

Vulnérabilités économiques et climatiques : effets sur la santé publique en Afrique de l'Ouest

Economic and climatic vulnerabilities: effects on public health in West Africa.

Auteur 1 : Dr. Sokhna Mbathio Diallo.

Dr. Sokhna Mbathio Diallo
Université Cheikh Anta Diop, Dakar, Senegal.

Déclaration de divulgation : L'auteur n'a pas connaissance de quelconque financement qui pourrait affecter l'objectivité de cette étude.

Conflit d'intérêts : Les auteurs ne signalent aucun conflit d'intérêts.

Pour citer cet article : Sokhna Mbathio Diallo (2026) « Vulnérabilités économiques et climatiques : effets sur la santé publique en Afrique de l'Ouest », African Scientific Journal « Volume 03, Num 38 » pp: 001 – 025.



DOI : 10.5281/zenodo.23592074.
Copyright © 2026 – ASJ



Résumé

Ce travail de recherche analyse les effets conjoints des vulnérabilités économiques et des dynamiques climatiques sur la santé publique en Afrique de l'Ouest, à partir d'un panel de huit pays (Bénin, Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Ghana, Mali, Niger, Nigeria et Sénégal) couvrant la période 2000-2025. La méthodologie combine l'Analyse en Composantes Principales (ACP) pour construire des indices synthétiques de vulnérabilité et des modèles économétriques robustes (Panel à effets fixes, Driscoll-Kraay, GMM dynamique et modèles multi-niveaux) et analyse leur influence sur trois indicateurs sanitaires (mortalité infantile, espérance de vie et retard de croissance). Les résultats révèlent que la vulnérabilité économique exerce un effet stabilisateur, diminuant de façon significative la mortalité infantile et le retard de croissance, tout en améliorant l'espérance de vie. Par contre, la vulnérabilité climatique augmente la mortalité infantile et le retard de croissance, et tend à diminuer la longévité, confirmant l'exposition accrue des populations aux chocs environnementaux. Les résultats fourniront aux décideurs des outils pour intégrer les données climatiques dans la planification sanitaire et renforcer la résilience des systèmes de santé.

Mots clés : Santé publique, changement climatique, macroéconomie, Panel, Driscoll Kraay, GMM, multi niveaux, Afrique, vulnérabilité, mortalité infantile, retard de croissance, espérance de vie.

Abstract

This study examines the combined effects of economic vulnerabilities and climatic dynamics on public health in West Africa, using a panel of eight countries (Benin, Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Ghana, Mali, Niger, Nigeria, and Senegal) over the period 2000-2025. The methodology integrates Principal Component Analysis (PCA) to construct synthetic vulnerability indices and employs robust econometric models (fixed-effects panel, Driscoll-Kraay estimators, dynamic GMM, and multilevel models) to assess their influence on three key health indicators infant mortality, life expectancy, and stunting. The findings indicate that economic vulnerability exerts a stabilizing effect, significantly reducing infant mortality and stunting while improving life expectancy. In contrast, climatic vulnerability increases infant mortality and stunting and tends to reduce longevity, confirming the heightened exposure of populations to environmental shocks. These results provide policymakers with evidence-based tools to incorporate climatic data into health planning and to strengthen the resilience of health systems in the region.

Keywords: Public health, climate change, macroeconomics, Panel, Driscoll-Kraay, GMM, mixed models, Africa, vulnerability, infant mortality, stunting, life expectancy.

Introduction

Le changement climatique représente un défi majeur de santé publique au niveau mondial, et l'Afrique illustre particulièrement cette problématique en raison de l'interaction complexe entre les vulnérabilités économiques et dynamiques climatiques (BM, 2018).¹ Bien que le continent ne soit responsable que d'une fraction marginale des émissions mondiales de gaz à effet de serre (moins de 4 %), il demeure exposé aux effets du changement climatique en raison de la pauvreté, du fardeau des maladies infectieuses et non transmissibles, et de l'accès limité aux infrastructures de santé. Ces facteurs structurels accentuent sa vulnérabilité face aux chocs externes et aux stress environnementaux (GIEC, 2022). Cette vulnérabilité est exacerbée par l'augmentation des maladies d'origine hydrique, représentant 40 % des urgences sanitaires liées au climat au cours des deux dernières décennies, et par une dépendance à l'agriculture, avec des capacités d'adaptation limitées (OMS, 2022).² En effet, les effets macroéconomiques combinés du changement climatique pourraient réduire le produit intérieur brut (PIB) du continent jusqu'à 3 % d'ici 2050.³

Dans ce contexte, l'Afrique de l'Ouest apparaît comme une région particulièrement exposée. Les projections climatiques indiquent une augmentation des températures moyennes de 1,5 °C à 2,1 °C d'ici 2050, avec des épisodes de sécheresse et d'inondations plus fréquentes (Hounzinme et al., 2026). Ces évolutions menacent directement la santé publique, en aggravant les risques liés à la malnutrition, aux maladies vectorielles (paludisme, dengue) et aux maladies hydriques. Par ailleurs, les chocs macroéconomiques, déficits budgétaires, endettement public élevé, volatilité des prix agricoles, limitent la capacité des Etats à investir dans les infrastructures sanitaires et sociales, compromettant ainsi le bien-être des populations (FMI, 2025).⁴

Théoriquement, cette étude s'appuie sur le modèle de Grossman (1972), qui considère la santé comme un capital dépréciant, influencé par les investissements dans les soins, l'alimentation et le mode de vie. Les décisions individuelles concernant la consommation de soins médicaux et d'autres biens déterminent la production de santé, où le temps, les ressources financières et l'éducation sont essentiels (Grossman, 1972). En intégrant les approches de Smith et al. (2014) et de la Banque Mondiale (2023), il est clair que les vulnérabilités économiques impactent non

¹ FINALSSAHotspotNote9Jan2018.pdf accédé le 06/04/2026.

² L'Afrique est confrontée à une hausse des urgences sanitaires liées au climat | OMS | Bureau régional pour l'Afrique accédé le 07/04/2026.

³ Les impacts du changement climatique sur les politiques budgétaires et monétaires en Afrique - Financial Sector Aggrening, Kenya

⁴ Fonds Monétaire International. (2025). *Perspectives économiques régionales : Afrique subsaharienne – Une reprise interrompue*. Washington, DC : FMI

seulement ces investissements, mais aussi l'accès aux ressources vitales, exposant ainsi les populations ouest africaines aux effets du changement climatique.

La question à laquelle ce travail de recherche tente de répondre est : *comment les vulnérabilités économiques et climatiques influencent-elles la santé publique en Afrique de l'Ouest, notamment à travers la mortalité infantile, l'espérance de vie à la naissance et le retard de croissance ?*

Sur le plan scientifique, ce travail de recherche contribuera à l'intégration des dimensions économiques et climatiques dans l'analyse de la santé publique en Afrique de l'Ouest. Sur le plan institutionnel, ce travail fournira des outils opérationnels aux décideurs pour la mise en place de politiques, visant à protéger la santé de la population face aux défis climatiques.

