

Changement climatique et croissance économique au Sénégal : Une approche par le modèle à correction d'erreur.

Mame Mor Sene¹

Résumé

Cette étude s'attèle à évaluer l'impact du changement climatique sur la croissance économique au Sénégal, en se basant sur un modèle à correction d'erreur. Les données utilisées sont principalement issues des sources secondaires telles que le World Development Indicators (WDI) et le Climate Change Knowledge Portal (CCKP), couvrant la période de 1901 à 2021 avec des observations annuelles. Les résultats dévoilent une réponse immédiate de l'économie sénégalaise aux variations du PIB, tandis que les effets des précipitations et de la température sur la croissance s'avèrent évolutifs à court et long terme. Dans ce contexte, des recommandations de politiques économiques émergent, préconisant une diversification économique pour réduire la vulnérabilité aux changements climatiques, ainsi que des mesures favorisant l'efficacité énergétique et la promotion d'un développement durable. Ces recommandations suggèrent une approche proactive afin d'améliorer la résilience du pays face aux défis climatiques tout en stimulant sa croissance économique.

Abstract

This study assesses the impact of climate change on economic growth in Senegal, using an error-correction model. The data used come mainly from secondary sources such as the World Development Indicators (WDI) and the Climate Change Knowledge Portal (CCKP), covering the period from 1901 to 2021 with annual observations. The results reveal an immediate response of the Senegalese economy to variations in GDP, while the effects of rainfall and temperature on growth are shown to be evolutionary in the short and long term. Against this backdrop, economic policy recommendations are emerging, calling for economic diversification to reduce vulnerability to climate change, as well as measures to promote energy efficiency and sustainable development. These recommendations suggest a proactive approach to improving the country's resilience to climate challenges, while stimulating economic growth.

Mots clés : changement climatique, croissance économique, modèle à correction d'erreur, politiques économiques, développement durable.

Keywords: climate change, economic growth, error correction model, economic policies, sustainable development.

¹ Institut de Politiques Publiques, Université Cheikh Anta DIOP, Dakar – Sénégal

Introduction

Les conclusions du quatrième rapport du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) révèlent qu'une grande partie du réchauffement climatique observé depuis une cinquantaine d'années est imputable aux activités humaines. Publié en 2007, ce rapport confirme de manière convaincante que l'impact du réchauffement climatique de ces dernières années est le fait de l'empreinte humaine.

Le Sénégal, un pays situé à la pointe ouest de l'Afrique, fait face à des défis économiques et environnementaux importants, notamment en ce qui concerne le changement climatique. Au fil des années, le pays a connu des changements dans son climat, tels que l'augmentation des températures moyennes, les variations des précipitations et l'élévation du niveau de la mer. Ces changements ont des implications profondes pour la durabilité environnementale et la croissance économique du pays.

L'une des principales préoccupations est l'impact du changement climatique sur les secteurs clés de l'économie sénégalaise, tels que l'agriculture, la pêche et le tourisme. L'agriculture joue un rôle crucial dans l'économie sénégalaise, représentant une part substantielle du PIB. En 2019, elle contribuait à hauteur de 9,6% du PIB du pays, selon les données de l'Agence Nationale de Statistique et de la Démographie (ANSD, 2022). De plus, plus de 60% de la population active sénégalaise est employé dans ce secteur, ce qui souligne son importance en tant que source de revenus et de moyens de subsistance pour de nombreuses communautés.²

Cependant, le secteur agricole du Sénégal est particulièrement vulnérable aux variations des conditions climatiques, en particulier les précipitations et les sécheresses. Au fil des dernières décennies, le pays a été confronté à des mutations climatiques notables qui ont eu un impact significatif sur l'agriculture et sur la sécurité alimentaire de la population. Selon les données recueillies par la Direction de l'Analyse, de la Prévision et des Statistiques Agricoles (DAPSA) du Sénégal, les précipitations annuelles ont montré des fluctuations inquiétantes au cours des dernières années. En moyenne, le pays a connu une baisse de 20 mm par décennie depuis les années 1960³.

