

ÉTUDE DE L'IMPACT DES GAZ A EFFET DE SERRE SUR LE PIB AU MALI OU COMMENT LES POLITIQUES ENVIRONNEMENTALES RENFORCENT LA CROISSANCE ECONOMIQUE.

Yacouba TELLY ^{1, 2 *}

Ladji KANE³

Abdoulah Mamary KANE⁴

¹ Ecole Doctorale, Droit, Economie, Sciences Sociales, Lettres et Arts du Mali (ED-DESSLA-Mali)

² Département d'Études et de Recherches de Mathématiques à l'École Normale Supérieure de Bamako (ENSup-Bamako), Laboratoire Interdisciplinaire des Sciences et de Didactique des Sciences (LISDiS). E-mail : yate@live.fr

³ Faculté des Sciences Economiques et de Gestion, Université des Sciences Sociales et de Gestion de Bamako, Mali. E-mail : fsegmath@gmail.com

⁴ Institut d'Economie Rurale-IER/CRRA de Sotuba, Mali. E-mail : kanemali2003@gmail.com

* Auteur correspondant

Résumé

Cet article s'intéresse à l'impact des gaz à effet de serre sur le PIB au Mali. Pour cela ; les données du PIB, du CO₂, du CH₄ et du N₂O allant de 1970 à 2023 ont été utilisées. Les analyses ont démontré l'existence de relations dynamiques à court et long-terme des émissions de CO₂ vers le PIB, autrement dit les activités économiques à fortes émissions de carbone soutiennent la croissance. Toutefois, aucun impact significatif des émissions de CH₄ ni de N₂O vers le PIB n'a été détecté. En outre, des chocs, même minimes, du PIB et du CO₂ renforceront la croissance économique. L'article recommande donc une transition graduelle vers les énergies renouvelables (en particulier celle solaire), une alimentation contrôlée des ruminants, une couverture des stockages de fumier et son compostage ainsi que le développement du capital humain. Ces propositions devraient aider le pays à mieux atténuer les effets négatifs des émissions de gaz à effet de serre sur la croissance du PIB au Mali.

Mots-clés : Mali, PIB, GES, développement durable.

Abstract

This article focuses on GHG's impact on GDP in Mali. For this purpose, data on GDP, CO₂ and N₂O from 1970 to 2023 were used. The analysis demonstrated the existence of short and long-term relationships from CO₂ to GDP, meaning that economic activities with high carbon emissions support economic expansion. However, no significant impact from CH₄ nor N₂O to GDP was found. Furthermore, shocks of GDP or CO₂, however small they may be, will reinforce economic growth. The document therefore encourages a gradual transition to renewable energy (especially the solar one), controlled ruminant feeding, manure storage coverage and composting and human capital reinforcement. These recommendations should help mitigate the negative effects of GHG emissions on growth in Mali.

Keywords: Mali, GDP, GHG, sustainable development.

1. Introduction

Situé au cœur de l'Afrique de l'Ouest, le Mali est un pays sahélien aux multiples atouts naturels, culturels et humains. Pourtant, le pays doit composer avec des défis majeurs sur les plans économique, énergétique, environnemental et social. Marqué par une instabilité politique récurrente depuis la dernière décennie, le Mali cherche aujourd'hui la voie d'un développement durable, capable de répondre aux aspirations de sa population, dont une partie importante vit dans la pauvreté (*MALI KURA NETAASIRA KA BEN SAN 2063 MA*, 2024).

En effet, environ 43,9 % de la population malienne vit sous le seuil national de pauvreté (PNUD Mali, 2025). Cette pauvreté s'accompagne d'une faible scolarisation, d'un accès limité aux infrastructures sanitaires et à l'eau potable, ainsi que d'une insécurité alimentaire chronique. Les inégalités régionales sont marquées par une pauvreté plus accentuée dans les régions rurales. Le chômage et la précarité touchent particulièrement les plus jeunes et les femmes.

L'accès à l'énergie est un enjeu majeur pour le développement du Mali. Le mix énergétique du pays est dominé par l'utilisation des tiges et du charbon de bois. En 2023, le taux d'accès à

l'électricité était d'environ 54.5 % (*World Bank Open Data, 2025*). Ce faible taux s'expliquant par une faible extension du réseau national est marqué par des coupures fréquentes, des pertes techniques importantes et une couverture limitée hors des grandes villes. Bien que le pays dispose d'un fort potentiel solaire et hydroélectrique, le déploiement en énergies renouvelables reste limité à cause du manque d'investissement et d'infrastructures, d'une politique énergétique critiquable et de main-d'œuvre peu qualifiée.

Le Mali est particulièrement vulnérable aux effets du dérèglement climatique : variabilité accrue des précipitations, allongement des périodes de sécheresse, inondations ponctuelles, baisse de la productivité agricole, etc. Ces phénomènes aggravent la pauvreté, l'insécurité alimentaire et les migrations internes, mettant à rude épreuve la résilience des populations rurales. Aussi, les experts prévoient une hausse des températures moyennes annuelles et une augmentation des épisodes climatiques extrêmes pour les années prochaines (*Fiche d'information Climat - Mali, 2024*).