Cette recherche vise à analyser l'effet des vulnérabilité économiques et climatiques sur la santé publique en Afrique de l'Ouest. Ainsi, l'objectif général est d'analyser l'effet des vulnérabilité économiques et climatiques sur la santé publique en Afrique de l'Ouest. Il s'agira de (i) *Déterminer l'influence des vulnérabilités économiques sur les indicateurs de santé publique (mortalité infantile, espérance de vie à la naissance, retard de croissance) ; (ii) Identifier les effets des dynamiques climatiques sur la santé des populations et (iii) mettre en évidence comment l'interaction entre instabilité économique et stress climatique contribue à la détérioration de la santé.*

Le choix de l'approche méthodologique s'inscrit dans une logique visant à combiner rigueur statistique et pertinence contextuelle. L'ACP permet de simplifier la structure des données en construisant des indices synthétiques de vulnérabilité, tout en limitant la multicolinéarité. Les modèles dynamiques et multi-niveaux, quant à eux, permettent de corriger les biais liés à l'endogénéité, à l'hétéroscédasticité ainsi qu'aux interdépendances temporelles et spatiales, qui caractérisent souvent des données africaines. Cette stratégie permet d'analyser l'effet des variables économiques, climatiques et sociales sur les indicateurs de santé publique (mortalité infantile, espérance de vie, retard de croissance), à partir d'un panel couvrant la période 2000-2025.

L'article est organisé comme suit : après la revue de la littérature, la méthodologie et les données utilisées sont présentées, suivies des résultats empiriques et de leur discussion. Enfin, la conclusion met en lumière les implications politiques et les recommandations.

Revue de la littérature

La santé publique est impactée par une multitude de facteurs, parmi lesquels les vulnérabilités économiques et les dynamiques climatiques jouent un rôle majeur. Les variations du PIB, de l'inflation et du chômage ont des effets considérables sur les systèmes de santé (Da Silva, 2017 ; Fall et Dramani, 2023). Une croissance économique soutenue peut améliorer l'accès aux services

de santé, à l'éducation et à l'assainissement, réduisant ainsi la mortalité infantile et augmentant l'espérance de vie (Bathily et Gueye, 2023). Toutefois, en période de crise économique, les dépenses publiques de santé tendent à diminuer, tandis que le chômage et la pauvreté augmentent, aggravant les inégalités sanitaires (Kutzin, 2013 ; Gwatkin et al., 2007). La pandémie de COVID-19 a accentué ces fragilités en Afrique, en affaiblissant des secteurs clés tels que le tourisme, l'agriculture et le transport (Ndiaye, 2024). Meheus et McIntyre (2017) rappellent néanmoins que le niveau de développement économique ne détermine pas automatiquement le niveau de dépenses publiques, et que des choix politiques et fiscaux peuvent élargir l'espace budgétaire. L'amélioration de la santé publique renforce le capital humain et peut stimuler la croissance du PIB par habitant, influençant les dynamiques d'épargne et d'investissement à long terme (Berkman et al., 2011 ; Fayissa et Gutama, 2005).

Parallèlement, les événements climatiques extrêmes, sécheresses, inondations, vagues de chaleur ont des conséquences directes et indirectes sur la santé publique (Bomboma et al., 2023 ; OMS, 2022). Ils entraînent des pénuries alimentaires, des maladies hydriques, des infections respiratoires et des déplacements de population (Moore et Colwell, 2023). Dans les zones vulnérables du Sahel, ces chocs climatiques aggravent la mortalité maternelle et infantile (Basu, 2009 ; Manyuchi et al., 2022 ; Samuels et al., 2022). Fagbemi et al. (2025) montrent que les émissions de CO_2 ont un effet négatif significatif sur l'espérance de vie dans 15 pays d'Afrique de l'Ouest, et augmentent fortement la mortalité infantile, en particulier chez les enfants de moins de cinq ans exposés à des températures élevées. Les populations marginalisées, femmes, communautés rurales et autochtones, sont disproportionnellement exposées aux impacts du climat, ce qui exacerbe les inégalités sociales et sanitaires (Tschakert et al., 2013).

Les études par pays confirment ces tendances. Au Sénégal, les maladies respiratoires et hydriques augmentent dans les zones urbaines en raison des inondations et de la pollution (Cissé, 2025 ; Diouf et al., 2023). Au Nigeria et au Ghana, les inondations favorisent la transmission des maladies vectorielles comme le paludisme et la dengue (Jourdain et Paty, 2019 ; Diop et al., 2014). Dans le Sahel, les sécheresses récurrentes entraînent malnutrition et détresse psychologique chez les agriculteurs (Bomboma et al., 2023 ; OCDE, 2025). Les chocs climatiques affectent aussi la santé mentale, provoquant stress, anxiété et dépression, notamment chez les populations rurales dépendantes de l'agriculture (OMM, 2023).

Enfin, l'interaction entre crises économiques et catastrophes climatiques constitue un cercle vicieux. Les crises budgétaires limitent la capacité des gouvernements à répondre efficacement aux catastrophes, tandis que les événements climatiques extrêmes perturbent les moyens de

subsistance, réduisent les revenus des ménages, affaiblissent les systèmes de santé et augmentent la vulnérabilité sanitaire. Les recherches de Béné et al. (2016) mettent en évidence que la détérioration de la santé publique entraîne des coûts économiques supplémentaires, compromettant davantage la résilience. Mehra et al. (2024) soulignent enfin que l'exposition aux températures élevées, en particulier pour les travailleurs en extérieur et les femmes enceintes, présente des risques sanitaires importants, impactant directement la production agricole et économique.

1. Méthodologie et statistique descriptive

1.1.Méthodologie

Afin de répondre à nos objectifs de recherche, ce travail mobilise une approche économétrique et statistique combinant Analyse en Composantes Principales (ACP) et modèles de Panel multi pays couvrant 8 pays de l'Afrique de l'Ouest sur la période de 2000 à 2025. Cette combinaison méthodologique se justifie par la nécessité de capturer simultanément les dynamiques temporelles et les hétérogénéités structurelles entre pays tout en contrôlant les effets non observés spécifiques à chaque pays.

La spécification générale du modèle de base est formulée comme suit :

$$Y_{it} = \alpha_i + \beta_1 X_{1t} + \beta_2 X_{2t} + \beta_3 X_{3t} + \dots + \beta_i X_{it} + \varepsilon_{it}$$

Où Y_{it} représente la variable indicatrice de santé publique (mortalité infantile, l'espérance de vie à la naissance et le retard de croissance) pour chaque pays i à l'année t , tandis que X_{it} correspondent respectivement aux variables économiques et climatiques de chaque pays à l'année t . Le coefficient α_i capture les effets spécifiques non observés et ε_{it} terme d'erreur composite, susceptible de présenter autocorrélation et hétéroscédasticité.

