

RÉPUBLIQUE DU SÉNÉGAL

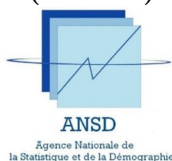


Un Peuple - Un But - Une Foi

MINISTÈRE DE L'ÉCONOMIE, DU PLAN ET DE LA COOPÉRATION

Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie Direction Générale de la Planification
et des Politiques Économiques

(ANSD)



(DGPPE)



École nationale de la Statistique et de l'Analyse Économique Pierre Ndiaye

(ENSAE)



Mémoire de fin d'étude

THÈME : Impacts macroéconomiques des inondations au Sénégal et politiques de résilience

Rédigé par :

Panongmanégré TIENDREBEOGO

Élève ingénieur statisticien économiste

(ISE3)

Encadreur :

M. Souleymane CISSE

Chef de division de la Direction de la

planification général (DPG)

14-Juillet-2025

Décharge

LES OPINIONS ÉMISES DANS CE DOCUMENT SONT PROPRES À SON AUTEUR ET NE SAURAIENT EN AUCUN CAS ENGAGER LA RESPONSABILITÉ DE L'AGENCE NATIONALE DE LA STATISTIQUE ET DE LA DÉMOGRAPHIE (ANSD), DE L'ÉCOLE NATIONALE DE LA STATISTIQUE ET DE L'ANALYSE ÉCONOMIQUE PIERRE NDIAYE (ENSAE) DE DAKAR OU DE LA DIRECTION GÉNÉRALE DE LA PLANIFICATION ET DES POLITIQUES ÉCONOMIQUES (DGPPE).

Dédicace

Je dédie ce travail à mes parents et à mes proches, dont le soutien multiforme a grandement contribué à la réussite de ce parcours.

Remerciement

À l'issue de ce travail, je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude au directeur de la DGPPE qui m'a offert l'opportunité d'effectuer mon stage de trois mois au sein de cette structure.

Je remercie particulièrement ... le directeur de la planification générale, mes encadreur, M. Souleymane CISSE, chef de la direction de la planification générale et à M. DIALLO, chef de service de la dite direction, avec son collaborateur M. SALL ainsi qu'à M. Abdulaye SOW de la DPE pour leur accompagnement constant, leurs conseils avisés et leur disponibilité tout au long de la réalisation de ce travail. Leur encadrement rigoureux a été déterminant dans l'aboutissement de ce mémoire.

Je tiens également à remercier chaleureusement l'administration de l'ENSAE, notamment le Directeur, M. Idrissa DIAGNE, ainsi que les responsables de la formation, M. Mamadou BALDE responsable des études et des stages, M. Barry, M. Aw, M. FOFANA, M. BASSE pour le suivi académique et la qualité de l'enseignement dispensé. Je salue également le personnel administratif pour leur appui logistique durant l'ensemble du parcours.

Enfin, mes remerciements vont à mes camarades de promotion pour leur collaboration, leur esprit d'équipe et leur soutien tout au long des nombreux travaux réalisés ensemble.

Avant-propos

Au terme de notre formation d'Ingénieur Statisticien Économiste (ISE) à l'École nationale de la Statistique et de l'Analyse économique Pierre Ndiaye (ENSAE), nous avons l'honneur de présenter ce mémoire, qui découle de l'application des méthodes statistiques et économiques avancées aux défis que connaît l'environnement de nos jours.

Ce travail de recherche s'inscrit dans le cadre de notre dernière année de formation à l'ENSAE, établissement d'excellence rattaché à l'Agence nationale de la Statistique et de la Démographie (ANSD) et membre distingué du Réseau des Écoles de Statistiques Africaines (RESA). Notre parcours académique, riche en enseignements théoriques et pratiques, trouve son aboutissement dans cette étude qui vise à apporter une visibilité sur les conséquences des catastrophes naturelles notamment les inondations au Sénégal qui pourraient soutenir les décideurs.

L'évaluation des impacts socio-économiques des inondations au Sénégal constitue un enjeu crucial, aux regards des conséquences récurrentes sur les populations touchées. Notre étude analyse comment les approches de résilience peuvent renforcer les capacités d'adaptation des communautés, contribuant ainsi à l'élaboration de politiques publiques plus efficaces et à la réduction durable de la vulnérabilité.

Cette étude n'aurait pu être menée à bien sans le soutien précieux de nos encadrants académiques et professionnels. Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers notre tuteur, Monsieur Souleymane CISSE, pour ses conseils avisés et sa disponibilité tout au long de ce parcours. Nos remerciements s'adressent également à l'ensemble du corps professoral de l'ENSAE qui, par la qualité de leur enseignement, nous a fourni les outils nécessaires pour mener à bien cette recherche.

Nous espérons que ce travail contribuera modestement à l'avancement de la recherche de solutions adéquates en réponse aux inondations au Sénégal, tout en témoignant de l'excellence de la formation dispensée à l'ENSAE.

Liste des sigles et abréviations

PTF : Productivité totale des facteurs

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

EM-DAT : Emergency Events Database.

GAR : Global Assessment Report

UNDRR : United Nations Office for Disaster Risk Reduction

IAM : Integrated Assessment Model

DICE : Dynamic Integrated model of Climate and the Economy

RICE : Regional Integrated model of Climate and the Economy

FUND : Framework for Uncertainty, Negotiation and Distribution

PAGE : Policy Analysis of the Greenhouse Effect

DSGE : Dynamic Stochastic General Equilibrium

FMI : Fonds Monétaire International

DIGNAD : Debt-Investment-Growth and Natural Disasters.