Face à ces difficultés, les autorités maliennes ont adopté plusieurs plans parmi lesquels l'incitation à plus d'investissements privés et la promotion de l'efficacité énergétique. L'Agence des Énergies Renouvelables du Mali est chargée de piloter la stratégie de transition énergétique. En plus de la mise en œuvre des programmes de reboisement, de gestion des forêts communautaires et de protection des bassins versants, le pays a multiplié sa participation aux conférences et colloques internationaux (Convention de lutte contre la désertification, Accord de Paris sur le climat, etc.). Le déficit budgétaire a été réduit à 2,9 % du PIB en 2024, grâce à une baisse temporaire de la masse salariale et à la digitalisation de l'administration fiscale (Madis Invest, 2025). Aussi, la forte hausse de production de coton et d'or, la relance de l'investissement et de la consommation aidées d'une politique monétaire restrictive et

des mesures d'approvisionnement ont contribué à chuter l'inflation de 9,7 % en 2022 à 2,2 % en 2023 (Banque mondiale, 2023). Toutefois, des inquiétudes demeurent quant à la transition vers une économie verte (Yacouba et Xuezhi, 2023). Est-ce une bonne idée, à l'heure actuelle pour le Mali, de réduire les émissions de GES ? Quelles peuvent être les conséquences sur la croissance du PIB ? Comment les (conséquences) atténuer ? Telles sont les questions que l'article se propose de traiter. Le reste de l'article s'articule comme suit : la section suivante examine la relation entre la croissance du PIB et les émissions de gaz à effet de serre, en mettant en évidence les mécanismes par lesquels ces émissions peuvent influencer la dynamique d'expansion économique. La section 3 présente l'approche méthodologique ainsi que les données mobilisées pour l'analyse empirique. Les résultats économétriques sont ensuite développés dans la section 4. Enfin, la section 5 synthétise les principaux enseignements tirés de l'étude.

2. Comprendre la relation entre le PIB et les émissions de gaz à effet de serre (GES).

Comprendre la relation entre le PIB et les émissions de GES demeure essentiel pour concevoir des politiques de développement durable, en particulier dans les pays en voie de développement où la croissance économique et la préservation environnementale apparaissent souvent difficiles à concilier (Telly, Liu et Gbenou, 2023). Une progression du PIB est souvent perçue comme un indicateur de prospérité, mais cette dynamique peut résulter d'activités productives incompatibles avec les objectifs de protection écologique. Les GES, principalement constitués de dioxyde de carbone (CO_2), de méthane (CH_4), de protoxyde d'azote (N_2O) et de gaz fluorés, proviennent de processus tels que la combustion de combustibles fossiles, l'agriculture, la déforestation ou diverses

opérations industrielles (Borduas et Donahue, 2018). Leur accumulation dans l'atmosphère intensifie l'effet de serre, alimente le changement climatique et accélère la dégradation des écosystèmes (Zedillo Ponce de León, 2008; Jacobson et Jacobson, 2012). La protection environnementale, condition indispensable au développement durable, suppose une maîtrise rigoureuse des émissions de GES (Masson-Delmotte *et al.*, 2019; Lugo-Morin, 2021). Mais cette contrainte ne risque-t-elle pas de freiner la croissance ?

La relation entre le PIB et les émissions de GES reste complexe : l'expansion économique s'accompagne très souvent d'une hausse de la production et de la demande énergétique, ce qui entraîne mécaniquement une hausse des émissions de GES. Toutefois, cette corrélation n'est ni systématique ni linéaire, car elle dépend du niveau de développement, de la structure productive et des choix technologiques des pays. En retour, les GES, en accentuant le réchauffement climatique, peuvent réduire la productivité agricole, détériorer la santé publique, endommager les infrastructures et accroître l'instabilité socio-politique (Zheng *et al.*, 2017; Zhou *et al.*, 2017; Zhao *et al.*, 2022), générant des pertes économiques susceptibles de peser sur le PIB à moyen ou long terme.

Bien que les GES soient principalement associés à des externalités négatives, ils présentent aussi certains effets bénéfiques, directs ou indirects. L'effet de serre naturel maintient la température moyenne terrestre autour de 15 °C, condition indispensable à l'agriculture, à l'élevage et à l'activité économique ; sans lui, la température moyenne avoisinerait – 18 °C, ce qui rendrait la vie et toute production économique quasi impossible. Cette régulation, l'effet de serre, a permis l'essor des civilisations et des échanges marchands . Par ailleurs, les secteurs énergivores (construction, industrie lourde, transport) génèrent des chaînes de valeur qui contribuent directement à la formation du PIB.

Selon la Banque mondiale, investir chaque année environ 1,4 % du PIB dans des actions climatiques pourrait réduire les émissions de 70 % d'ici 2050 tout en renforçant la résilience économique et en stimulant de nouvelles industries (World Bank Group, 2022). Cela suggère que les politiques de réduction des GES peuvent encourager la recherche, l'innovation et les infrastructures durables ; ce qui a un effet positif net sur la croissance à moyen terme. De plus, dans certaines régions froides, un climat plus doux peut temporairement améliorer les rendements agricoles, permettre de nouvelles cultures ou réduire les dépenses énergétiques, libérant du revenu pour d'autres usages. Toutefois, ces gains restent transitoires et masquent des coûts futurs : pertes agricoles dues aux extrêmes climatiques, dégradation des infrastructures, déplacements forcés, etc. Les bénéfices économiques immédiats peuvent être annulés, voire dépassés, par les impacts négatifs de long terme.