Cette diminution des précipitations, combinée à une augmentation des températures, a contribué à une intensification des sécheresses et à des perturbations dans les cycles de culture traditionnels. Une étude menée par le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD) a mis en évidence les conséquences de ces mutations climatiques sur l'agriculture sénégalaise. Les sécheresses plus fréquentes et les précipitations imprévisibles ont entravé la production agricole, provoqué la dégradation des terres cultivables et réduit les rendements des cultures alimentaires de base tels que le mil, le maïs et le riz.⁴

Le secteur du tourisme joue également un rôle majeur dans l'économie sénégalaise, contribuant de manière significative aux revenus nationaux (7,8% du PIB en 2019)⁵. Cependant, le changement climatique exerce des pressions sur ce secteur vital en perturbant les schémas météorologiques, en favorisant l'élévation du niveau de la mer et en endommageant les écosystèmes côtiers. S'agissant de la pêche, environ 17% de la population totale du pays dépend de ses revenus selon le PNUD (2020). Toutefois, l'élévation des températures de l'eau et les changements dans les courants marins ont un impact sur les stocks de poissons, ce qui peut entraîner des réductions de captures. Une étude menée par le Centre de Recherches Océanographiques de Dakar-Thiaroye a identifié des modifications dans les aires de répartition des espèces de poissons, ce qui peut affecter la subsistance des communautés de pêcheurs.⁶

L'ensemble de ces altérations exercent des répercussions profondes tant sur la viabilité environnementale que sur la croissance nationale. Dans ce contexte complexe, la question fondamentale de recherche qui se pose est la suivante : Quel est l'impact économique du changement climatique sur la croissance nationale et quels sont les mécanismes par lesquels ces effets se manifestent ?

L'objectif principal de cet article est justement d'analyser l'impact du dérèglement climatique sur la croissance économique du Sénégal. Plus spécifiquement, il s'agira de :

²Organisation Internationale du Travail (OIT, 2020) : « Travail décent et développement durable : Objectif 8 de développement durable. »

³DAPSA Sénégal (2016) : « Rapport Annuel de la pluviométrie. »

⁴Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD, 2020) ; « Changement climatique au Sénégal : Impacts, vulnérabilité et options d'adaptation. »

⁵Banque mondiale (2021), *Données sur le Sénégal*.

⁶Centre de Recherches Océanographiques de Dakar – Thiaroye (2019) : « Etude sur les impacts des changements climatiques sur la pêche au Sénégal. »

- ✚ Analyser les données et les tendances climatiques et économiques pertinentes pour le Sénégal pour établir des corrélations et déceler les points critiques d'interactions entre les deux phénomènes ;
- ✚ Examiner l'impact du changement climatique sur l'économie sénégalaise puis les canaux de transmission de cet impact.

Le plan qui sera suivi dans l'atteinte des objectifs fixés s'articule en trois sections. Dans un premier temps, la revue de littérature est décrite en présentant les fondements théoriques et en donnant quelques travaux empiriques saillants. Ensuite, la méthodologie d'étude adoptée sera exposée à la suite de la présentation des données utilisées. En commençant par la description des variables, la troisième et dernière section aura trait à l'analyse descriptive et l'interprétation des résultats issus des estimations.

1. Revue de littérature

1.1. Revue théorique de la littérature

Le changement climatique pose des défis majeurs à la croissance économique mondiale. Les effets potentiels du changement climatique sur les ressources naturelles, les infrastructures et les industries ont suscité des préoccupations quant à la durabilité de la croissance économique à long terme.

1.1.1. Cadre théorique de base : le modèle de Solow

Le modèle de croissance économique de Solow (1950)⁷ est l'une des théories traditionnelles qui ont influencé la compréhension de la croissance économique. Ce modèle repose sur l'idée que le capital physique et le progrès technologique sont les principaux moteurs de la croissance économique à long terme. Le progrès technologique est également un facteur clé, car il permet une utilisation plus efficace des ressources existantes. Ce modèle économique est donc neutre vis-à-vis de l'environnement suivant trois principales considérations. Premièrement, le modèle de Solow ne prend pas compte les externalités environnementales négatives générées par la croissance économique, telles que la dégradation de l'environnement et les émissions de gaz à effet de serre. Ces externalités sont souvent négligées car elles ne sont pas reflétées dans les prix du marché. Deuxièmement, ce modèle ne traite pas de la durabilité des ressources naturelles. Il suppose que le capital physique peut être reconstitué à travers l'accumulation de capital, mais cela ne s'applique pas aux ressources naturelles non renouvelables telles que les combustibles fossiles.

Et enfin, le modèle ne reconnaît pas explicitement le rôle du capital naturel, comme les écosystèmes, dans la croissance économique. La dégradation des écosystèmes et la perte de la biodiversité ne sont pas prises en compte dans les calculs de croissance.

1.1.2. Les théories de la croissance économique verte

Les théories de la croissance verte intègrent les considérations environnementales dans le modèle de croissance économique. Ces cadres conceptuels cherchent à équilibrer les objectifs économiques et environnementaux pour promouvoir un développement durable.