DIG : Debt, Investment, and Growth

DPEE : Direction de la Prévision et des Études Économiques

SEF : Service des Études et de la Formation

CNUCED : Conférence des Nations Unies sur le Commerce et le Développement

GCF : Green Climate Fund

Liste des tableaux et graphiques

Liste des tableaux

1	Paramètres d'infrastructures publiques	46
2	Paramètres propres à l'économie	48
3	Paramètres d'emprunt et du taux d'intérêt	70
4	Paramètres d'instrument fiscaux	70

Liste des graphiques

1	Taxe à la consommation	52
2	Taxe sur le revenu	52
3	Déficit du compte courant	53
4	Dépenses publiques courantes	53
5	Croissance de l'investissement privé	54
6	PIB réel	54
7	Salaires réels	54

8	Croissance de la consommation privé	54
9	Investissement en infrastructure publique	56
10	PTF dans le secteur échangeable	56
11	Effets sur la taxe sur la consommation	57
12	Effets sur la taxe sur le revenu	57
13	Effets sur le PIB réel	57
14	Effets sur les salaires réels	57
15	Effets sur la taxe sur la consommation	71
16	Effets sur la taxe sur le revenu	71
17	Effets sur le PIB réel	71
18	Effets sur les salaires réels	71
19	Investissement en infrastructure publique	72
20	PTF dans le secteur échangeable	72
21	73
22	73
23	Effets sur la taxe sur la consommation	74
24	Effets sur la taxe sur le revenu	74
25	Tableau de calibration – suite	74
26	Tableau de calibration initiale	75

SOMMAIRE

Décharge	1
Dédicace	2
Remerciement	3
Avant-propos	4
Liste des sigles et abréviations	5
Liste des tableaux et graphiques	6
SOMMAIRE	8
Résumé	10
Abstract	11
Introduction	12
1 Chapitre I : Historique des inondations au Sénégal, cadre conceptuel et revue de la littérature	15
.	15
I.1 Historique des inondations au Sénégal	15
I.2 Cadre conceptuel	17
I.3 Revue de littérature (théorique et empirique)	20
2 CHAPITRE II : Méthodologie, hypothèses et Calibrage	28
.	28
I.1 Méthodologie	28
I.2 Hypothèses et scénarios	43
I.2.1 Scénario d'investissement	44
I.3 Calibrage	46
I.3.1 Calibrage : autres paramètres macroéconomiques	48

I.4	Calibrage sur les emprunts et d'autres sources de revenus au financement de la catastrophe	50
3	CHAPITRE III : Simulations et analyse des résultats	51
	51
I.1	Impact comparé du mode de financement (impôt et emprunt)	51
I.2	Impact macro d'une reconstruction par fiscalité	53
I.3	Impact comparé des investissements en infrastructure standard et adaptation	54
	Discussion	58
	Conclusion	60
	Recommandations	62
	Bibliographie	64
	ANNEXE	70

Résumé

Ce mémoire analyse les impacts socioéconomiques des inondations au Sénégal par le biais d'une simulation, en s'inspirant de l'épisode majeur survenu en octobre 2024 avec la crue du fleuve Sénégal. Dans un contexte de changement climatique marqué par une augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements extrêmes, les inondations constituent un risque croissant, affectant les infrastructures publiques, les ménages et les entreprises. À travers une modélisation dynamique stochastique d'équilibre général (DSGE), ce travail vise à identifier les canaux de transmission des chocs liés aux inondations et à évaluer les effets de différentes stratégies de reconstruction sur les variables macroéconomiques clés.

Les résultats montrent que le financement par l'impôt, bien qu'il limite le déficit public, pourrait engendrer un effet d'éviction fiscale, entraînant une baisse de l'investissement privé, et donc des salaires réels et de la consommation à court terme. À l'inverse, un recours à l'emprunt permet une reprise plus rapide de l'activité économique mais peut alourdir les charges financières de l'État. À moyen terme, la reconstruction stimule toutefois l'économie, avec une croissance du PIB réel, de l'investissement privé, des salaires et de la consommation privée. L'étude met également en évidence l'importance du choix des infrastructures face aux catastrophes. Les infrastructures d'adaptation, bien que plus coûteuses, offrent une meilleure résilience et limitent les pertes économiques. Elles réduisent les impacts négatifs sur la productivité, le PIB réel et les revenus. De plus, leur utilisation permettrait de baisser la taxe à la consommation de 0,12% et la taxe sur le revenu de 0,14% par rapport aux infrastructures standards..

Ce mémoire propose également une stratégie de financement mixte (fiscalité modérée et emprunt), la mise en place de mécanismes d'accompagnement ciblés pour les populations vulnérables, l'accélération des investissements en infrastructures résilientes, ainsi qu'une approche territoriale de la résilience intégrant les spécificités locales. Il préconise une politique de résilience proactive fondée sur la planification, l'investissement stratégique et l'équité sociale pour renforcer la capacité d'adaptation du Sénégal face aux inondations futures.