Cette étude revêt d'une importance capitale car elle porte sur un pays africain à revenu intermédiaire où les interactions entre dynamique économique et vulnérabilité climatique nécessitent davantage d'investigations. Alors que de nombreuses recherches se limitent à l'usage du CO₂ ou d'un indicateur global de GES pour mesurer la pression environnementale, cette étude mobilise des variables distinctes de GES afin d'évaluer l'effet spécifique de chaque gaz étudié. L'article utilise ainsi le PIB, le CO₂, le CH₄ et le N₂O et recourt au modèle ARDL pour examiner l'impact des émissions de GES sur la croissance. Cette approche permettra d'éclairer le débat sur la nécessité d'une transition énergétique vers des sources renouvelables.

3. Méthodes

Cette section est dédiée à la présentation du dispositif analytique mobilisé pour conduire l'étude. Elle expose la nature des variables retenues ainsi que les approches méthodiques et économétriques pour leur traitement et leur interprétation.

3.1. Données

Le PIB constitue traditionnellement l'indicateur macroéconomique de référence pour apprécier la performance économique et la dynamique de croissance d'un pays tandis que les émissions de GES sont considérées comme l'un des principaux indicateurs de la pression exercée sur l'environnement, en particulier dans le contexte du réchauffement climatique mondial. L'étude mobilise les séries temporelles relatives au PIB, ainsi qu'aux émissions de CO₂, de CH₄ et de N₂O, toutes extraites de la base officielle des indicateurs de la Banque mondiale. Le tableau 1 donne une description de ces variables tandis que le tableau 2 en présente les caractéristiques statistiques essentielles.

Tableau 1. Description des variables

Variab	Ab	Unités	Sources	Période
	tions			
Émissions de dioxyde de carbone	CO ₂	Mt CO2e	Site officiel de la Banque mondiale	1970 - 2023
Émissions de Méthane	CH ₄	Mt CO2e	Site officiel de la Banque mondiale	1970 - 2023
Émissions du	N ₂ O	Mt CO2e	Site officiel de la Banque mondiale	1970 - 2023

protoxyde
d'azote

PIB par PIB Dollar Site officiel de 1970 -
habitants s US la Banque 2023
mondiale

(Source : auteurs).

L'ensemble des variables est observé sur une période homogène allant de 1970 à 2023, soit un horizon temporel de 54 ans. Le PIB présente les niveaux absolus les plus élevés ainsi qu'une dispersion particulièrement marquée (Tableau 2). Toutes les séries analysées affichent une trajectoire globalement ascendante sur l'ensemble de la période d'étude : la progression du PIB au Mali s'accompagne d'une hausse parallèle des émissions de gaz à effet de serre. Toutefois, cette dynamique de croissance demeure non linéaire, caractérisée par plusieurs phases de ralentissement. Le PIB enregistre notamment une décélération entre 1980 et 1985, puis de nouveau entre 2010 et 2012 (Figure 1. (c)). Les émissions de CO₂ connaissent quant à elles, une intensification notable après 2000 (Figure 1. (b)). En revanche, les émissions de CH₄ et N₂O ne présentent aucune contraction après 1985, maintenant une tendance strictement croissante (Figure 1. (a, d)).

Tableau 2. Statistiques descriptives des variables.

	CH ₄	CO ₂	N ₂ O	PIB
Moyenne	13.8722	1.5708	4.5732	547.6703
Médiane	10.4434	0.4153	3.3949	510.9948
Maximum	28.7345	6.8451	9.7008	760.7952
Minimum	7.03210	0.2389	1.9324	346.7855
Écart-type	6.7331	2.0302	2.3884	131.9652
Observations	54	54	54	54

(Source : auteurs)