La pertinence des résultats va dépendre de la sélection des variables exogènes. En effet, le modèle de Grossman (1972), l'approche de Smith (2014) et la perspective de la Banque Mondiale (2023) mettent en lumière l'importance des déterminants économique et sociaux. Ces déterminants comme les variables de résultats et climatiques sont motivés par la littérature. L'espérance de vie à la naissance, la mortalité infantile et nutrition sont largement utilisées dans la littérature (Fagbemi et al., 2025 ; Fall et Damani, 2023 ; Baye et al., 2023 ; Fayissa et Gutema, 2005, Cissé, 2025). Variables climatiques émissions de CO_2 , température et les précipitations influencent l'état de santé des populations (Fayissa et Gutema, 2005 ; Manyuchi et al., 2022 ; Fall et Damani, 2023 ; Fagbemi et al., 2025 ; Cissé, 2025). En ce qui concerne les variables économiques et sociales, nous avons les dépenses de santé par habitant (Baye et al., 2023 ; Fagbemi et al., 2025 ; Fayissa et Gutema, 2005), le PIB par habitant (Fayissa et Gutema, 2005 ; Fagbemi et al., 2025 ; Fall et Dramami, 2023 ; Baye et al., 2023 ; Cissé, 2025), les investissements directs étrangers (Fagbemi

et al., 2025), emploi (la part de la population active occupée) (Fall et Dramani, 2023 ; Baye et al., 2023 ; Cissé, 2025), l'éducation (taux de scolarisation primaire) (Fagbemi et al., 2025 ; Baye et al., 2023 ; Fayissa et Gutema, 2005 ; Cissé, 2025), l'urbanisation (Fayissa et Gutema, 2005 ; Cissé, 2025 ; Manyuchi et al., 2022), la dette publique et l'inflation. Ces déterminants comme les variables de résultats et climatiques sont motivés par la littérature.

Les données couvrent la période 2000 à 2025 pour huit pays de l'Afrique de l'Ouest (Binin, Burkina Faso, Cote D'Ivoire, Ghana, Mali, Niger, Nigéria et le Sénégal). Les données sont issues de la Banque Mondiale et de l'UNICEF. La dette publique est rapportée au PIB afin de calculer le ratio dette/PIB. Les séries manquantes sont corrigées par interpolation linéaire et extrapolation. Les variables économiques et climatiques sont normalisées en z scores pour limiter les biais d'échelle et faciliter les comparaisons inter pays.

Dans un premier temps, l'ACP est utilisé pour construire des indices synthétiques de vulnérabilité économique et climatique. L'indice de vulnérabilité économique intègre des variables le PIB par habitant, le taux d'inflation, la dette publique, les dépenses de santé et les investissements directs étrangers (Fayissa et Gutema, 2005 ; Bathily et Gueye, 2023). L'indice de vulnérabilité climatique repose sur la température moyenne, les précipitations, les émissions de CO_2 (Fall et Dramani, 2023 ; Fagbemi et al., 2025 ; Banque Mondiale, 2024) et l'urbanisation (Tschakert et al., 2013 ; Cissé, 2025). Ainsi, la prise en compte de ces variables dans les indices permet de réduire la multicollinéarité et de disposer de mesures agrégées robustes des vulnérabilités.

La spécification du modèle peut être formulée comme suit :

$$Y_{it} = \alpha_i + \beta_1 \text{EconVulIndex}_{it} + \beta_2 \text{ClimStressIndex}_{it} + \beta_3 \text{EducPrim}_{it} + \beta_4 \text{Emploi}_{it} + \varepsilon_{it}$$

Avec EconVulIndex représente l'indice de vulnérabilité économique, ClimStressIndex l'indice de vulnérabilité climatique. Le taux de scolarisation primaire (EduPrim) et la part de la population active occupée (Emploi) sont retenus comme variables de contrôles.

Le modèle est estimé sous les hypothèses d'effets fixes (FE) et d'effets aléatoires (RE), avec le test de Hausman pour choisir la spécification appropriée. Les séries sont également soumises aux tests de dépendances transversales (test de Pesaran), de stationnarité afin de déterminer leur ordre d'intégration (Pesaran et al., 2001) et de cointégration pour confirmer l'existence de relations de long terme entre les variables.

Afin de tenir compte d'une éventuelle interdépendance sérielle qui pourrait exister l'approche combine également les modèles de Driscoll-kraay pour corriger la dépendance transversale et l'hétéroscédasticité, de GMM dynamique pour corriger l'endogénéité et la dépendance temporelle des variables dépendantes et de multi-niveaux (mixed) pour intégrer la variance inter pays.

Ainsi, le GMM serait sous la forme :

$$Y_{it} = \delta Y_{i,t-1} + \beta_1 \text{EconVulIndex}_{it} + \beta_2 \text{ClimStressIndex}_{it} + \beta_3 \text{EducPrim}_{it} + \beta_4 \text{Emploi}_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it}$$

Où $Y_{i,t-1}$ est la variable retardée, instrumenté pour éviter le biais d'endogénéité.

Ainsi, dans le cadre de ce travail, nous partons des hypothèses qu'une hausse de la vulnérabilité économique est associée à une dégradation des indicateurs de santé publique ; une intensification du stress climatique entraîne une détérioration des indicateurs sanitaires et les effets conjoints de la vulnérabilité économique et du stress climatique amplifient les inégalités sanitaires dans le temps.

1.2.Statistique descriptive

Les statistiques descriptives révèlent des différences importantes entre les dimensions climatiques, économiques et sanitaires des pays étudiés. Les précipitations sont en moyenne de 862 mm mais très variables (149 à 1575 mm), traduisant une forte exposition aux sécheresses et inondations, tandis que la température reste élevée et relativement stable autour de 28 °C. Les émissions de CO_2 quant à elles restent faibles mais à la hausse. Sur le plan économique, le PIB par habitant reste faible (1179 USD en moyenne) avec une forte dispersion, et l'inflation dépasse 40 %, reflétant une vulnérabilité macroéconomique tandis que la dette publique présente une dispersion marquée, avec un ratio dette/PIB moyen de 7,5 % mais pouvant dépasser 37 %. En outre, les dépenses de santé par habitant sont limitées (46 USD en moyenne) et l'éducation primaire relativement élevée (81 %), bien que marquée par une hétérogénéité. Par ailleurs, le marché du travail montre un taux d'emploi moyen de 68 %, mais avec une variation marquée, et l'urbanisation atteint 39 % en moyenne, confirmant une transition démographique inégale (16% à 64%). Les indicateurs sanitaires révèlent une espérance de vie moyenne de 58 ans, une mortalité infantile encore élevée (62 décès pour 1000 naissances, pouvant aller jusqu'à 108) et un retard de croissance touchant près de 31 % des enfants.