Abstract

This thesis analyzes the socio-economic impacts of flooding in Senegal through a simulation, drawing inspiration from the major flood event that occurred in October 2024 with the overflow of the Senegal River. In a context of climate change marked by increasing frequency and intensity of extreme events, floods represent a growing risk, affecting public infrastructure, households, and businesses. Using a Dynamic Stochastic General Equilibrium (DSGE) model, this work aims to identify the transmission channels of flood-related shocks and evaluate the effects of various reconstruction strategies on key macroeconomic variables.

The results show that tax-based financing, while limiting the public deficit, could trigger a crowding-out effect, leading to a decline in private investment and, consequently, in real wages and short-term consumption. Conversely, relying on borrowing enables a faster economic recovery but may increase the government's financial burden. In the medium term, however, reconstruction stimulates the economy, with growth in real GDP, private investment, wages, and household consumption. The study also highlights the importance of infrastructure choice in the face of disasters. Adaptation infrastructures, although more expensive, offer greater resilience and help limit economic losses. They reduce the negative impacts on productivity, real GDP, and income. Moreover, their use could lower the consumption tax by 0.12% and the income tax by 0.14% compared to standard infrastructures.

This thesis also proposes a mixed financing strategy (moderate taxation and borrowing), the implementation of targeted support mechanisms for vulnerable populations, the acceleration of investments in resilient infrastructure, as well as a territorial resilience approach that incorporates local specificities. It advocates for a proactive resilience policy based on planning, strategic investment, and social equity to strengthen Senegal's adaptive capacity to future floods.

Introduction

Les inondations pluviales surviennent lorsque le ruissellement en surface dépasse la capacité d'infiltration des sols et les systèmes de drainage, notamment lors de pluies intenses (Wheater, 2006). Les recherches ont établi que le réchauffement climatique d'origine anthropique est une cause majeure des catastrophes naturelles, notamment des inondations. Ces changements climatiques influencent fortement la fréquence et l'intensité des aléas naturels. De nombreuses études ont montré que les inondations figurent aujourd'hui parmi les principaux risques climatiques à l'échelle mondiale.

Les inondations constituent près de la moitié des catastrophes météorologiques survenues au cours des vingt dernières années, touchant environ 2,3 milliards de personnes (Schwarz et al. (2017),). Leur impact dépasse celui des autres aléas naturels, tant sur le plan humain qu'économique, entraînant ainsi des pertes considérables et récurrentes. Les projections indiquent qu'à l'horizon 2030, le nombre de personnes exposées ainsi que la part du PIB menacée par les inondations pourraient doubler. Ce risque croissant est largement attribué aux effets du changement climatique. Cela souligne l'urgence de renforcer les stratégies d'adaptation et de résilience.

Dans l'un de ses rapports, le GIEC souligne que l'augmentation prévue de la fréquence et de l'intensité des précipitations extrêmes, aux niveaux actuels de réchauffement, entraînera une plus grande exposition aux inondations pluviales et fluviales. Ce lien entre climat et catastrophes s'explique par le fait que les changements climatiques intensifient les aléas naturels tels que les inondations, les sécheresses, les cyclones ou encore l'élévation du niveau de la mer. Ces phénomènes interagissent avec la vulnérabilité socio-économique des populations, aggravant ainsi leurs effets. De même, Gemenne et al. (2017) observent en Afrique de l'Ouest une « augmentation significative de la fréquence et de l'intensité » des inondations attribuable au réchauffement, une tendance confirmée par des données globales : entre 1981 et 2010, les épisodes de précipitations extrêmes se sont accrus, augmentant les débits fluviaux et provoquant davantage de crues sur les grands bassins sahéliens. Par ailleurs, l'air plus chaud pouvant contenir plus de vapeur d'eau, chaque élévation de température accroît le risque de pluies diluviennes.

Cela constitue dans ce contexte une menace aux populations concernées et de leurs biens. Alors que l'infrastructure représente un pilier essentiel du fonctionnement et du développement d'une société, l'interruption des services d'infrastructure sous l'effet des inondations entraîne non seulement d'énormes pertes économiques, mais plus important encore, elle peut avoir des effets négatifs sur la société.

Outre le changement climatique, la croissance démographique mondiale, l'urbanisation rapide dans les zones exposées aux inondations, ainsi que le manque de politiques durables de gestion des crues, accentueront les impacts socioéconomiques des inondations sur les infrastructures (Jonkman, 2005 ; Forero-Ortiz et Martínez-Gomariz, 2020). Dans le même sens, l'expansion continue des villes, couplée à une population croissante, accroît la dépendance aux services d'infrastructure essentiels. Cette dépendance rend les sociétés plus vulnérables face aux événements extrêmes. Ainsi, toute perturbation soudaine comme une inondation risque d'avoir des conséquences sociétales de plus en plus graves. Les infrastructures, déjà sous pression, deviennent alors des points critiques dont la défaillance peut entraîner des chaînes d'impacts touchant l'économie, la mobilité et les services publics. Une situation qui appelle donc à une meilleure anticipation et à des politiques de résilience adaptées aux dynamiques urbaines.

À l'instar du Sénégal, déjà exposé aux effets des changements climatiques en raison de sa situation géographique, les variations de températures et les précipitations irrégulières menacent les infrastructures et les modes de vie des populations. La Banque mondiale estime qu'en absence de nouvelles mesures d'adaptation, les pertes annuelles du PIB sénégalais dues aux catastrophes climatiques pourraient atteindre 9,4% d'ici 2050. De plus, l'impact socio-économique du changement climatique pourrait accroître le taux de pauvreté de 6,8 points de pourcentage à la même échéance, freinant les efforts de réduction de la pauvreté du pays.