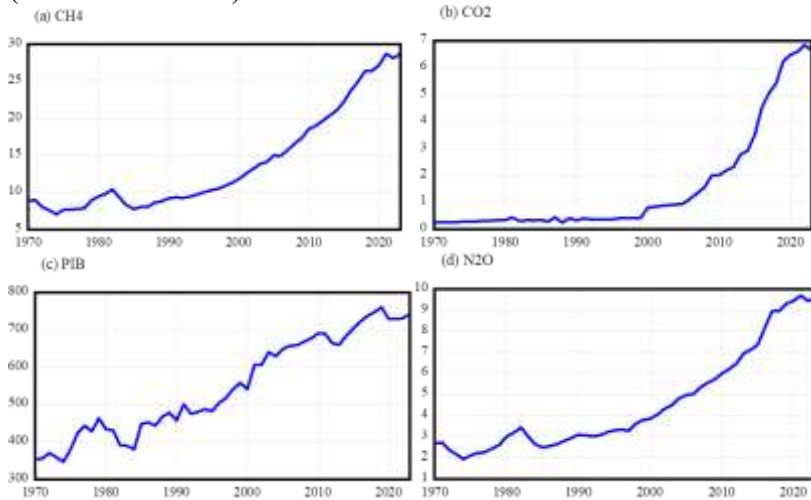


Fig. 1. Représentation graphique des données d'études

3.2. Méthodes

Ce document examine l'incidence des émissions de GES ; à savoir le dioxyde de carbone, le méthane et le protoxyde d'azote sur la dynamique du PIB au Mali. Pour appréhender ces interactions, l'analyse recourt au modèle ARDL, cadre économétrique de référence pour l'estimation conjointe de court et de long termes dans les échantillons restreints. Ce modèle est approprié dès lors que les séries satisfont aux conditions d'intégrations usuelles, notamment la contrainte selon laquelle leur ordre d'intégration ne dépasse pas 1. La spécification formelle du modèle s'écrit

$$\begin{aligned}
 DPIB_t = \alpha + & \sum_{i=1}^p \beta_i DPIB_{t-i} \\
 & + \sum_{j=0}^p \gamma_j DCO_{2(t-j)} \\
 & + \sum_{k=0}^p \theta_k DCH_{4(t-k)} \\
 & + \sum_{n=0}^p \vartheta_n DN_2O_{(t-n)} + \lambda ecm_{(t-1)} + \mu_t \quad (1)
 \end{aligned}$$

Dans cette équation, la variation du PIB constitue la variable endogène, tandis que les émissions de CO₂, de N₂O et de CH₄ ainsi que les retards du PIB, jouent le rôle de variables explicatives. Le paramètre λ représente la vitesse de correction de l'écart d'équilibre : une valeur comprise entre -1 et 0 garantit la stabilité du système et la convergence vers la relation de long terme. Les coefficients γ_0 , θ_0 et ϑ_0 traduisent les élasticités de long terme du PIB par rapport aux émissions, tandis que les coefficients $\gamma_{i \in [1,p]}$, $\theta_{i \in [1,p]}$ et $\vartheta_{i \in [1,p]}$ capturent les ajustements transitoires de court terme. L'analyse a été réalisée à l'aide du logiciel Eviews. Enfin, la variable CO₂ est notée LCO₂ dans la suite du document car l'analyse repose sur le logarithme népérien de CO₂ afin d'améliorer la normalité des résidus et la robustesse des tests économétriques (LCO₂ = ln (CO₂)).

4. Résultats

4.1. Test de Stationnarité

Le test de stationnarité permet de déterminer l'ordre d'intégration des variables, étape nécessaire avant l'application du modèle ARDL.

Tableau 3. Test de stationnarité

	Au niveau		À la première différence	
Dickey Fuller augmentée	PIB		DPIB	
	t-Stat	Prob	t-Stat	Prob
	-0.6059	0.8603	-8.5784	0.0000***
	LCO₂		DLCO₂	
	t-Stat	Prob	t-Stat	Prob
	1.8027	0.9997	-4.6705	0.0004***
	N₂O		DN₂O	
	t-Stat	Prob	t-Stat	Prob
	1.3884	0.9987	-4.5184	0.0006***
	CH₄		DCH₄	
t-Stat	Prob	t-Stat	Prob	
	1.0000	-3.2147	0.0248**	
	3.5904			
Phillip-Perron	PIB		PIB	
	t-Stat	Prob	t-Stat	Prob
	-0.5087	0.8810	-8.5849	0.0000***
	LCO₂		DLCO₂	
	t-Stat	Prob	t-Stat	Prob
	1.0070	0.9961	-11.8138	0.0000***
	N₂O		DN₂O	
	t-Stat	Prob	t-Stat	Prob
	2.0540	0.9999	-4.5184	0.0006***
	CH₄		DCH₄	
t-Stat	Prob	t-Stat	Prob	
2.8772	1.0000	-4.7117	0.0003***	

N.B : ** et *** indiquent les niveaux de signification, respectivement, à 5% et 10% (**Source :** auteurs).

Le test montre que les variables sont stationnaires à la première différence, faisant du modèle ARDL un choix judicieux.

4.2. Test de causalité de Granger

Le test de causalité de Granger permet de déterminer parmi deux variables X et Y, laquelle cause l'autre. L'hypothèse nulle de « pas de cause » est rejetée si la probabilité est inférieure au sens large à 0.05 (5%).

Tableau 4. Test de Causalité au sens de Granger

Hypothèse nulle	Statistique F	Probabilité
LCO ₂ ne cause pas N ₂ O	11.4318	9.E-05***
N ₂ O ne cause pas LCO ₂	0.7668	0.4702
PIB ne cause pas N ₂ O	7.0649	0.0021***
N ₂ O ne cause pas PIB	0.0641	0.9380
CH ₄ ne cause pas N ₂ O	3.3214	0.0447**
N ₂ O ne cause pas CH ₄	3.6776	0.0328**
PIB ne cause pas LCO ₂	4.2635	0.0199**
LCO ₂ ne cause pas PIB	0.1068	0.8989
CH ₄ ne cause pas LCO ₂	1.4764	0.2389
LCO ₂ ne cause pas CH ₄	15.3906	7.E-06***
CH ₄ ne cause pas PIB	0.0848	0.9189
PIB ne cause pas CH ₄	8.0125	0.0010***

N. B : ** et *** indiquent les niveaux de signification, respectivement, à 5% et 10% (**Source :** auteurs).

Ainsi, on constate que :

- Les émissions de CO₂ ainsi que le PIB exercent une causalité unidirectionnelle sur les émissions de N₂O ;
- Les émissions de CH₄ et de N₂O présentent une causalité bilatérale, révélant un mécanisme d'interaction endogène entre ces deux polluants ;
- Le PIB constitue un déterminant des émissions de CO₂ et de CH₄, suggérant un effet d'entraînement de l'activité économique sur l'intensité carbone.

