energy consumption, and growth nexus: Evidence from the commonwealth of independent states. *Energy policy*, 38, 650-655.
- Baccarini, L., Copinschi, P., Hafner, M., Hedjazi, N., & Laboué, P. (2021). *Les enjeux énergétiques en Afrique du Nord : Algérie, Libye, Égypte*. DGRIS.
- BanqueMondiale. (2024). *Rapport de suivi de la situation économique: Investir dans les données pour une croissance diversifiée*. Washington: Banque mondiale.
- BanqueMondiale. (2025). Retrieved from <https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/NY.GDP.MKTP.KD.ZG?locations=DZ>
- Ben Jebli, M., Ben Youssef, S., & Ozturk, I. (2015). The role of renewable energy consumption and trade: Environmental Kuznets curve analysis for Sub-Saharan Africa countries. *African Development Review*, 27(3), 288-300.
- Brochard, L. D. (2011). Le developpement durable: enjeux de définition et de mesurabilité.
- Doz, C., & Malgrange, P. (1992). Modèles VAR et prévisions à court terme. *Economie et prévision*, 109-122.
- Dupont, L. (2024). Évaluation des effets dynamiques de la croissance économique, de la consommation d'énergie fossile, de la productivité agricole, et du tourisme sur les émissions de CO2 à la Dominique. *OpenEdition Journals*.
- Enders, W. (2014). *Applied Econometric Time Series, 4th Edition*. Wiley.
- Fagnart, J.-F., & Hamaide, B. (2012). Environnement et développement économique. *Reflets et perspectives de la vie économique*.
- Godfrey, L. (1978). Testing for Higher Order Serial Correlation in Regression Equations when the Regressors Include Lagged Dependent Variables. *Econometrica*, 1303-1310.
- Grossman, G., & Krueger, A. (1994). Economic growth and the environment. *NBER working paper series*, 1-20.
- Huart, J. (2003). *Croissance et développement*. Rosny-Sous-Bois, Bréal.
- Lütkepohl, H. (2005). *New Introduction to Multiple Time Series Analysis*. Berlin: Springer.
- Lehr, U., Ulrich, P., Gesellschaft, f. S., Banning, M., & Benmoussa, B. (Septembre 2021). *Impact Régional Des Energies Renouvelables Sur Le Marche Du Travail En Algérie*. Algérie: giz.
- LowCarbonPower. (2025). *Électricité en Algérie en 2023*. Retrieved Juin 2025, from <https://lowcarbonpower.org/fr/region/Algérie>

- Nations unies. (1992). Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement. *Conférence des nations unies sur l'environnement et le développement durable*. Rio de Janeiro, Brésil.
- Panayotou, T. (1993). Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development. *International Labour Organization*.
- Sadorsky, P. (2012). *Energy consumption, output and trade in South America*. Toronto, Canada: Energy Economics.
- Schwarz, G. (1978). Estimating the dimension of a model. *The analis of statistics*, 6(2), 461-464.
- Shafik, N., & Bandyopadhyay, S. (1992). Economic growth and environmental quality - Time-Series and Cross-Country Evidence. *World Development Report*, 1-56.
- Shahbaz, M., Lean, H. H., & Shabbir, M. S. (2012). Environmental Kuznets Curve hypothesis in Pakistan: Cointegration and Granger causality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 2947-2953.
- Sims, A. (1980). *Macroeconomics and reality* (Vol. 48). Econometrica.
- Stern, D. (2004). The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve. *World development*, 32(8), 1419-1439.
- Stock, J., & Watson, M. W. (2001). Vector Autoregressions. *Journal of Economic Perspectives*, 15(4), pp. 101-115.
- Tedjani, K. (2021, Octobre). Le développement durable en Algérie. *Friedrich-Ebert-Stiftung*, pp. 1-42.
- TradingEconomics. (2025). Retrieved 06 2025, from <https://fr.tradingeconomics.com/algeria/full-year-gdp-growth>
- UNFCCC. (2024). *Rapport d'inventaire national des gaz à effet de serre*. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/inventaire-volume1_0.pdf.
- Younici, K., & Belhadi, Z. (2021, 12 30). Analyse De La Relation Entre Les émissions De Co2 Et La Croissance Du Pib En Algérie : Test De L'hypothèse De Kuznets. *Economic Researcher Review*, 9(2), 205-216.