L'économie circulaire, formalisée en grande partie par l'Ellen MacArthur Foundation (2019),⁸ propose une approche novatrice pour réduire la dépendance aux ressources naturelles et minimiser les déchets. Ce modèle préconise un système où les produits et les matériaux sont conçus pour être réutilisés, réparés et recyclés, contribuant ainsi à la durabilité économique et environnementale. Michael Porter et Claas Van Der Linde (1995)⁹ ont mis en évidence la compatibilité entre la compétitivité économique et la protection de l'environnement dans le cadre de la théorie de l'innovation écologique. Cette approche suggère que les entreprises peuvent réaliser des avantages concurrentiels en adoptant des pratiques respectueuses de l'environnement, stimulant ainsi l'innovation et la croissance économique. Le concept de développement durable, popularisé par le rapport "Our Common Future" de Gro Harlem Brundtland (1987), propose une vision globale de la croissance économique qui prend en compte les aspects économiques, sociaux et environnementaux. Cette approche vise à assurer une croissance qui répond aux besoins actuels sans compromettre les ressources pour les générations futures.

1.2. Revue empirique de la littérature

⁷Solow, R. M. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65-94.

⁸Ellen MacArthur Foundation. (2019). "Cities in the Circular Economy: An Initial Exploration"

⁹Porter, M. E., & van der Linde, C. (1995). "Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship". *Journal of Economic Perspectives*, 9(4), 97-118.

Le défi du changement climatique suscite un intérêt croissant quant à ses implications pour la croissance économique. Cette revue empirique se penche sur les études qui ont examiné les effets concrets du changement climatique sur la croissance économique, en mettant en évidence les diverses perspectives et résultats obtenus.

R. Roson et D. Mensbrugge (2012)¹⁰ ont cherché à évaluer les effets d'une gamme d'impacts économiques induits par le changement climatique. En mobilisant un modèle d'évaluation intégré composé d'un module économique basé sur le modèle d'équilibre général calculable et d'un module climatique, les auteurs ont comparé deux scénarios. Le premier est un chemin de croissance de référence, ignorant tout effet du changement climatique, et un scénario contrefactuel prenant en compte les impacts. Les résultats obtenus, tels que les variations du PIB réel, montrent des impacts substantiels du changement climatique, particulièrement pour les pays en développement à long terme. O. Babatunde et Ayodele F. Odusola (2015)¹¹ ont effectué une analyse empirique du lien entre la croissance économique et le changement climatique en Afrique. En utilisant des données annuelles sur 34 pays durant la période 1961-2009, l'étude démontre l'existence d'un impact négatif du changement climatique sur la croissance économique. En particulier, une augmentation de 1° C de la température entraîne une réduction de la croissance du PIB de 0,67 point de pourcentage. M. Dell, Benjamin F. Jones et Benjamin A. Olken (2008)¹², en utilisant les variations annuelles de température et de précipitations au cours des 50 dernières années, dégagent trois niveaux de résultats principaux de l'impact des changements climatiques sur l'activité économique à travers le monde. Premièrement, des températures plus élevées réduisent fortement la croissance économique dans les pays pauvres, mais ont peu d'effet dans les pays riches. Deuxièmement, des températures plus élevées réduisent les taux de croissance dans les pays pauvres, plutôt que simplement le niveau de production. Et troisièmement, des températures plus élevées ont des effets diversifiés dans les pays pauvres, réduisant la production agricole, la production industrielle et l'investissement global. P. Alagidede, G. Adu et P. Boaky Frimpong (2016)¹³, s'intéressant à la zone Afrique subsaharienne, utilise des données sur deux variables dont la température et les précipitations pour analyser les effets du changement climatique sur la croissance économique durable.

A l'aide d'un modèle économétrique de cointégration de panel, ils démontrent que des températures au-delà de 24,9 °C réduirait significativement les performances économiques dans la zone. De plus, ils établissent que la relation entre le PIB réel par habitant d'une part et la température d'autre part est intrinsèquement non linéaire. E. Maria de Angelis et al (2019)¹⁴ explore comment la croissance économique et la qualité de l'environnement s'entrelacent dans le contexte de la courbe de Kuznets. En utilisant des données d'un échantillon de 32 pays sur la période 1992-2012 avec un modèle d'estimation à effets fixes, l'étude montre une relation en forme de U inversé entre le PIB par habitant et les émissions de CO2 par habitant, ainsi qu'un modèle en forme de N pour des spécifications cubiques. Aussi, les indices de rigueur représentant la réglementation environnementale présentent des coefficients négatifs et hautement significatifs, ce qui suggère que les politiques sont efficaces pour atténuer les dommages environnementaux liés à la croissance économique. A. Rezaei et al (2018)¹⁵ présentent un modèle basé sur la demande keynésienne agrégée et la croissance de la productivité du travail pour étudier comment les dommages climatiques affectent l'évolution à long terme de l'économie. Les auteurs constatent que le changement climatique induit par les gaz à effet de serre diminue la rentabilité, réduit l'investissement et diminue la production à court et à long terme. L'emploi à court terme diminue en raison de la demande insuffisante. À long terme, la croissance de la productivité est plus lente, ce qui réduit les niveaux de revenu potentiels. L'étude établit que les politiques climatiques peuvent augmenter les revenus et l'emploi à court et à long terme, tandis qu'une poursuite du statu quo aboutit à une répartition dystopique des revenus. A. Bsais et L. Mokaddem (2019)¹⁶ propose un modèle vectoriel à correction d'erreur qui permet de mettre en évidence les impacts du changement climatique sur la croissance économique dans le cas de la Tunisie. Les résultats obtenus valident l'hypothèse que les dommages