En octobre 2024, l'Est du Sénégal, a connu des inondations sans précédent dues à des pluies intenses occasionnant la crue du fleuve Sénégal. Plus de 44 sites dans la région de Matam et 51 villages à Saint-Louis ont été fortement touchés par cette crue dévastatrice, mettant en lumière la nécessité d'infrastructures adaptées et de plans de gestion des risques pour protéger les populations et les moyens de subsistance. Le Rapport national 2024 sur le climat et le développement au Sénégal du Groupe de la Banque mondiale révèle que face à une inaction prolongée, plus de 2 millions de Sénégalais risquent de basculer dans la pauvreté d'ici à 2050. Cette situation aurait des conséquences catastrophiques pour la santé, l'éducation et la qualité de vie.

Il apparaît clairement que chaque année, des inondations plus ou moins généralisées continuent de se manifester. Dans le même temps, on observe une accentuation périodique des événements climatiques extrêmes comme la hausse de température. De plus, la pression démographique et l'expansion urbaine non planifiée (zones de dépression aménagées) amplifient la gravité des sinistres. La combinaison de pluies diluviennes, de sols saturés et de canaux d'évacuation insuffisants crée souvent un cercle vicieux : plus les infrastructures sont débordées, plus l'ampleur des dégâts augmente.

Problématique

Le Sénégal est confronté depuis plusieurs décennies à une recrudescence des inondations, notamment dans les zones urbaines densément peuplées comme Dakar, Pikine

ou Guédiawaye. En 2024, de fortes précipitations ont une nouvelle fois provoqué des dégâts considérables, affectant les populations, perturbant les activités économiques et mettant à rude épreuve les infrastructures. Ces épisodes, devenus quasi annuels, révèlent une vulnérabilité structurelle persistante du pays face aux aléas climatiques, accentuée par l'urbanisation galopante et le manque d'infrastructures adaptées. Les conséquences économiques et sociales des inondations sont majeures : à chaque épisode, le gouvernement mobilise d'importantes ressources, ce qui pèse sur le budget national. Le secteur privé enregistre également des pertes significatives.

La situation est d'autant plus préoccupante que de telles catastrophes pourraient alourdir encore davantage le budget de l'État si leur ampleur venait à s'intensifier. Face à cette menace, il est essentiel de mettre en place des stratégies appropriées afin d'anticiper les conséquences d'un tel aléa. Dès lors, une question centrale se pose : Quels sont les impacts socioéconomiques des inondations au Sénégal ? Quelles sont les politiques à adoptés permettant de renforcer durablement la capacité d'adaptation à ces inondations ?

Objectif général

- Évaluer l'impact socioéconomique des inondations au Sénégal.
- **Objectifs spécifiques :**
 - **Objectif spécifique (1) :** Analyser les mécanismes par lesquels les chocs liés aux inondations se propagent au sein de l'économie.
 - **Objectif spécifique (2) :** Déterminer les stratégies de financement et d'investissement les mieux adaptées à l'économie.
 - **Objectif spécifique (3) :** formuler des recommandations de politique économique.

Hypothèses

- Le financement public peut avoir un effet d'éviction fiscale sur le secteur privé.

Pour mener à bien cette recherche, le document sera structuré en trois chapitres. Le chapitre 1 retrace brièvement l'historique des inondations au Sénégal, expose le cadre conceptuel pour clarifier les notions fondamentales de l'étude, puis présente la revue de la littérature, tant théorique qu'empirique. Le chapitre 2 est consacré à la méthodologie de l'étude : il détaillera le modèle utilisé, les hypothèses formulées ainsi que les données mobilisées. Le chapitre 3 présentera les résultats obtenus, accompagnés d'une analyse de leurs implications économiques. Enfin, une conclusion viendra clore le travail, assortie de quelques recommandations.

Chapitre I : Historique des inondations au Sénégal, cadre conceptuel et revue de la littérature

I.1 Historique des inondations au Sénégal

1. Historiques des inondations et dommages infligés

Les inondations font partie des catastrophes naturelles les plus récurrentes au Sénégal, sous l'effet des précipitations extrêmes. Les dernières décennies ont vu se succéder de nombreux épisodes graves (2005, 2009, 2012, 2016, 2019, 2020, 2022) frappant aussi bien Dakar et sa banlieue que plusieurs régions intérieures (Saint-Louis, Kaolack, Kédougou, etc.). Cette fréquence élevée est aggravée par le changement climatique et l'urbanisation rapide.

Les études soulignent que, sur la période 2002–2022, l'Afrique a subi 793 inondations, dont le Sénégal en a connu au moins 13 majeures, affectant potentiellement des dizaines de millions de personnes. Les projections internationales anticipent une intensification des pluies extrêmes en zone sahélienne, ce qui pourrait augmenter le risque d'inondations dans les années à venir.