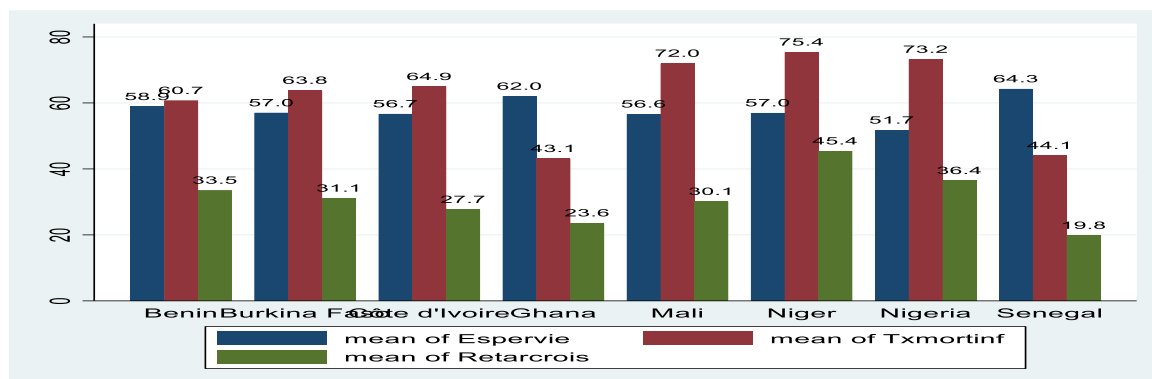
Tableau 1 : Statistiques descriptives des variables (2000-20025)

Variable	Moyenne	Écart-type	Min	Max
Précipitations moyenne(mm)	861,76	399,26	149,9	1575,21
Température moyenne (°C)	28,34	0,9	26,57	30,02
PIB par habitant (USD)	1179,37	705,59	194,77	3257,16
Inflation (%)	5,68	7,69	-4,45	41,51
Emploi (%)	68,27	9,66	42,41	80,08
Urbanisation (%)	38,88	14,23	16,13	63,78
Espérance de vie (ans)	58,01	4,74	47,14	68,92
Mortalité infantile (%)	62,15	17,78	27,5	108,3
Emissions de CO ₂ (t/hab.)	0,38	0,22	0,06	0,82
Dette publique (Million USD)	4105,8	6781,77	0,16	35456,12
IDE (% PIB)	2,51	2,48	-0,87	15,6
Retard de croissance (%)	30,96	9,1	15,6	52,1
Dépenses de santé (USD/hab.)	46,14	23,34	9,04	105,35
Scolarisation primaire (%)	81	17,38	25,57	121,99

Source : Auteur, à partir des données de la BM et UNICEF

Le graphique comparatif des indicateurs de santé met en évidence des variations importantes entre les pays d'Afrique de l'Ouest. Le Sénégal et le Ghana se distinguent par une espérance de vie plus élevée (autour de respectivement 64 et 62 ans) et une mortalité infantile assez élevée (en moyenne 44 et 43 décès pour 1000 naissances), traduisant des progrès sanitaires importantes. Par contre, le Niger, le Nigeria et le Mali ont des taux de mortalité infantile très élevés (supérieurs à 70 décès pour 1000 naissances) et une espérance de vie plus faible (autour de respectivement 57, 52 et 57 ans), ce qui révèle une vulnérabilité persistante. Le retard de croissance est important au Niger (plus de 45 %), tandis qu'il reste limité au Sénégal (environ 20 %), confirmant des écarts structurels dans la nutrition et l'accès aux soins.

Graphique 1 : Comparaison des indicateurs de santé en Afrique de l'Ouest (2000-2025)



Source : Auteur, à partir des données de la BM et UNICEF

Le test de corrélations révèle des tendances claires. L'espérance de vie est fortement et négativement corrélée à la mortalité infantile (-0,91) et au retard de croissance (-0,73). Le PIB par habitant et les dépenses de santé sont positivement liés à l'espérance de vie (respectivement 0,23 et 0,35), faisant référence à l'effet stabilisateur des investissements sociaux. Les variables climatiques, notamment les précipitations et les émissions de CO_2 , sont fortement corrélées à l'urbanisation (respectivement 0,82 et 0,87), ce qui reflète la pression démographique sur l'environnement. Enfin, l'emploi présente une corrélation négative avec l'espérance de vie (-0,64) et positive avec la mortalité infantile (0,54), suggérant qu'il joue un rôle dans la santé publique. Les résultats de ce test sont en phases à la proposition d'utiliser l'ACP pour la construction des indices synthétiques de vulnérabilité économique et climatique.

Tableau 2 : Corrélation entre les variables sanitaires, climatiques et économiques

Variables	Precip	Temp	Pibht	Inflat	Emploi	Popurb	Espervie	Txmortal	CO ₂	Dettpub	IDE	Retarcrois	Depsantht	EducPrim
Precip	1,000	-0,553	0,588	0,394	-0,095	0,825	0,008	-0,286	0,631	0,387	-0,193	-0,370	0,536	0,516
Temp		1,000	-0,400	-0,335	-0,158	-0,491	0,316	-0,182	-0,299	-0,332	0,093	-0,210	-0,285	-0,080
Pibht			1,000	0,251	-0,212	0,778	0,233	-0,483	0,686	0,700	0,037	-0,460	0,857	0,409
Inflat				1,000	0,103	0,442	-0,045	-0,125	0,319	0,458	0,040	-0,085	0,242	0,197
Emploi					1,000	-0,338	-0,637	0,540	-0,373	0,180	-0,145	0,708	-0,232	-0,138
Popurb						1,000	0,254	-0,503	0,870	0,533	-0,012	-0,529	0,687	0,600
Espervie							1,000	-0,911	0,335	-0,161	0,422	-0,731	0,355	0,447
Txmortal								1,000	-0,563	-0,114	-0,353	0,813	-0,599	-0,593
CO ₂									1,000	0,522	0,077	-0,534	0,631	0,657
Dettpub										1,000	-0,076	-0,053	0,587	0,197
IDE											1,000	-0,130	0,165	0,108
Retarcrois												1,000	-0,571	-0,467
Depsantht													1,000	0,386
EducPrim														1,000

Source : Auteur, à partir des données de la BM et UNICEF

A cet effet, l'ACP montre que l'indice économique est dominé par le PIB, la dette publique et les dépenses de santé, traduisant la dimension budgétaire et sociale de la vulnérabilité. L'indice climatique est fortement influencé par les précipitations, les émissions de CO_2 et l'urbanisation,

confirmant la pression environnementale et démographique. Ces indices agrégés expliquent une part importante de la variance (52 % et 72 %).

Tableau 3 : Indices de vulnérabilité économique et climatique (ACP)

Indice	Variables incluses	Valeur propre (Comp1)	Variance expliquée (%)	Charges principales (Comp1)
EconVulIndex	PIB/habitant, Inflation, Dette publique, IDE, Dépenses santé	2,62	52,4	PIB (0,566), Dette (0,529), Dépenses santé (0,544)
ClimStressIndex	Précipitations, Température, CO_2 , Urbanisation	2,88	71,9	Précipitations (0,530), CO_2 (0,502), Urbanisation (0,566)

Source : Auteur, à partir des données de la BM et UNICEF

Note : Seuls les premiers axes (valeurs propres > 1) ont été retenus selon le critère de Kaiser

2. Estimations et discussion des résultats

Le test de stationnarité montre que l'ensemble des variables retenues sont intégrées d'ordre un, ce qui légitime le recours aux tests de cointégration (Annexe A1). Les résultats révèlent alors des relations de long terme hétérogènes robustes pour la mortalité infantile, convergentes pour le retard de croissance, mais sensible pour l'espérance de vie (Annexe A2). Par la suite, le test de dépendance transversale met en évidence une forte corrélation entre pays pour la mortalité infantile et l'espérance de vie, traduisant l'existence de chocs communs, tandis que le retard de croissance se montre davantage spécifique aux contextes nationaux (Annexe A3). De plus, la présence d'autocorrélation élevée dans les séries de santé confirme que les variables sont fortement influencées par leurs valeurs passées, ce qui justifie le recours à aux dynamiques (Driscoll-Kraay, GMM dynamique) et multi-niveaux capables de corriger les biais liés à l'endogénéité et à l'interdépendance temporelle (Annexe A5). En outre, les tests de robustesse montrent l'absence de multicollinéarité excessive, mais révèlent une hétéroscédasticité généralisée qui impose l'usage d'estimateurs robustes (Annexe A4 et A6).