¹⁰ R. Roson et D. Mensbrugge (2012) : « Climate change and economic growth : impacts and interactions ». International Journal of Sustainable Economy, Vol.4, N°3

¹¹ O. Babatunde et Ayodele F. Odusola (2015) : « Climate change and economic growth in Africa : An Econometric analysis ». Journal of African Economies, Volume 24, Issue 2, March 2015, Pages 277-301.

¹² M. Dell, Benjamin F. Jones et Benjamin A. Olken (2008) : « Climate change and economic growth : Evidence from the last half century ». National Bureau of Economic Research, *working paper* 14132.

¹³ P. Alagidede, G. Adu et P. Boaky Frimpong (2016) : « The effect of climate change on economic growth: Evidence from Sub-Saharan Africa ». Environmental Economics and Policy Studies, 18, 417-436 (2016).

¹⁴ E. Maria de Angelis, Marina Di Giacomo et Davide Vannoni (2019) : « Climate change and economic growth: The role of environmental policy stringency ». *Economic and Business Aspects of Sustainability*, 2019, 11 (8), 2273.

¹⁵ A. Rezaei et Lance Taylor et Duncan Foley (2018) : « Economic Growth, Income Distribution and Climate Change ». Ecological Economics, Volume 146, April 2018, Pages 164-172

¹⁶ A. Bsais et L. Mokaddem (2019) : « L'impact du changement climatique sur l'agriculture et la croissance économique de la Tunisie ». Centre de Publication Universitaire, Campus Universitaire, Tunisie.

économiques potentiels du changement climatique sont importants dans les pays en développement. En effet, une hausse de la concentration en CO₂ (des températures et la perturbation des régimes pluviométriques) a un impact sur la croissance économique de la Tunisie particulièrement par la réduction du rendement du secteur agricole. L'analyse met en évidence l'ampleur d'un choc climatique sur le rendement du secteur agricole et ses répercussions sur la croissance économique.

2. Cadre méthodologique

2.1. Source et type des données

L'étude mobilise totalement des sources secondaires principalement du World Development Indicators (WDI) et du Climate Change Knowledge Portal (CCKP) sur la période 1901 – 2021 pour des données prises annuellement. Les variables du modèle inspirées de la littérature sont désignées suivant trois considérations :

- La variable dépendante : le PIB réel par habitant (TxPIB), capturant la croissance économique ;
- Les variables climatiques : la température moyenne (Temp) et le niveau de précipitation (Prec), la surface forestière (For) et le retrait des eaux douces (Eau) pour mesurer l'impact du climat sur l'économie ;
- Les variables de contrôle : l'investissement par la formation brute de capital fixe (FBCF), le taux de croissance démographique (Demo) et le taux d'urbanisation (Urb) pour contrôler les effets potentiels d'autres facteurs pouvant impacter la relation entre les indicateurs du changement climatique et la croissance économique.

2.2. Hypothèses des impacts potentiels des variables climatiques.

Plusieurs hypothèses sont faites de l'impact potentiel des variables climatiques sur la croissance économique au Sénégal :

- Température annuelle moyenne : Une augmentation de la température moyenne peut entraîner des effets néfastes tels que des perturbations agricoles, des coûts accrus pour la gestion des ressources naturelles et des problèmes de santé, ce qui pourrait peser sur la croissance économique ;
- Précipitations annuelles : Trop peu ou trop de précipitations peuvent avoir des effets négatifs sur l'agriculture et les ressources en eau, ce qui peut affecter la croissance. Cependant, dans certaines circonstances, des précipitations adéquates peuvent stimuler la croissance agricole et, par conséquent, économique ;
- Surface forestière : En raison de la déforestation et de la détérioration des écosystèmes, l'impact sur la croissance économique est mitigé ;
- Retrait des eaux douces : Une diminution des ressources en eau douce peut limiter la disponibilité des ressources pour l'agriculture, l'industrie et la consommation humaine, ce qui peut entraver la croissance économique.