- Les émissions de CO₂ induisent celles du CH₄, indiquant une complémentarité structurelle dans les processus de production ou d'usage énergétique.

Ces résultats témoignent d'une interdépendance systématique entre la croissance économique et les émissions de GES au Mali. Ils confirment que l'expansion du PIB s'accompagne mécaniquement d'une pression accrue sur l'environnement, même lorsque cette intensité reste marginale. Une telle configuration souligne la nécessité d'intégrer explicitement les externalités environnementales dans la conception et l'évolution des politiques économiques, afin d'assurer une trajectoire de croissance compatible avec les impératifs de soutenabilité écologique.

4.3. Effets sur le PIB

Les résultats issus de l'estimation du modèle ARDL, présentés dans les tableaux 5 et 6, rendent compte respectivement des effets de court et de long terme sur la dynamique du PIB. L'examen des coefficients de court-terme révèle que ni les émissions de CH₄ ni celles de N₂O n'exercent d'influence statistiquement significative sur l'activité économique. En revanche, les émissions de CO₂ ainsi que la valeur retardée d'une période du PIB apparaissent comme des déterminants majeurs de la croissance à court horizon. Cette configuration suggère que les segments de l'économie malienne les plus intensifs en émissions de dioxyde de carbone (typiquement les secteurs énergétiques, industriels ou liés à l'usage de combustibles fossiles) contribuent directement à l'expansion du PIB. Plus précisément, une augmentation d'un point des émissions de CO₂ est associée, toutes choses égales par ailleurs, à une hausse immédiate d'environ 39 points du PIB, traduisant une élasticité particulièrement élevée et révélatrice d'une dépendance structurelle de la croissance aux activités carbonées. Par ailleurs, la significativité du coefficient associé

au PIB retardé d'une période confirme l'existence d'un effet d'inertie ou de persistance de la croissance : une hausse de 1 % du PIB de l'année précédente se traduit par une augmentation nette de l'ordre de 86% du PIB courant, toutes choses par ailleurs égales. Ce résultat met en évidence la capacité des investissements, même différés, à générer des retombées économiques substantielles, soulignant ainsi l'importance des mécanismes d'accumulation du capital et de productivité dans la dynamique de croissance malienne.

Tableau 5. Les effets à court-terme sur le PIB.

Variable	Coefficient	Statistique t	Probabilité
PIB (-1)	0.8608	10.5252	0.0000***
LCO ₂	38.9136	1.9435	0.0580*
N ₂ O	-9.4593	-0.4313	0.6682
CH ₄	7.7470	0.7960	0.4300
CH ₄ (-1)	-8.9231	-1.3817	0.1736
C	148.2508	2.1222	0.0391**
R ²	0.9747		
R ² ajusté	0.9720		
Statistique F	362.3737		
Prob (statistique F)	0.0000		

(Source : auteurs).

Les résultats relatifs aux effets de long terme confirment, dans la continuité des estimations de court-terme, l'existence d'une relation structurelle et persistante entre les émissions de carbone et la trajectoire du produit intérieur brut. Les coefficients de long-terme mettent en évidence une élasticité positive et durable du PIB par rapport aux émissions de CO₂, indiquant que les activités économiques fortement carbonées constituent, dans le contexte malien, un vecteur de soutien à la

croissance sur plusieurs périodes. Cette configuration suggère que les secteurs intensifs en carbone (notamment l'énergie, les transports, l'industrie extractive ou les activités agro-industrielles) jouent un rôle central dans la formation de la valeur ajoutée et dans la dynamique d'accumulation du capital. Elle révèle également une dépendance structurelle de la croissance à des modes de production à forte empreinte environnementale, ce qui renforce la nécessité d'intégrer des considérations de gestion durable des ressources et de transition énergétique dans les stratégies de développement à long horizon.

En somme, la relation positive observée entre émissions de CO₂ et PIB à long terme atteste que, dans l'état actuel des structures productives, la croissance économique malienne demeure étroitement corrélée à des activités génératrices d'externalités environnementales négatives. Cette interdépendance souligne l'importance d'une planification économique intégrant simultanément les impératifs de performance macroéconomique et les exigences de soutenabilité écologique.

Tableau 6. Effet à long-terme sur le PIB.

Variable	Coefficient	Statistique t	Prob.
LCO ₂	279.4439	1.9397	0.0584*
N ₂ O	-67.9283	-0.3897	0.6985
CH ₄	-8.4456	-0.1455	0.8849

(Source : auteurs).