L'ensemble de ces diagnostics conforte la stratégie adoptée, fondée sur des modèles dynamiques et multi-niveaux, afin de garantir la fiabilité des estimations et de mieux capter les déterminants structurels de la santé dans les pays d'Afrique de l'Ouest. De plus, le test de Hausman conduit à privilégier les modèles en effets fixes (EF), les effets aléatoires (RE) étant biaisés (Annexe A7).

2.1. Résultats de l'estimation par effets fixes

Les résultats montrent que la vulnérabilité économique est un facteur déterminant de la santé publique. En d'autres termes, une hausse de la vulnérabilité économique diminue la mortalité infantile de 5,46 points et le retard de croissance de 1,73 points, tout en augmentant l'espérance de vie de 1,26 points. Ce résultat peut se traduire par une amélioration des conditions sanitaires lorsque l'économie est résiliente, car elle favorise les investissements sociaux et la stabilité des ménages, en phase avec les travaux de Grossman (1972) et Fayissa et Gutema (2005).

La vulnérabilité climatique, quant à elle, exerce un effet significatif négatif. Elle hausse la mortalité infantile de 10,76 points et le retard de croissance de 4,12 points, mais améliore paradoxalement l'espérance de vie de 2,03 points. Cela peut s'expliquer par des dynamiques d'adaptation différenciées. En effet, certaines populations peuvent bénéficier de politiques environnementales ou de résilience qui prolongent la durée de vie, tandis que les plus vulnérables subissent une dégradation des conditions sanitaires. Ces résultats sont similaires à ceux de Manyuchi et al. (2022) et Fagbemi et al. (2025) sur les effets du climat en Afrique subsaharienne.

Par ailleurs, la scolarisation primaire exerce un effet stabilisateur sur la santé publique. Chaque point supplémentaire de scolarisation réduit la mortalité infantile de 0,38 points et le retard de croissance de 0,12 points, tout en augmentant l'espérance de vie de 0,10 points. Ce résultat confirme l'importance du capital humain et de l'éducation de base dans l'amélioration des conditions de santé publique, comme le montrent Baye et al. (2023). En outre, l'emploi diminue légèrement l'espérance de vie de 0,06 points, mais augmente le retard de croissance de 0,26 points. Cela suggère que la qualité de l'emploi, souvent précaire ou informel en Afrique de l'Ouest, peut accentuer certaines vulnérabilités sanitaires, comme le soulignent Fall et Dramani (2023).

Tableau 4 : Déterminants structurels de la santé par FE

Variables	Mortalité infantile	Espérance de vie	Retard de croissance
Vulnérabilité économique	-5,460*** (0,624)	1,257*** (0,157)	-1,733*** (0,314)
Vulnérabilité climatique	-10,76*** (1,810)	2,034*** (0,454)	-4,122*** (0,910)
Scolarisation primaire	-0,385*** (0,0485)	0,0995*** (0,0122)	-0,121*** (0,0244)
Population active occupée	0,239 (0,199)	-0,0655 (0,0500)	0,260** (0,100)
Constant	77,02*** (14,32)	54,42*** (3,592)	23,03*** (7,203)
Observations	208	208	208
F-test	F(4,196)=144,04***	F(4,196)=118,65***	F(4,196)=71,19***
R-squared	0,746	0,708	0,592

Standard errors in parentheses *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

2.2. Estimations corrigées des erreurs standards (Driscoll-Kraay)

Les résultats robustes avec erreurs standards de Driscoll-Kraay confirment la cohérence des estimations initiales. La vulnérabilité économique conserve un effet négatif significatif sur la mortalité infantile et le retard de croissance, tout en améliorant l'espérance de vie. De même, la vulnérabilité climatique a un effet positif et significatif sur la mortalité infantile (+2,03 points). Les variables de contrôle confirment les tendances de la littérature avec la scolarisation primaire qui agit toujours comme un facteur stabilisateur (Baye et al., 2023), réduisant la mortalité et améliorant la longévité, tandis que l'emploi reste ambigu. Les F-tests élevés et les R² substantiels montrent que les modèles sont globalement significatifs et robustes, ce qui renforce la crédibilité des estimations.

Tableau 5 : Déterminants structurels de la santé par Driscoll-Kraay

Variables	Mortalité infantile	Espérance de vie	Retard de croissance
Vulnérabilité économique	-5,460*** (1,009)	1,257*** (0,237)	-1,733*** (0,236)
Vulnérabilité climatique	-10,76*** (2,814)	2,034** (0,762)	-4,122*** (1,036)
Scolarisation primaire	-0,385*** (0,0960)	0,0995*** (0,0192)	-0,121*** (0,0236)
Population active occupée	0,239 (0,180)	-0,0655 (0,0666)	0,260 (0,196)
Constant	77,02*** (15,65)	54,42*** (4,975)	23,03* (13,28)
Observations	208	208	208
F-test	F(4,25)=260,42***	F(4,25)=600,53***	F(4,25)=328,08***
R-squared	0,746	0,708	0,592

Standard errors in parentheses *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

2.3. Estimations robustes par GMM dynamique

Les estimations du GMM dynamique (Arellano-Bond) confirment la robustesse des résultats, avec des effets significatifs des vulnérabilités économiques et climatiques sur la santé publique et une absence d'autocorrélation résiduelle (tests AR (1) et AR (2)). D'ailleurs, l'effet de la vulnérabilité économique reste négatif et significatif sur la mortalité infantile (-6,18) et le retard de croissance (-1,63), mais son effet positif sur l'espérance de vie est plus faible (+0,79). Par contre, la vulnérabilité climatique devient positive sur la mortalité infantile (+5,30) et négative sur l'espérance de vie (-1,39). En d'autres termes, la vulnérabilité climatique augmente la mortalité infantile de 5,30 points et diminue l'espérance de vie de 1,39 point. Ce résultat peut se traduire par une exposition aux chocs environnementaux qui fragilisent la santé publique, tout en limitant la longévité des populations plus vulnérables. La scolarisation primaire renforce son rôle stabilisateur avec une baisse de la mortalité (-0,61) et hausse de l'espérance de vie (+0,23) par rapport aux estimations du modèle FE.