2.3. Spécification du modèle

L'objectif de cette étude est de mesurer l'impact à court et à long terme du changement climatique sur la croissance économique du Sénégal. Dans la classe des modèles de séries temporelles qui existent en macroéconomie, les modèles de cointégration se trouvent être pertinents à cause de la nature généralement non stationnaire des variables utilisées. Ils permettent également d'analyser les relations de long terme ainsi que d'examiner la structuralité de ces relations.

La procédure de cointégration est appliquée si une série temporelle n'est pas stationnaire en niveau. Pour trouver la relation à long terme entre les variables climatique et la croissance économique, dans cette étude, la cointégration et le modèle à correction d'erreur vectorielle sont utilisés.

Si deux séries $I(1)$ sont cointégrées, alors il existe a_0 et a_1 tels que

$$u_t = y_t - a_0 - a_1 x_t \text{ est } I(0). \quad (1)$$

Dans le modèle d'équation unique de cointégration où y est la variable dépendante et x est un ensemble de variables explicatives, dans ce cas, le modèle à correction d'erreur peut être écrit comme suit :

$$\Delta y = \theta_0 + \theta_1 \Delta x_t + \lambda u_{t-1} = \theta_0 + \theta_1 \Delta x_t + \lambda (y_{t-1} - a_0 - a_1 x_{t-1}) + \varepsilon_t \quad (2)$$

Où la constante est présente seulement dans le cas d'une relation de long terme.

Si le taux de croissance économique entretient une relation de long terme avec des variables explicatives, comme celles liées au changement climatique, telles que la température annuelle moyenne, les précipitations annuelles, la déforestation, le recul des sources d'eau douce, l'étape supplémentaire consisterait à l'examen de la relation de causalité entre ces variables, du fait que ces variables sont cointégrées. Par conséquent, le modèle VECM est le suivant :

$$\Delta TxPIB_t = \lambda (TxPIB_{t-1} - a_0 - a_1 Temp_{t-1} - a_2 Prec_{t-1} - a_3 For_{t-1} - a_4 Eau_{t-1} - a_5 FBCF_{t-1} - a_6 Demo_{t-1} - a_7 Urb_{t-1} + \sum \theta_1 \Delta TxPIB_{t-i} + \sum \theta_2 \Delta Temp_{t-i} + \sum \theta_3 \Delta Prec_{t-i} + \sum \theta_4 \Delta For_{t-i} + \sum \theta_5 \Delta Eau_{t-i} + \sum \theta_6 \Delta FBCF_{t-i} + \sum \theta_7 \Delta Demo_{t-i} + \sum \theta_8 \Delta Urb_{t-i} + \varepsilon_t) \quad (3)$$

- Δ indique la différenciation d'ordre 1 des variables du modèle ;
- $a_1 - a_7$ représente les coefficients de court terme
- $\theta_1 - \theta_8$ représente les coefficients de long terme
- $t - i$ indique le nombre de retard optimal identifié par le critère d'information de Akaike.

3. Analyse descriptive

3.1. Statistiques descriptives des variables du modèle

En moyenne, les précipitations sur la période 1960-2020 au Sénégal s'élèvent à 712,272 mm (millimètres) avec une variation importante de 115, 1356 mm entre les observations sur la période. La température quant à elle affiche une moyenne de 28,59 °C avec une faible déviation standard de 0,52. Les valeurs de températures sont généralement comprises entre 27,49 et 29,63 °C. Pour ce qui est de la proportion de terres agricoles relativement à l'ensemble du territoire, elle est estimée en moyenne à 46,07% avec un écart standard de 0,96. Ses proportions s'étendent en effet de 43,57% à 49,28% de l'ensemble du territoire sénégalais sur la période. S'agissant du volume global moyen de retrait des sources d'eau douce, il est chiffré à 1,66 milliards de m³ entre 1960 et 2020. La formation brute de capital fixe représentant les investissements réalisés au Sénégal, montre en moyenne une proportion de 16,15% du PIB avec une déviation standard de 6,90%. Sur la période 1960-2020, le taux de croissance du PIB sénégalais a augmenté en moyenne de 3,15% mais avec une déviation standard plus élevée de 3,41%. Les valeurs varient en effet de -6,55% à 8,92%. L'urbanisation au Sénégal est forte avec un taux moyen de progression de 37,99% entre 1960 et 2020, avec une déviation standard de 6,58%. Enfin la croissance démographique est toute aussi importante sur le territoire avec un taux moyen sur la période de 32%.