Quelques cas extrêmes ont été enregistrés ces dernières décennies : 2009, 2022, 2024. Parmi les épisodes de catastrophe qu'a connus le Sénégal, celle de l'automne 2009 est l'une des plus marquantes, ayant dévasté Dakar et sa banlieue. En effet, des pluies torrentielles ont frappé du 5 au 6 octobre 2009, inondant Guédiawaye, Pikine, Thiaroye, et dépassant les capacités des assainissements. On estime qu'à cette époque environ 360000 à 380000 personnes ont été touchées dans la région de Dakar (Cheikh, FAYE(2024)). Le bilan

économique fut lourd : une évaluation de la Banque mondiale fait état de quelque 103 à 104 millions USD de dommages et pertes (56 M USD de dommages directs et 48 M USD de pertes). L'habitat représente près de la moitié des dommages matériels (49%), suivi des infrastructures sociales (écoles, dispensaires, routes) et du secteur agricole (11%). En particulier, plus de 30000 logements ont été endommagés ou détruits dans la banlieue dakaroise, contraignant des familles entières à se reloger temporairement (Bottazzi, P., Winkler, M. S. et Speranza, C. I. (2019)).

De même, celle de septembre 2020, marquée par une crue exceptionnelle à Dakar, n'est pas en marge. On estime à 1477 ménages affectés, soit près de 7270 personnes, et 3285 déplacés suite à un épisode de pluies intenses (Diedhiou et al., 2024). Cela illustre également la vulnérabilité de certains quartiers urbains aux épisodes pluvieux soudains.

Un autre événement majeur fut celui de 2022. Le Sénégal a de nouveau été fortement inondé lors d'une saison des pluies record. Une étude récente montre qu'en août-septembre 2022 environ 2951 km² du territoire ont été submergés, affectant environ 782700 personnes et inondant 21 km² de terres agricoles. Le pic d'août 2022 a vu près de 780 km² inondés en une fois (0,40% du pays) (Amandine Carine Njeugeut Mbiafeu et al., 2023). Toutes les régions ont été concernées, mais notamment Dakar, Diourbel, Thiès et Saint-Louis qui ont concentré l'essentiel des populations affectées (respectivement 437000, 172000, 116000 et 78000 personnes touchées). Ces inondations ont entraîné une coupure des réseaux urbains, et donc l'évacuation de quartiers entiers et des perturbations majeures dans l'agriculture de maraîchage périurbaine.

2. Situation en 2024

Selon l'Institut de recherche pour le développement au Sénégal, en 2024 des précipitations supérieures de 30% à la normale saisonnière ont été enregistrées. Ce qui a sans doute entravé la capacité des cours d'eau à supporter les eaux coulantes à partir d'un certain débit. Partant de là, à la mi-octobre 2024, le fleuve Sénégal, alimenté en amont par des pluies intenses en provenance d'autres cours d'eau, a subi une crue, provoquant un raz-de-marée fluvial et affectant directement la vallée du fleuve.

Cette situation a conduit à plus de 56000 personnes déplacées et de vastes zones cultivées ont été noyées. Dans la région de Podor (nord-est), plus de 200000 personnes ont été directement affectées, en raison de la submersion des terres agricoles. Certaines cultures vivrières, notamment oignon (pourvoyeur de 46% de la production nationale), gombo, aubergine, maïs et surtout riz ont été dévastées. Les autorités estiment à plus de 16000 hectares les terres agricoles inondées en 2024. Les pertes attendues mettent en danger la sécurité alimentaire de centaines de milliers d'habitants et font craindre « une bascule dans l'extrême pauvreté » pour de nombreux petits agriculteurs.

Les inondations, en détruisant les champs et récoltes, privent de revenus les petits agriculteurs et constituent donc une menace pour la sécurité alimentaire. La production

vivrière perdue renforce davantage la dépendance aux produits importés et peut renchérir les prix des produits alimentaires nationaux.

Du côté des secteurs d'activités, ces inondations affectent largement les capitaux d'infrastructures publiques et les biens privés en endommageant les réseaux de transport (routes, ponts), les équipements collectifs (écoles, hôpitaux, marchés) (Bakhtaoui et al.), ainsi que l'habitat résidentiel. La santé publique est également affectée : les eaux stagnantes, en favorisant la prolifération du paludisme et le risque de maladies hydriques (choléra, diarrhées), aggravent ainsi les conditions de vie des populations sinistrées.

De façon générale, les inondations au Sénégal touchent directement la vie socioéconomique du pays. Elles frappent régulièrement des centaines de milliers de personnes et causent chaque décennie des dégâts équivalant à plusieurs pourcents du PIB. Les secteurs du logement, du commerce et de l'agriculture sont particulièrement exposés. À l'échelle nationale, cela se traduit par des « chaînes d'impacts parfois irréversibles » sur la croissance et la pauvreté. Ce contexte souligne l'importance vitale des politiques de résilience et de gestion du risque (aménagement du territoire, systèmes d'alerte, financements innovants) afin de limiter les conséquences sociales et économiques de ces catastrophes naturelles récurrentes.

I.2 Cadre conceptuel

Secteurs échangeables

Secteur produisant des biens et services qui peuvent être exportés ou importés, car ils font l'objet d'échanges internationaux.

Secteurs non échangeables

Secteurs produisant des biens et services produits et consommés localement, qui ne font pas ou peu l'objet d'échanges internationaux, souvent en raison de leur nature (liée à la proximité, à la réglementation, ou au coût du transport).

Élasticité intra-temporelle de substitution

Mesure la facilité avec laquelle un agent économique (souvent un ménage ou une entreprise) peut substituer un bien ou un facteur de production à un autre à un moment donné dans le temps, c'est-à-dire dans une même période.

Condition de non-arbitrage

Principe fondamental en économie et en finance, qui signifie qu'il ne doit pas être possible de réaliser un profit sans risque et sans mise initiale.