Tableau 6 : : Déterminants structurels de la santé par GMM dynamique (Arellano-Bond)

Variables	Mortalité infantile	Espérance de vie	Retard de croissance
Vulnérabilité économique	-6,182*** (1,783)	0,794** (0,355)	-1,630*** (0,622)
Vulnérabilité climatique	5,299** (2,426)	-1,386** (0,564)	0,987 (0,766)
Scolarisation primaire	-0,608*** (0,119)	0,225*** (0,0627)	-0,169** (0,0738)
Population active occupée	0,813*** (0,248)	-0,0938 (0,156)	0,565*** (0,0872)
Constant	53,45** (22,29)	46,24*** (15,18)	5,112 (7,919)
Observations	208	208	208
AR (1)	z = -1,21	Z = -0,88	Z = -0,52
AR (2)	z = -1,44	Z = -1,30	Z = -0,32
Wald Chi2(4)	878,79***	571,63***	1788,46***

Standard errors in parentheses *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

2.4. Estimations multi niveaux des effets socio-économiques et climatiques

Les estimations multi niveaux confirment la robustesse des résultats en tenant compte de la variance inter pays. Les paramètres aléatoires révèlent une forte hétérogénéité entre pays (var(cons) élevée), confirmant que les différences structurelles nationales influencent fortement les résultats sanitaires. Le test LR montre que le modèle multi niveaux est statistiquement supérieur au modèle linéaire, ce qui renforce la crédibilité des estimations.

La vulnérabilité économique diminue la mortalité infantile de 5,60 points et le retard de croissance de 1,82 point, tout en augmentant l'espérance de vie de 1,28 point. Ce résultat traduit l'effet protecteur d'une économie plus résiliente, en cohérence avec Grossman (1972) et Fayissa et Gutema (2005). La vulnérabilité climatique hausse la mortalité infantile de 9,34 points et le retard de croissance de 3,18 points, mais améliore paradoxalement l'espérance de vie de 1,72 point. En outre, chaque point supplémentaire de la scolarisation primaire diminue la mortalité infantile de 0,40 point et le retard de croissance de 0,13 point, tout en augmentant l'espérance de vie de 0,10 point. Ce résultat confirme l'importance du capital humain et l'éducation de base, comme le montrent Baye et al. (2023).

Tableau 7 : Déterminants structurels de la santé par multi niveaux

Variables	Mortalité infantile	Espérance de vie	Retard de croissance
Vulnérabilité économique	-5,604*** (0,613)	1,284*** (0,154)	-1,817*** (0,306)
Vulnérabilité climatique	-9,338*** (1,717)	1,724*** (0,433)	-3,183*** (0,823)
Scolarisation primaire	-0,399*** (0,0478)	0,102*** (0,0120)	-0,130*** (0,0239)
Population active occupée	0,274 (0,193)	-0,0771 (0,0485)	0,300*** (0,0942)
Constant	75,75*** (16,01)	54,97*** (4,096)	21,02*** (7,296)
Observations	208	208	208
var(_cons)	510,730 (278,931)	36,913 (19,804)	57,063 (33,513)
var (Residual)	47,031 (4,720)	2,955 (,296)	11,928 (1,201)
Wald Chi2(4)	579,37***	477,14***	287,08***
LR test vs. linear model	115,06***	151,39***	111,46***

Standard errors in parentheses *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Tableau 8 : Récapitulatif estimations FE et Driscoll-Kraay

Déterminants	Effets Fixes			Driscoll-Kraay		
	Mortalité infantile	Espérance de vie	Retard de croissance	Mortalité infantile	Espérance de vie	Retard de croissance
Vulnérabilité économique	-5,46***	+1,26***	-1,73***	-5,46***	+1,26***	-1,73***
Vulnérabilité climatique	-10,76***	+2,03***	-4,12***	-10,76***	+2,03**	-4,12***
Scolarisation primaire	-0,38***	0,10***	-0,12***	-0,38***	+0,10***	-0,12***
Emploi (population active)	+0,24	-0,06	+0,26**	+0,24	-0,07	+0,26

Source : Auteur, à partir des données de la BM et UNICEF

Tableau 9 : Récapitulatif estimations GMM Dynamique et Multi-niveaux

Déterminants	GMM dynamique			Multi niveaux		
	Mortalité infantile	Espérance de vie	Retard de croissance	Mortalité infantile	Espérance de vie	Retard de croissance
Vulnérabilité économique	-6,18***	+0,79**	-1,63***	-5,60***	+1,28***	-1,82***
Vulnérabilité climatique	+5,30**	-1,39**	+0,99	-9,34***	+1,72***	-3,18***
Scolarisation primaire	-0,61***	+0,23***	-0,17**	-0,40***	+0,12***	-0,13***
Emploi (population active)	+0,81***	-0,09	+0,57***	+0,30	-0,08	+0,3***

Source : Auteur, à partir des données de la BM et UNICEF

Afin de renforcer la robustesse des résultats, l'approche par le modèle SUR (Seemingly Unrelated Regression) est utilisée pour estimer conjointement les trois équations sanitaires et capter la covariance des erreurs (Annexe A9).

Conclusion

Ce travail de recherche a mis en évidence les effets différenciés des vulnérabilités économiques et climatiques sur les indicateurs de santé publique en Afrique de l'Ouest, à travers une approche combinant ACP et modèles économétriques robustes (Panel FE, Driscoll Kraay, GMM dynamique, multi niveaux). Les résultats montrent que la mortalité infantile, l'espérance de vie et le retard de croissance sont influencés par des dynamiques structurelles telles que le capital humain et les dimensions environnementales, mais aussi par des chocs économiques transitoires, liés aux variables macroéconomiques comme l'inflation, la dette publique, les dépenses de santé et les investissements directs étrangers (IDE). En effet, la vulnérabilité économique apparaît comme un facteur stabilisateur, tandis que le stress climatique accentue les fragilités sanitaires. L'intégration des indices de vulnérabilité a permis de mieux capter les effets entre vulnérabilité économique et stress climatique, renforçant la portée explicative du modèle.

A partir de ces constats, plusieurs implications sont soulevées. Il apparaît tout d'abord nécessaire de renforcer les politiques sectorielles de santé, en ciblant prioritairement les zones et les populations les plus vulnérables. Cela permet de réduire les inégalités sanitaires et de renforcer la résilience face aux chocs économiques et climatiques. Par ailleurs, une meilleure orientation des IDE vers les secteurs sociaux notamment les infrastructures sanitaires et éducatives s'impose. L'intégration des données climatiques et économiques dans la planification sanitaire constitue également une exigence pour anticiper les effets des chocs. Enfin, il convient de renforcer les investissements dans le capital humain et les infrastructures sanitaires, tout en instaurant des mécanismes de réponse rapide aux chocs macroéconomiques.

Dans une perspective de recherche, l'approfondissement des effets non linéaires et des seuils critiques entre variables économiques, climatiques et sanitaires permettrait de mieux comprendre les ruptures dans les dynamiques observées. En outre, l'intégration de données désagrégées offrirait une lecture des disparités intra-nationales, notamment entre zones urbaines et rurales, ou selon le genre et le niveau de revenu. Ce prolongement pourrait ouvrir la voie à des politiques publiques plus ciblées et inclusives.