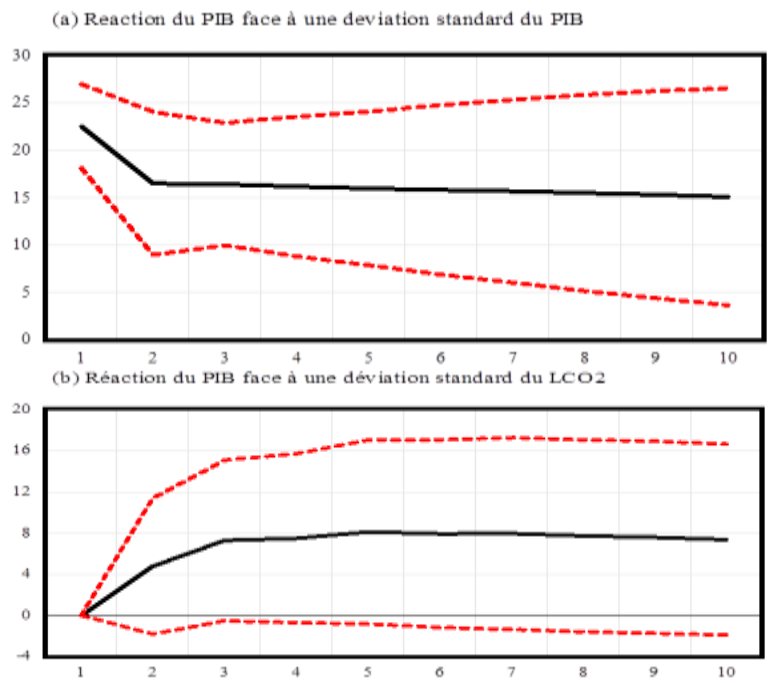


Fig. 2. Réaction du PIB après un stock des variables du PIB et du CO₂.

L'examen des fonctions de réponse impulsionnelle présentées dans la figure 2, illustrant respectivement la réaction du PIB à un choc exogène du PIB (fig. 2 (a)) et des émissions de CO₂ (fig.2. (b)), corrobore les résultats obtenus dans les tableaux 5 et 6. Les trajectoires simulées montrent que le PIB réagit positivement et de manière persistante à une déviation standard appliquée soit à sa propre dynamique, soit aux émissions de CO₂, et ce sur un horizon de dix années suivant 2023.

Cette réponse favorable traduit l'existence d'un mécanisme d'amplification dynamique : un choc initial sur l'activité économique ou sur les émissions carbonées génère une série d'effets multiplicateurs qui soutiennent la croissance au cours de

la période 2024–2034. D’un point de vue économique, cela suggère que les secteurs fortement émetteurs (typiquement l’énergie, les transports, l’industrie extractive ou les activités agro-industrielles) continuent de jouer un rôle structurant dans la formation du PIB, en raison de leur contribution à la valeur ajoutée, à l’emploi et à l’accumulation du capital.

Sur le plan de la gestion publique, ces résultats indiquent que des projets d’investissement ou des politiques de stimulation ciblant des activités intensives en CO₂ pourraient, dans le contexte actuel de la structure productive malienne, générer un effet d’entraînement significatif sur la croissance. Toutefois, cette dynamique positive s’accompagne d’externalités environnementales négatives, ce qui appelle à une réflexion stratégique sur l’arbitrage entre performance économique et soutenabilité écologique, notamment via l’intégration d’instruments de transition énergétique et de gestion des risques environnementaux.

4.4. Diagnostic du modèle

Pour jauger la qualité du modèle, l’article a réalisé des tests de normalité, de corrélation, d’homoscédasticité et de stabilité qui sont présentés dans le tableau 7 et la figure 3.

Tableau 7. Tests de diagnostics du modèle d’étude

Test de normalité Jarque-Bera		Test de corrélation sérielle LM de Breusch-Godfrey		Test de d’homoscédasticité de Breusch-Pagan-Godfrey	
F-stat	Prob	F-Stat	Prob	F-Stat	Prob
0.261	0.8776	0.4675	0.4145	1.1293	0.3581

1

(Source : auteurs).

Les résultats des tests ne présentent aucun problème de normalité, ni de corrélation ou d'homoscédasticité. Aussi, le modèle est stable, car le train bleu est suffisamment contenu dans la bande délimitée par les traits (pointillés) rouges.