Dettes commerciales :

La dette commerciale désigne les sommes dues par une entreprise ou une administration à ses fournisseurs de biens ou de services dans le cadre de ses activités courantes. C'est

un passif à court terme, aussi appelé crédit fournisseur, elle ne porte généralement pas d'intérêt, sauf en cas de retard de paiement.

Infrastructure :

Le terme « infrastructure » désigne l'ensemble des installations physiques, techniques et organisationnelles nécessaires au bon fonctionnement d'une société ou d'une économie. Cela inclut les réseaux de transport (routes, ponts, chemins de fer), les réseaux d'énergie (centrales, lignes électriques), les systèmes d'approvisionnement en eau et assainissement, les infrastructures numériques (internet, télécommunications), ainsi que les équipements publics tels que les écoles, hôpitaux ou installations administratives.

Infrastructure (Standard et Adaptation) :

Infrastructures standards : Les infrastructures standards sont des équipements physiques de base conçus selon des normes techniques classiques, pour répondre aux besoins courants de la population (transport, énergie, eau, assainissement, télécommunications, etc.), sans tenir compte des changements climatiques ou des risques futurs.

Infrastructures d'adaptation (ou climato-résilientes) : Les infrastructures d'adaptation sont des équipements physiques planifiés, construits ou réhabilités de manière à prendre en compte les effets présents et futurs des changements climatiques, afin de réduire la vulnérabilité des populations et renforcer leur résilience.

Capital public :

Le capital public désigne l'ensemble des actifs physiques détenus ou financés par l'État et ses démembrements, utilisés pour produire des services publics ou soutenir l'activité économique. Il comprend les infrastructures (routes, écoles, hôpitaux), les équipements publics, les bâtiments administratifs, ainsi que certains actifs immatériels comme les systèmes d'information publics.

Capital privé :

Le capital privé représente l'ensemble des biens d'équipement, bâtiments, machines et autres actifs détenus par des agents économiques privés tels que les entreprises, les ménages ou les investisseurs individuels. Il est utilisé pour la production de biens et services dans le secteur privé

Un ménage non ricardien :

Un ménage non ricardien est un ménage qui ne planifie pas sa consommation en

fonction de son revenu futur, consomme principalement son revenu présent, et est souvent contraint par l'accès au crédit. Contrairement aux ménages ricardiens, qui optimisent leur consommation intertemporelle, les ménages non ricardiens présentent les caractéristiques suivantes :

- ne réagissent pas de manière anticipée aux politiques gouvernementales ;
- considèrent leur revenu courant comme la principale contrainte pour leurs dépenses ;
- ne lissent pas leur consommation sur le cycle de vie ou sur le temps.

Ils sont souvent :

- contraints en liquidité : ils n'ont pas accès aux marchés de capitaux ou au crédit, et consomment tout ou une grande partie de leur revenu courant ;
- partiellement rationnels : ils n'anticipent pas parfaitement l'avenir ou ne prennent pas en compte les effets futurs de la dette publique ;
- guidés par leur revenu disponible immédiat plutôt que par un revenu permanent ou espéré.

Ménage ricardien :

Un ménage ricardien est un agent économique qui anticipe les effets futurs des politiques budgétaires, en particulier la dette publique, sur sa situation financière. Il ajuste sa consommation en fonction de son revenu, en lissant ses dépenses dans le temps. Ces ménages ont accès aux marchés de capitaux, optimisent intertemporellement et tiennent compte des impôts futurs associés à l'endettement public.

Réchauffement climatique d'origine anthropique :

Le réchauffement climatique d'origine anthropique désigne l'augmentation progressive de la température moyenne de la Terre causée principalement par les activités humaines, telles que la combustion d'énergies fossiles, la déforestation et l'industrialisation.

Inondation :

Une inondation est un phénomène naturel caractérisé par un débordement d'eau submergeant temporairement des zones habituellement sèches. Elle peut résulter de fortes précipitations, de la crue d'un cours d'eau, de la montée des eaux marines ou de défaillances d'infrastructures hydrauliques.

I.3 Revue de littérature (théorique et empirique)

Impacts socioéconomiques des catastrophes naturelles, revue de la littérature

La littérature examine à la fois les impacts socioéconomiques directs des catastrophes naturelles et leurs retombés à long terme. Les impacts directs correspondent aux dommages subis par les actifs (par exemple, les biens) causés immédiatement ou peu après la catastrophe. Parmi ces pertes économiques directes figurent la destruction de logements, d'entreprises, de capital productif, d'infrastructures, de cultures, de bétail, ainsi que les effets (monétisés) sur la santé physique et mentale. Ces pertes sont généralement évaluées au moyen de modèles de catastrophe et à partir de données empiriques sur les dommages enregistrés.

Les impacts directs peuvent engendrer des effets indirects, qui se traduisent par des modifications de l'activité économique post-catastrophe, notamment par l'interruption des activités productives. Ces impacts indirects englobent les pertes économiques à court et à long terme, tant en matière de production que de consommation, ainsi que les trajectoires de reprise économique associées (Kousky, 2014).

Plusieurs auteurs ont porté leurs contributions à la littérature empirique sur les impacts des catastrophes naturelles. Lazzaroni et Bergeijk (2014) examinent 64 études macroéconomiques portant sur les coûts directs et indirects de ces catastrophes, et observent un effet négatif significatif dans les travaux portant sur les coûts directs, tandis que l'effet est négligeable pour les coûts indirects. Par ailleurs, les impacts indirects des catastrophes tendent à être négativement significatifs lorsque des indicateurs objectifs, comme l'intensité des phénomènes physiques, sont employés.