Références bibliographiques

- Banque Mondiale (BM). (2024). Rapport national sur le climat et le développement - Sénégal. Groupe de la Banque mondiale, 1818 H Street NW, Washington, DC 20433.
- Bathily, B., et Gueye, A. B. (2023). Dépenses publiques de santé et croissance économique en Afrique Subsaharienne : une analyse de long terme par la méthode de panel VAR. *African Scientific Journal*, 3 (18), 215–237. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8063838>
- Baye, F. M., Epo, B. N. and Ndenzako, J. (2023). Impacts des investissements réalisés dans le secteur de la santé sur l'emploi et la croissance économique : Une analyse basée sur le modèle autorégressif à retards échelonnés en panel (ARDL) appliquée à l'Union économique et monétaire ouest-africaine (UEMOA). Genève : Bureau international du Travail. https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/@ed_dialogue/@sector/documents/publication/wcms_892131.pdf
- Béné, C., Headey, D., Haddad, L., and von Grebmer, K. (2016). Resilience, poverty and development. *Development Policy Review*, 34 (3), 393–409. <https://doi.org/10.1111/dpr.12128>
- Berkman, N. D., Sheridan, S. L., Donahue, K. E., Halpern, D. J., and Crotty, K. (2011). Low health literacy and health outcomes: An updated systematic review. *Annals of Internal Medicine*, 155 (2), 97–107.
- Bomboma, M., Sanni, M. A., Yentaguime, F. and Dassa, K. S. (2023). Santé mentale et adaptation aux chocs climatiques en Afrique subsaharienne : revue de la littérature. *Revue Africaine des Sciences Sociales et de la Santé Publique*, 5(2). <https://www.revue-rasp.org/index.php/rasp/article/view/460>
- Cissé, C. (2025). Climate change and public health in Senegal. In A. M. Touré & J. K. Mensah (Eds.), *Urbanization, Climate Change, and Health* (pp. 87–104).
- Da Silva, N. (2017). L'impact des conditions macroéconomiques sur l'état de santé. *La Revue de l'IRES*, (91-92), 49–78. <https://ires.fr/wp-content/uploads/2023/01/R91-92-3.pdf>
- Diop, M. S., Diouf, I., Gaye, A. T., Caminade, C., Morse, A. P. and Rodriguez-Fonseca, B. (2014). Climate change and health in Senegal: A comprehensive assessment. *Environmental Research Letters*, 9 (7), 1–8.
- Fagbemi, F., Olufolahan, T. J., Akinyele, O. D. and Olatunde, O. S. (2025). Climate-sensitive health outcomes in West Africa: Additional evidence that climate action cannot be delayed. *Sustainable Geosciences: People, Planet and Prosperity*.
- Fall, D. et Dramani, L. (2023). « Impact du changement climatique sur la santé de la population au Sénégal », *Revue Française d'Economie et de Gestion* « Volume 4 : Numéro 7 » pp : 446 – 471.

- Fayissa, B. and Gutama, M. (2005). "The demand for health care in Africa: The case of Senegal." *African Journal of Health Sciences*, 12 (3), 95-106.
- Grossman, M. (1972). "On the concept of health capital and the demand for health". *Journal of Political Economy*, 80 (2): pp. 223-255.
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). (2022). *Changements climatiques 2022 : Impacts, adaptation et vulnérabilité. Contribution du Groupe de travail II au sixième rapport d'évaluation du GIEC*. Cambridge University Press.
- Gwatkin, D. R., Wagstaff, A. and Yazbeck, A. S. (Eds.). (2007). *Reaching the poor with health, nutrition, and population services: What works, what doesn't, and why*. World Bank Publications.
- Jourdain, F. and Paty, M. C. (2019). Impact des changements climatiques sur les vecteurs et les maladies à transmission vectorielle en France. *Les Tribunes de la santé*, 3, 41–51. Disponible sur : <https://shs.cairn.info/revue-les-tribunes-de-la-sante-2019-3-page-41?lang=fr>
- Kutzin, J. (2013). Health financing for universal coverage and health system performance: concepts and implications for policy. *Bulletin of the World Health Organization*, 91 (8), 602–611. <https://doi.org/10.2471/BLT.12.113985>
- Manyuchi, A. E., Chersich, M. F., Vogel, C., Wright, C. Y., Matsika, R. and Erasmus, B. (2022). Extreme heat events, high ambient temperatures and human morbidity and mortality in Africa: A systematic review. *South African Journal of Science*, 118 (11/12), 1–8. <https://doi.org/10.17159/sajs.2022/12047>
- Mehra, D., Rael, T. and Bloem, M. W. (2024). A review of the intersection between climate change, agriculture, health, and nutrition in Africa: costs and programmatic options. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, Article 1389730. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1389730>
- Moore, S. and Colwell, R. (2023). Changement climatique et résurgence des maladies d'origine hydrique : Focus sur l'Afrique subsaharienne. *Revue Africaine des Sciences Sociales et de la Santé Publique*, 5(1).
- OCDE. (2025). Perspectives mondiales des sécheresses : Évolution, impacts et politiques d'adaptation. Éditions OCDE. https://www.oecd.org/fr/publications/perspectives-mondiales-des-secheresses_e69575eb-fr.html
- Organisation météorologique mondiale (OMM). (2023). Rapport sur l'état du climat mondial 2022. ONU Climat. Disponible sur : [UNFCCC–Sécheresses et inondations](https://unfccc.org/fr/publications/unfccc-secheresses-et-inondations)
- Psara, M. H., Shin, Y. and Smith, R. J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics*, 16 (3), 289–326.

- Samuels, L., Nakstad, B., Roos, N., Bonell, A., Chersich, M., Havenith, G., Luchters, S., Day, L.-T., Hirst, J. E., Singh, T., Elliott-Sale, K., Hetem, R., Part, C., Sawry, S., Le Roux, J. and Kovats, S. (2022). Physiological mechanisms of the impact of heat during pregnancy and the clinical implications: Review of the evidence from an expert group meeting. *International Journal of Biometeorology*, 66 (8), 1505–1513. <https://doi.org/10.1007/s00484-022-02301-6>
- Smith, K. R., Woodward, A., Campbell-Lendrum, D., Chadee, D., Honda, Y., Liu, Q., Olwoch, J. M., Revich, B. and Sauerborn, R. (2014). Human health: impacts, adaptation, and co-benefits. In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 709–754). Cambridge University Press. [PDF disponible ici](#)
- Tschakert, P., Tutu, R. and Alcaro, A. (2013). Climate change and development: Listening to the voices of the poor. *Climate and Development*, 5 (4), 266–280.
- World Bank Group. (2023). *Climate change and health in Sub-Saharan Africa. Investing in Climate Change and Health Series*. Retrieved from World Bank document repository.