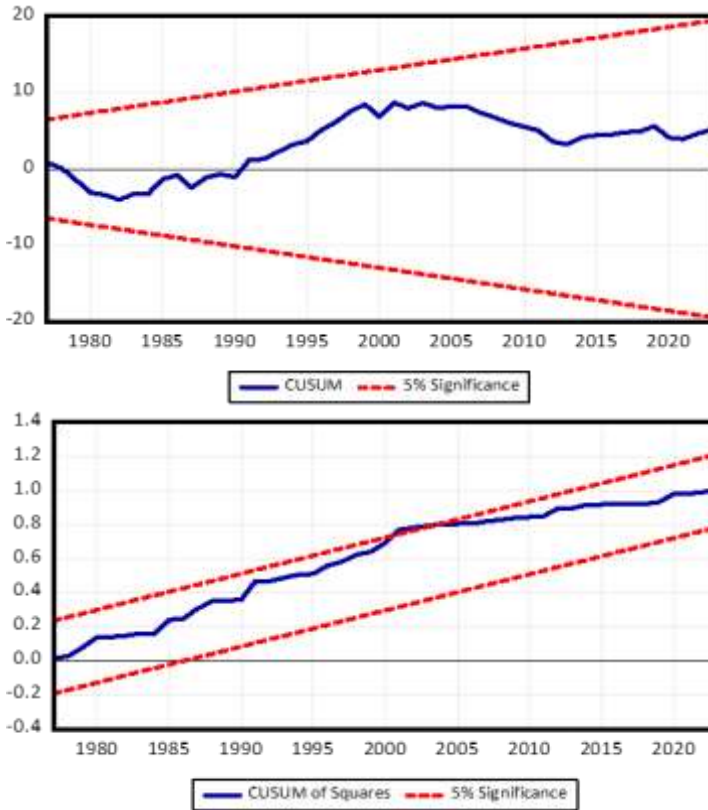


Fig. 3. Courbe de stabilité du modèle choisi

5. Conclusions

L'article analyse les effets des gaz à effet de serre, en particulier le CH₄, le CO₂ et le N₂O, sur le produit intérieur brut malien. Il s'agit d'apprécier l'incidence des activités fortement émettrices de méthane, de dioxyde de carbone et de protoxyde d'azote sur la croissance économique du pays. A cette fin, l'étude mobilise des données annuelles couvrant la période 1970 - 2023, soit plus d'un demi-siècle d'observations. Le modèle ARDL est utilisé pour examiner les relations dynamiques de court et long-terme, complété par le test de causalité de Granger et par l'analyse de la fonction de réponse impulsionnelle. Les résultats indiquent une causalité réciproque, au sens de Granger, entre le PIB et les émissions de GES. Toutefois, seules les activités à fortes intensité carbonée apparaissent comme des moteurs significatifs de l'économie malienne. Par ailleurs, les politiques de relance devront s'appuyer sur un soutien financier conséquent, les valeurs retardées d'une année du PIB contribuant fortement à la croissance. En revanche, aucune influence notable des émissions de méthane ou de protoxyde d'azote sur le PIB n'a été observée. Dès lors, l'étude formule les recommandations qui suivent à l'attention des décideurs politiques maliens.

La transition vers les énergies renouvelables devrait être conduite de manière progressive. La stratégie énergétique gagnerait à privilégier l'expansion de l'énergie solaire, plus aisément déployable et mieux adaptée aux réalités climatiques du pays. Des mesures facilitant l'accès aux équipements solaires, leur acquisition et leur maintenance contribueraient à encourager l'adoption des technologies renouvelables par les ménages et les entreprises.

Bien qu'aucun effet direct des émissions du CH₄ ou du N₂O sur le PIB n'ait été mis en évidence, la croissance démographique et la hausse de la demande énergétique laissent présager une haute future de ces émissions.. Cette évolution constitue une menace pour le développement durable et doit être anticipée. Les secteurs les plus concernés (agriculture, élevage, gestion des déchets et des eaux usées) nécessitent des interventions ciblées. L'amélioration des régimes alimentaires des ruminants grâce à des compléments (algues, huiles, tanins) permettra de réduire la fermentation entérique et donc les émissions de CH₄. La couverture et le compostage des déjections animales peuvent également contribuer à limiter les émissions de CH₄ et de N₂O. En matière d'engrais, l'application des doses adaptées, au moment opportun et au bon endroit, ainsi que l'usage d'engrais stabilisés ou à libération lente pourront limiter la transformation d'azote en N₂O. La bonne gestion du fumier nécessite la transformation des résidus agricoles et du fumier en biogaz, ce qui peut générer une source d'énergie renouvelable et créer de la valeur ajoutée pour le secteur agricole. La capture du biogaz pourrait servir à produire de l'électricité ou de la chaleur. Pour cela, il faudrait encourager le développement de technologies de réduction des GES, telles que les inhibiteurs de nitrification, la génomique végétale, les additifs alimentaires, ou encore la capture et valorisation du méthane.

Ces mesures pouvant s'avérer coûteuses, il est nécessaire de recourir à des instruments économiques compensatoires. L'intégration du CH₄ et du N₂O dans les marchés carbones ou l'instauration d'une fiscalité incitative orientant les investissements vers des solutions bas-carbone permettra d'atténuer les pressions budgétaires.

Le soutien aux entreprises et exploitants agricoles qui adoptent des pratiques atténuantes, associé à un accompagnement financier et technique, sera particulièrement

bénéfique. L'établissement de seuil d'émissions pourrait grandement aider à encadrer la transition.

Réduire les émissions de méthane et de protoxyde d'azote tout en soutenant la croissance économique demeure possible grâce à une combinaison de politiques ambitieuses, d'innovations technologiques, d'incitations économiques et d'un engagement accru des parties prenantes.