Klomp et Valckx (2014), à partir de 25 études primaires, montrent que les catastrophes naturelles ont un effet négatif significatif sur la croissance par habitant, surtout dans les pays en développement. Les catastrophes climatiques et géologiques réduisent la croissance à court terme sans effet durable. Les catastrophes hydrométéorologiques directs et indirects, en revanche, affectent la croissance à court et à long terme. Globalement, seuls ces aléas entraînent des impacts économiques négatifs persistants.

A. Dommages directs

Certaines études se concentrent sur l'estimation des dommages directs, comme celle d'Anttila-Hughes et Hsiang (2013), qui montrent que les typhons aux Philippines causent d'importantes pertes matérielles pour les ménages. D'autres travaux indiquent que les pertes économiques directes liées aux catastrophes naturelles augmentent avec le temps.

Cette hausse s'explique principalement par la croissance économique et démographique. Toutefois, le GIEC (2014) et Estrada, Botzen et Tol (2015) suggèrent aussi un rôle du changement climatique. Parallèlement, des recherches majeures se sont intéressées aux pertes indirectes. Elles insistent sur les avancées méthodologiques dans leur évaluation.

Felbermayr et Gröschl (2014) construisent une base de données physique des catastrophes (GeoMet) et utilisent une régression en panel à effets fixes pour évaluer leur impact sur la croissance du PIB. Ils trouvent un effet fortement négatif et non linéaire : une catastrophe dans le 1% supérieur réduit la croissance de 7%, contre 0,5% dans le 5% supérieur. Leurs résultats contrastent avec ceux obtenus via EM-DAT et NatCatSERVICE, jugés statistiquement insignifiants et instables. Cette divergence s'explique, selon eux, par un biais d'endogénéité lié aux mesures économiques utilisées dans ces bases. Ils soulignent ainsi l'importance des mesures physiques pour mieux estimer l'impact des catastrophes.

De même, dans une étude pionnière, Hsiang (2010) utilise un modèle en panel avec effets fixes sur 28 pays du bassin caribéen entre 1970 et 2006 pour analyser l'impact des cyclones sur le PIB. Il constate un effet global faible, mais des impacts sectoriels marqués : agriculture, commerce et tourisme sont négativement affectés, tandis que la construction en bénéficie. Il souligne également une relation dynamique entre les cyclones passés et le PIB sectoriel actuel. Ces effets peuvent se prolonger au-delà de l'année de la catastrophe. L'analyse repose sur l'intensité cyclonique mesurée par la dissipation d'énergie.

Anttila-Hughes et Hsiang (2013) analysent les cyclones tropicaux aux Philippines, l'un des pays les plus vulnérables aux typhons. Ils constatent qu'un typhon moyen réduit le revenu annuel net des ménages, riches comme pauvres, de 6,6 % à court terme. Ces pertes persistent plusieurs années, particulièrement chez les ménages les plus pauvres. De plus, Anttila-Hughes et Hsiang (2013) observent que cette diminution des revenus se traduit par une réduction quasi proportionnelle des dépenses des ménages, notamment celles liées aux investissements en capital humain.

Dans le même ordre d'idée, Leiter, Oberhofer et Raschky (2009) analysent l'impact des catastrophes sur les performances des entreprises en étudiant une inondation majeure à partir d'un panel d'entreprises européennes. Ils constatent une hausse significative des actifs et de l'emploi, sans effet notable sur la productivité. Cela reflète une compensation des pertes par l'investissement et l'embauche. Leurs résultats mettent en évidence des ajustements internes aux entreprises après sinistre. Plus largement, ces travaux soulignent que les effets indirects des catastrophes freinent la croissance, surtout dans les pays à faible revenu.

B. Dommages indirects ou de long terme

Il faut noter que les études évaluant les effets économiques indirects des catastrophes

naturelles sur le long terme (plusieurs décennies), sont rares. Cela reflète les importantes difficultés liées aux données, notamment la nécessité de suivre les unités affectées (ménages, villes, pays) sur de longues périodes post-catastrophe, ainsi que de disposer de groupes témoins appropriés. Nous présentons ci-après les quelques travaux de ce type existants.

Skidmore et Toya (2002), dans une étude influente, utilisent les données EM-DAT et un modèle transversal pour analyser la relation à long terme entre catastrophes naturelles, accumulation de capital, productivité totale des facteurs (PTF) et croissance économique. Leur modèle relie la croissance annuelle moyenne du PIB entre 1960 et 1989 au nombre total de catastrophes survenues dans un pays durant cette période. Ils constatent que les catastrophes naturelles prédisent une hausse des taux de croissance du PIB et de la PTF, qu'ils attribuent à une stimulation de l'adoption de nouvelles technologies et au renouvellement du stock de capital.

Dans la même logique, une étude exhaustive sur l'effet des cyclones à court et long terme menée par Hsiang et Jina (2014) utilise un panel pays-année des taux de croissance du PIB pour presque tous les pays entre 1950 et 2008, couplé à l'exposition de chaque pays aux cyclones. En intégrant l'influence des cyclones passés sur la croissance actuelle du PIB, ils apportent des preuves solides d'effets persistants et négatifs des catastrophes sur la croissance économique.