Tableau 1 : Statistiques descriptives des variables du modèle

VARIABLE	Obs	Mean	Std. dev.	Min	Max
Prec	62	717.272	115.1356	458.71	925.7
Temp	62	28.58958	.5162807	27.49	29.63
Ter_Agri	62	46.06832	.9583556	43.57762	49.28063
Eau	62	1.661176	.6303943	1.008916	3.0616
FBCF	62	16.15314	6.904431	5.07304	34.37096
TxPIB	62	3.146583	3.412723	-6.554143	8.920504
Urb	62	37.99624	6.582563	23.645	49.086
Dem	63	32	18.3303	1	63

Source : Les auteurs, Calcul sous STATA

3.2. Analyse de la corrélation

L'analyse de la matrice de corrélation met en évidence les relations linéaires potentielles entre les variables du tableau, avec des p-valeurs indiquant la significativité des corrélations. Les principales observations incluent :

- La variable "Temp" (Température) présente une corrélation non significative avec les autres variables ($p > 0,05$), indiquant qu'elle n'est pas statistiquement liée aux autres facteurs. Quant à la variable "Ter_Agri" (Proportion de Terre Agricole), elle montre une corrélation significative positive avec la variable "Eau" (Recul des Eaux Douces) ($r = 0,0963$, $p < 0,05$). Cela suggère que l'utilisation des terres agricoles est potentiellement liée aux variations des ressources en eau douce. S'agissant de la variable "FBCF" (Formation Brute de Capital Fixe), elle présente des corrélations significatives positives avec "Eau" ($r = 0,9034$, $p < 0,05$) et "Urb" ($r = 0,9316$, $p < 0,05$), indiquant des relations potentielles entre les investissements en capital, le recul des eaux douces disponibles et l'urbanisation. Le "TxPIB" (Taux de Croissance du PIB) a une corrélation non significative avec les autres variables ($p > 0,05$), suggérant des liens moins évidents avec les facteurs environnementaux, à l'exception de la variable "Eau" où il existe une corrélation positive significative à 10% de seuil de risque. Ce résultat pourrait suggérer que l'augmentation du taux de croissance du PIB au Sénégal s'accompagne de la baisse des ressources en eau douce disponible. La variable "Urb" (Taux d'Urbanisation) montre des corrélations significatives positives avec "Eau" ($r = 0,8733$, $p < 0,05$) et "FBCF" ($r = 0,9316$, $p < 0,05$), indiquant une possible association entre l'urbanisation, les ressources en eau et les investissements en capital. La variable "Dem" (Croissance Démographique) présente des corrélations significatives négatives avec "Temp" ($r = -0,4059$, $p < 0,05$) et "Eau" ($r = -0,3453$, $p < 0,05$), suggérant des relations potentielles entre la croissance démographique, la température et les ressources en eau au Sénégal.

Tableau 2 : Matrice de corrélation entre les variables du modèle

	Prec	Temp	Ter_Agri	Eau	FBCF	TxPIB	Urb	Dem
Prec	1.0000							
Temp	-0.0422 0.7447	1.0000						
Ter_Agri	0.2113 0.0993	-0.1212 0.3480	1.0000					
Eau	0.1105 0.3928	0.7498 0.0000	0.0963 0.4563	1.0000				
FBCF	-0.0628 0.6277	0.7145 0.0000	0.1073 0.4065	0.9034 0.0000	1.0000			
TxPIB	0.0189 0.8842	0.0738 0.5686	0.0506 0.6964	0.2375 0.0631	0.2516 0.0486	1.0000		
Urb	-0.1208 0.3498	0.7100 0.0000	0.1223 0.3437	0.8733 0.0000	0.9316 0.0000	0.2572 0.0436	1.0000	
Dem	0.0992 0.4431	-0.4059 0.0011	0.1428 0.2681	-0.3453 0.0060	-0.4154 0.0008	-0.1692 0.1886	-0.4648 0.0001	1.0000

Source : 1 Les auteurs, calcul sous STATA

4. Analyse de la stationnarité des variables

Les tests de stationnarité des séries temporelles mobilisés sont ceux de première génération pour détecter la présence de racine unitaire, en l'occurrence le test de Dickey Fuller Augmenté et celui de Phillip Perron. Se basant sur des modèles autorégressifs AR (p), ils considèrent l'hypothèse nulle selon laquelle une racine unitaire est présente dans le processus sous-jacent. Les variables du modèle sont soit intégrées d'ordre 1 ou stationnaires en niveau. Ce qui est une bonne présomption de l'existence d'une relation de cointégration entre celles-ci. Par la suite, nous implémentons le test de cointégration de Johansen afin d'évaluer la possibilité d'une relation de long terme entre les variables climatiques et le taux de croissance du PIB au Sénégal.