L'adoption massive de pratiques agroécologiques, le développement de l'économie circulaire, la modernisation des procédés industriels, le soutien à la recherche et l'investissement dans les énergies renouvelables constituent des leviers essentiels pour réussir la transition écologique sans pour autant compromettre la croissance économique. L'enjeu réside dans la capacité à intégrer ces actions dans des cadres cohérents et adaptables, en tenant compte des réalités locales et internationales.

Les limites de cette étude tiennent principalement à l'absence de certaines données. Il aurait été pertinent d'inclure des variables sur les autres gaz constituant les gaz à effet de serre, mais leur disponibilité a fait défaut. Les recherches futures pourraient examiner l'impact de l'essor des énergies renouvelables sur l'emploi au Mali ou analyser la manière dont le secteur éducatif pourrait renforcer les fondements du développement durable.

Conflit d'intérêt.

Les auteurs déclarent qu'il n'existe aucun conflit d'intérêt.

Financement.

Aucun financement n'a été reçu dans le but de mener cette étude.

Références

Banque mondiale (2023) *MALI 2023 - NOTE SUR LA SITUATION ÉCONOMIQUE*. World Bank Document. Washington, DC 20433: Banque internationale pour la reconstruction et le développement. Disponible sur: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099071023135513958/pdf/P17929908272cb0250a8a10ee3b00e78103.pdf> (Consulté le: 2 septembre 2025).

Borduas, N. et Donahue, N.M. (2018) « The Natural Atmosphere », *Green Chemistry*. Elsevier, p. 131-150. Disponible sur: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809270-5.00006-6>.

Fiche d'information Climat - Mali (2024). Disponible sur: <https://www.climatecentre.org/wp-content/uploads/RCCC-Country-profiles-Mali-2022-FR-Final.pdf> (Consulté le: 2 septembre 2025).

Jacobson, M.Z. et Jacobson, M.Z. (2012) *Air pollution and global warming: history, science, and solutions*. 2nd ed. Cambridge ; New York: Cambridge University Press.

Lugo-Morin, D.R. (2021) « Global Future: Low-Carbon Economy or High-Carbon Economy? », *World*, 2(2), p. 175-193. Disponible sur: <https://doi.org/10.3390/world2020012>.

Madis Invest (2025) *Actualité Économique - MADIS INVEST - Le Mali se dote d'une stratégie nationale de développement 2024-2033 de 61 232 milliards FCFA, Madis Invest*. Disponible sur: <https://madisinvest.com/actualites/economie/le-mali-se-dote-dune-strategie-nationale-de-developpement-2024-2033-de-61-232-milliards-fcfa-py4IHckQj98c9Kp4me4q> (Consulté le: 5 mai 2026).

MALI KURA NETAASIRA KA BEN SAN 2063 MA (2024). Bamako: Ministère de l'Économie et des Finances. Disponible

sur: <https://finances.ml/sites/default/files/2025-05/VISION-MALI-2063.pdf> (Consulté le: 2 septembre 2025).

Masson-Delmotte, V. *et al.* (2019) *An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Disponible sur: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf.

PNUD Mali (2025) *Rapport Annuel 2024*. Disponible sur: <https://www.undp.org/fr/mali/publications/rapport-annuel-2024>.

Telly, Y., Liu, X. et Gbenou, T.R.S. (2023) « Investigating the Growth Effect of Carbon-Intensive Economic Activities on Economic Growth: Evidence from Angola », *Energies*, 16(8), p. 3487. Disponible sur: <https://doi.org/10.3390/en16083487>.

World Bank Group (2022) *Analyse des résultats des différents rapports nationaux sur le climat et le développement*, *World Bank*. Disponible sur: <https://www.banquemondiale.org/fr/news/press-release/2022/11/03/countries-could-cut-emissions-by-70-by-2050-and-boost-resilience-with-annual-investments-of-1-4-of-gdp> (Consulté le: 28 avril 2026).

World Bank Open Data (2025) *World Bank Open Data*. Disponible sur: <https://data.worldbank.org> (Consulté le: 2 septembre 2025).

Yacouba, T. et Xuezhi, L. (2023) « Analysis of the impact of renewable energy use on GDP and employment in Angola: An error correction model approach », *Journal of Economics and International Finance*, 15(1), p. 22-36. Disponible sur: <https://doi.org/10.5897/JEIF2023.1189>.

Zedillo Ponce de León, E. (éd.) (2008) *Global warming: looking beyond Kyoto*. New Haven, Conn. : Washington, D.C: Center for the Study of Globalization, Yale University; Brookings Institution Press.

Zhao, Q. *et al.* (2022) « Global climate change and human health: Pathways and possible solutions », *Eco-Environment & Health*, 1(2), p. 53-62. Disponible sur: <https://doi.org/10.1016/j.eehl.2022.04.004>.

Zheng, Y. *et al.* (2017) « Dynamics of Climate Change, Drought and Migration: A Mixed Method Research in Ningxia », *Chinese Journal of Urban and Environmental Studies*, 05(03), p. 1750021. Disponible sur: <https://doi.org/10.1142/S234574811750021X>.

Zhou, X. *et al.* (2017) « Impact assessment of climate change on poverty reduction: A global perspective », *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 101, p. 214-223. Disponible sur: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2017.06.011>.