Annexe

Annexe A1 : Test de stationnarité (Pesaran, CADF)

Variable	Niveau (p-val)	Différence (p-val)	Conclusion
EconVulIndex	0,4	0	I(1) non stationnaire, devient stationnaire en différence
ClimStressIndex	0,086	0	I(1) non stationnaire, devient stationnaire en différence
Txmortinf	0,81	0,046	I(1) non stationnaire, stationnaire en différence
Espervie	0,834	0,086	I(1) non stationnaire, stationnaire en différence
Retarcrois	0,828	0	I(1) non stationnaire, stationnaire en différence
Depsantht	0,919	0	I(1) non stationnaire, stationnaire en différence
EducPrim	0,274	0	I(1) non stationnaire, stationnaire en différence
Emploi	0,822	0	I(1) non stationnaire, stationnaire en différence

Source : Auteur, à partir des données de la BM et UNICEF

Annexe A2 : Tests de cointégration (Pedroni et Westerlund)

Indicateur sanitaire	Pedroni (Panel t / adf)	PDOLS (β , t-stat)	Westerlund (Robust p-val)	Interprétation
Mortalité infantile (Txmortinf)	t = 1,12 / adf = 2,00 → non significatif	EconVulIndex = -4,69 (t = -11,96), ClimStressIndex = 2,07 (t = 2,64)	Pt = 0,010, Ga = 0,000 → significatif	Westerlund valide la cointégration, Pedroni non ; PDOLS montre effets contrastés
Espérance de vie (Espervie)	t = 1,15 / adf = 2,07 → non significatif	EconVulIndex = 0,76 (t = 7,76), ClimStressIndex = -1,05 (t = -4,59)	Ga = 0,000 → significatif, Pt ≈ 0,09 → limite	Relation plausible mais fragile, dépend des spécifications
Retard de croissance (Retarcrois)	t = -1,88 / adf = -2,63 → significatif	ClimStressIndex = 8,25 (t = 4,59), EducPrim = -0,186 (t = -13,96)	Gt = 0,010, Ga = 0,000 → significatif	Les deux tests confirment la cointégration robuste

Annexe A3 : Tests de dépendance transversale

Indicateur sanitaire	Test Pesaran CD (Pr)	Test Frees	Test Friedman (Pr)	Conclusion
Mortalité infantile (Txmortinf)	3,530 (p = 0,0004)	1,044 > seuil critique	47,974 (p = 0,0000)	Forte dépendance transversale confirmée
Espérance de vie (Espervie)	3,526 (p = 0,0004)	2,213 > seuil critique	65,274 (p = 0,0000)	Forte dépendance transversale confirmée
Retard de croissance (Retarcrois)	-0,801 (p = 1,5766)	0,765 < seuil critique	23,068 (p = 0,0017)	Dépendance transversale faible ou non significative

Annexe A4 : Tests de multicollinéarité (VIF)

Variable	VIF (Txmortinf)	VIF (Espervie)	VIF (Retarcrois)	Interprétation
ClimStressIndex	2,89	2,89	2,89	Corrélation modérée
EconVulIndex	2,20	2,20	2,20	Corrélation modérée
EducPrim	1,50	1,50	1,50	Faible corrélation
Emploi	1,07	1,07	1,07	Absence de corrélation
Moyenne VIF	1,91	1,91	1,91	En-dessous du seuil critique (10)

Annexe A5 : Tests d'autocorrélation

Indicateur sanitaire	rho_ar	Corrélation résidus-lag	Interprétation
Mortalité infantile (Txmortinf)	0,95	0,983	Forte autocorrélation AR(1) confirmée
Espérance de vie (Espervie)	0,95	0,985	Forte autocorrélation AR(1) confirmée
Retard de croissance (Retarcrois)	0,87	0,967	Autocorrélation AR(1) élevée mais légèrement plus faible

Annexe A6 : Tests d'hétéroscédasticité

Indicateur sanitaire	Chi2 (df)	Prob > chi2	Conclusion
Mortalité infantile (Txmortinf)	71,03 (8)	0	Hétéroscédasticité significative
Espérance de vie (Espervie)	140,05 (8)	0	Hétéroscédasticité significative
Retard de croissance (Retarcrois)	1620,48 (8)	0	Hétéroscédasticité très forte

Annexe A7 : Résultats FE / RE et test de Hausman

Indicateur sanitaire	FE Coefficients significatifs	RE Coefficients significatifs	Test Hausman (χ^2 , p-val)	Conclusion
Mortalité infantile (Txmortinf)	EconVulIndex = -5,46, ClimStressIndex = -10,76, EducPrim = -0,38	EconVulIndex = -6,04, ClimStressIndex = -4,62, EducPrim = -0,44, Emploi = 0,42	Chi2 = 49,57, p = 0,0000	FE préféré (RE biaisé)
Espérance de vie (Espervie)	EconVulIndex = 1,26, ClimStressIndex = 2,03, EducPrim = 0,10	EconVulIndex = 1,36, EducPrim = 0,11, Emploi = -0,12	Chi2 = 55,29, p = 0,0000	FE préféré (RE biaisé)
Retard de croissance (Retarcrois)	EconVulIndex = -1,73, ClimStressIndex = -4,12, EducPrim = -0,12, Emploi = 0,26	EconVulIndex = -1,88, ClimStressIndex = -2,44, EducPrim = -0,14, Emploi = 0,34	Chi2 = 16,09, p = 0,0029	FE préféré (RE biaisé)

Annexe A8 : Test de Sargen et Hansen

Modèle	Sargan Chi2 (p-valeur)	Hansen Chi2 (p-valeur)
Mortalité infantile	271,79 (0,000)	5,30 (0,151)
Espérance de vie	219,99 (0,000)	2,58 (0,631)
Retard de croissance	264,11 (0,000)	4,15 (0,245)

Note : Les tests de Hansen valident globalement la pertinence des instruments, malgré le rejet systématique du Sargan, ce qui confirme la robustesse des estimations GMM

Annexe A9 : Déterminants structurels de la santé par modèle SUR (Seemingly Unrelated Regression)

Variables	Mortalité infantile	Espérance de vie	Retard de croissance
Vulnérabilité économique	0,919*** (0,176)	-5,415*** (0,642)	-2,008*** (0,316)
Vulnérabilité climatique	-1,642*** (0,193)	4,423*** (0,703)	1,147*** (0,345)
Scolarisation primaire	0,156*** (0,0135)	-0,591*** (0,0494)	-0,189*** (0,0243)
Population active occupée	-0,324*** (0,0205)	0,946*** (0,0749)	0,638*** (0,0368)
Constant	67,46*** (1,797)	45,37*** (6,551)	2,743 (3,220)
Observations	208	208	208
RMSE	2,765	10,080	4,955
R-squared	0,658	0,677	0,702
Wald Chi2(4)	399,23***	435,99***	489,82***

Standard errors in parentheses *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Note : cette méthode permet d'estimer conjointement les équations de mortalité infantile, espérance de vie et retard de croissance, en tenant compte de la corrélation des erreurs. Les résultats mettent en évidence l'interdépendance des dynamiques sanitaires et valident la pertinence d'une estimation simultanée.

Test d'égalité des coefficients entre équations (SUR)

$$H_0: \beta_{eq1} = \beta_{eq2} = \beta_{eq3}$$

Chi 2 (8) = 689,19

Prob > Chi² = 0,000

L'hypothèse nulle d'égalité des coefficients est rejetée, ce qui confirme que les déterminants économiques et climatiques n'affectent pas de manière identique la mortalité infantile, l'espérance de vie et le retard de croissance. Cette hétérogénéité justifie l'estimation conjointe par équations simultanées et renforce la pertinence du modèle SUR.