Tableau 3 : Ordre d'intégration des variables du modèle

Variable	Niveau I (0)				Niveau I (1)				Ordre d'intégration
	Augmenté Dickey Fuller		Phillip Perron		Augmenté Dickey Fuller		Phillip Perron		
	P - Valeur	Retard optimal (AIC)	P - Valeur	Retard optimal (AIC)	P - Valeur	Retard optimal (AIC)	P - Valeur	Retard optimal (AIC)	
Prec	0,0701	2	0,000	2	0,0001	4	0,000	4	I (1)
Temp	0,0056	4	0,000	4	-	-	-	-	I (0)
Ter_Agri	0,0101	2	0,0023	2	-	-	-	-	I (0)
Eau	0,6096	4	0,3948	4	0,0063	3	0,000	3	I (1)
FBCF	0,8352	1	0,7344	1	0,000	0	0,000	0	I (1)
TxPIB	0,000	1	0,000	1	-	-	-	-	I (0)

Source : 2 Les auteurs, calcul sous STATA

On précise que les variables Taux d'urbanisation (Urb) et Taux de croissance démographique (Demo) ont été écartées du modèle, du fait de leur stationnarité en deuxième différence.

5. Analyse de la cointégration des variables du modèle

Le test de cointégration est effectué pour identifier l'existence d'une relation de long terme entre les variables incluses dans le modèle. Dans le cadre de cette étude, le test de Johansen pour la cointégration a été appliqué. Le test de Johansen suppose que l'hypothèse nulle d'absence de relation de long terme entre les variables dépendantes et indépendantes est testée par rapport à l'hypothèse alternative.

Suivant la statistique du Max – lambda statistics qui compare les valeurs propres observées à une distribution de valeurs critiques à 95% de seuil de confiance (Max – Lambda) dans le modèle de correction d'erreur (CE), à l'exception du 5^e vecteur dont le Max – lambda statistics est inférieur à celui de la valeur critique, tous les autres vecteurs propres sont cointégrés. Ce résultat est corroboré avec la statistique de Trace pour l'existence de 4 vecteurs propres cointégrés. Ainsi, on rejette l'hypothèse nulle d'absence de cointégration vectorielle au niveau de confiance de 95% et on conclut qu'il existe une relation de long terme entre les variables climatiques et le taux de croissance économique dans le contexte sénégalais.

Tableau 4 : Test de cointégration de Johansen

Eigenvalues (lambda)	rank<=(r) r	H1:	
		Max-lambda statistics (rank<=(r+1))	Trace statistics (rank<=(p=6))
.81361788	0	100.79738	265.05394
.60401072	1	55.582089	164.25656
.56622721	2	50.114065	108.67447
.42814853	3	33.532559	58.560404
.24532848	4	16.888362	25.027845
.12685885	5	8.1394832	8.1394832

Table/Case: 1*
(assumption: intercept in CE)

H0:	Max-lambda	Trace
0	40.30	102.14
1	34.40	76.07
2	28.14	53.12
3	22.00	34.91
4	15.67	19.96
5	9.24	9.24

Source : Les auteurs, calcul sous STATA

6. Résultats de la modélisation à correction d'erreur (VEC) et discussion

Le coefficient estimé de (-1,13529) pour le taux de croissance du PIB suggère qu'à court terme, une augmentation d'une unité dans le taux de croissance du PIB de l'année antérieure entraîne une diminution de 1,13 points de pourcentage dans le taux de croissance de l'année suivante du PIB. Cette observation met en évidence une réponse rapide de l'économie aux fluctuations immédiates du PIB. En outre, pour ce qui concerne les précipitations annuelles, l'impact sur le taux de croissance est évolutif selon l'horizon temporel. En effet, à court terme une augmentation d'une unité dans les précipitations est associée à une augmentation de 0,0098 points de pourcentage dans le taux de croissance du PIB. A long terme, toute accroissement d'une unité dans les précipitations annuelles s'accompagne d'une diminution de 0,0086 points de pourcentage dans le taux de croissance du PIB. Tout comme les précipitations, la température annuelle exerce un effet mitigé sur le taux de croissance du PIB. A court terme, une augmentation d'une unité de la température entraîne une hausse d'environ 2 points de pourcentage dans le taux de croissance du PIB. Par contre, à long terme, toute accroissement d'une unité de la température moyenne annuelle est associé à une baisse de 1,77 points de pourcentage sur le taux de croissance du PIB. Le modèle estimé conduit à conclure que le retrait des eaux douces, ainsi que la proportion de terres agricoles par rapport à l'ensemble du territoire n'expliquent pas significativement la dynamique du taux de croissance économique au Sénégal ($p > 5\%$).

Dans l'ensemble, les résultats soulignent une variabilité des effets en fonction de l'horizon temporel. Cette variation dans les réponses économiques en fonction de la durée explique les mécanismes complexes à l'œuvre. Les impacts économiques immédiats différents de ceux observés à plus long terme, indiquent des ajustements graduels de l'économie sénégalaise aux changements climatiques. Aussi, le fait que les précipitations et la température affectent différemment le taux de croissance économique à court terme et à long terme reflète la dépendance de l'économie sénégalaise aux ressources naturelles. Les variations dans les précipitations et la température ont des répercussions sur des secteurs clés tels que l'agriculture, la pêche et le tourisme, qui sont intimement liés au climat.

Nos résultats sont en phase avec les travaux de F. Eboli, R. Parrado et R. Roson (2010),¹⁷ qui par la mobilisation d'un modèle d'équilibre général calculable dynamique et multirégional de l'économie mondiale, constatent que les pays en développement comparativement au reste du monde, sont les plus touchés économiquement par les impacts du changement climatique. Les conclusions des travaux de C. Arndt et al. (2014)¹⁸ dans le cas du Malawi sont convergents avec nos résultats. En effet, dans cet article qui évalue les implications potentielles du changement climatique pour les perspectives de croissance et de développement globales au Malawi, les auteurs ont combiné des modèles climatiques, biophysiques et économiques pour développer une analyse structurelle. Ils aboutissent au résultat que les effets du changement climatique sur la croissance économique sont variables à travers le temps et sont plus marqués à long terme.

Tableau 5 : Estimation des coefficients du modèle VEC

Vars	Estimation de court - terme		Estimation de long - terme	
	Coefficient	P> z	Coefficient	P> z
TxPIB				
L1 - TxPIB	-1,13529	0,000	-	-
L1 - Prec	0,0098435	0,001	-0,008670472	0,000
L1 - Temp	2,00831	0,000	-1,768984136	0,000
L1 - Ter Agri	-0,0813286	0,846	0,07163685	0,74518405
L1 - Eau	1,567417	0,674	-1,380631381	0,59368091
_cons	0,000547	0,999	-0,000481815	0,879951378

Source : Les auteurs, calcul sous STATA

Conclusion

Cette étude s'est proposée d'examiner l'impact du changement climatique sur la croissance économique au Sénégal. Afin de confronter les hypothèses de départ, l'étude a mobilisé un modèle de cointégration, en particulier le modèle à correction d'erreur sur des données climatiques et économiques couvrant la période 1961-2021. L'estimation du modèle à correction d'erreur a permis de révéler que les précipitations annuelles influencent la croissance économique au Sénégal, augmentant légèrement le PIB à court terme et le réduisant à long terme. De même, la température exerce des effets mixtes sur la croissance à court et à long terme. Les facteurs tels que le recul des eaux douces, du fait du changement climatique et les proportions d'utilisation des terres agricoles ne montrent pas de causalité significative avec la croissance économique.

Ainsi les résultats soulignent les effets évolutifs des précipitations et de la température sur la croissance économique à court et à long terme. L'identification de ces schémas complexes met en évidence la nécessité d'une approche holistique pour aborder les enjeux économiques liés au climat dans le contexte sénégalais. La gestion proactive des effets du changement climatique est cruciale pour maintenir la stabilité économique du pays. À cet égard, des politiques d'adaptation sont essentielles pour minimiser les effets négatifs et exploiter les opportunités émergentes. Il est impératif que le Sénégal investisse dans des mesures visant à renforcer la résilience économique face aux variations climatiques. Cela pourrait inclure des stratégies de diversification économique, de développement durable et d'efficacité énergétique. En fin, la promotion des technologies vertes et durables, ainsi que le renforcement de la capacité d'adaptation des secteurs vulnérables tels que l'agriculture, la pêche et le tourisme, sont désormais des impératifs pour le Sénégal.

¹⁷Fabio Eboli, Ramiro Parrado et Roberto Roson (2010): "Climate change feedback on economic growth: Explorations with a dynamic general equilibrium model". Cambridge University Press.

¹⁸Channing Arndt, Adam Schlosser, Kenneth Strzepke, James Thurlow (2014) : "Climate change and Economic growth prospects for Malawi : An Uncertainty approach.", Journal of African Economies, Volume 23, Issue suppl_2, Pages ii83-ii107.