Une implication majeure de ces travaux est que les cyclones réduisent la croissance pendant plusieurs années après l'événement, ce qui suggère que les études ne considérant que les impacts immédiats sous-estiment l'effet total des catastrophes.

Infrastructures et inondations : une revue de la littérature

Les infrastructures constituent un levier essentiel pour renforcer la résilience face aux inondations. Plusieurs auteurs mettent en évidence l'importance des investissements dans les infrastructures de protection pour limiter les dégâts liés aux inondations. C'est le cas de, Ishiwatari et Sasaki (JICA, 2020) qui soulignent que « l'investissement est crucial pour atténuer les dommages causés par les inondations ». Dans ce cadre, il est indispensable de développer des systèmes de drainage urbain efficaces et d'intégrer des écosystèmes tels que les zones humides ou les parcs dans les stratégies de prévention. À l'échelle des villes, la construction ou la réhabilitation de canaux de drainage et de routes surélevées permet de canaliser et de retenir les eaux de pluie.

Zannat et al. (2024) soulignent que, dans les zones urbaines, les infrastructures traditionnelles « en dur » telles que les canalisations en béton, les routes ou les digues montrent aujourd'hui leurs limites. À l'inverse, les solutions fondées sur la nature, comme les zones humides urbaines, les toits végétalisés ou les sols perméables, s'avèrent souvent plus efficaces, tout en procurant des co-bénéfices tels que la régulation climatique, la séquestration

du carbone et l’embellissement des paysages (Esraz-ul-Zannat, M., Dedekorkut-Howes, A., et Morgan, E. A., 2024). De ce fait, la mise en place de bassins de rétention, ainsi que la restauration des mangroves ou des forêts rivulaires, peut contribuer à atténuer les crues soudaines.

Ishiwatari et Sasaki (2020) soulignent l’importance de la planification à long terme pour la gestion des inondations. Ils montrent que leur intégration dans les plans de développement, comme en Chine ou aux Philippines, favorise un engagement budgétaire durable et stimule les investissements publics. Ils insistent sur la complémentarité entre infrastructures « dures » et solutions « douces » telles que le drainage durable ou la reforestation. Cette approche vise à renforcer la résilience globale face aux inondations.

Mostafavi (2019) et Didegah et Kortelainen (2019) décrivent les infrastructures comme un « système de systèmes », soulignant que leurs interconnexions peuvent provoquer des défaillances en cascade. Rinaldi et al. (2003) identifient quatre types d’interdépendances : physiques, cybernétiques, géographiques et logiques. Ces interactions complexes compliquent l’évaluation de la vulnérabilité et de la résilience des infrastructures. Dubaniowski et Heinimann (2020) confirment cette difficulté dans leur étude sur l’impact sociétal des perturbations dues aux catastrophes.

Les événements hydrologiques extrêmes peuvent causer d’importants dommages aux routes et infrastructures de transport (Berz et al., 2001, Drobot et al., 2007, Nielsen et al., 2011, Tarolli et al., 2013, Surian et al., 2016). La résistance limitée, voire insuffisante, des infrastructures routières face à ces événements peut, en partie, s’expliquer par des lacunes dans les connaissances et les outils relatifs à une adaptation efficace au changement climatique (Kalantari et Folkesson, 2012).

Les inondations représentent d’autre part un véritable obstacle pour les infrastructures et peuvent en être la source de sa dégradation. Elles affectent directement les infrastructures, engendrant des coûts très élevés. Fekete (2019) observe que « les dommages aux infrastructures sont parmi les plus coûteux » lors des catastrophes liées aux inondations. Dans le secteur ferroviaire, Ochsner et al. (2022) indiquent que la submersion des voies et remblais peut provoquer des brèches et des déformations, entraînant de graves interruptions d’exploitation et des surcoûts économiques notables (Nils O.E. Olsson, Lena Winslott Hiselius).

Mushtaq et al. (2024) confirment que les crues réduisent la capacité des routes, provoquent des embouteillages et détériorent chaussées et ponts, augmentant considérablement les besoins en réparation. Les tunnels urbains sont également vulnérables : Abegaz et al. (2024) montrent qu’une pluie extrême peut « submerger les systèmes de drainage », entraînant des accumulations d’eau susceptibles de compromettre l’intégrité des tunnels routiers ou ferroviaires. De même, les buses et aqueducs enterrés (drains sous-routiers) peuvent se boucher sous l’effet des débris, rendant certaines routes totalement impraticables.

La pression hydrostatique et l'accumulation de débris peuvent éroder leurs fondations. Fekete souligne que la défaillance des dispositifs de protection (digues, barrages) provoque souvent des « brèches » et « débordements », générant des effets en cascade (érosion massive, glissements de terrain, pollution) qui intensifient les dégâts. De plus, les crues compromettent la solidité des ponts, qui deviennent alors des points de blocage, interrompant les axes routiers et ferroviaires jusqu'à leur remise en état. À l'échelle urbaine, les habitations sont touchées : Aribisala (2022) rappelle que les inondations endommagent à la fois la structure et le contenu des logements, contraignant les habitants à être relogés, bien que les données précises sur ce phénomène restent encore limitées.

D'après le rapport de la Banque mondiale, les catastrophes naturelles notamment les cyclones tropicaux (typhons ou ouragans), les tremblements de terre et les inondations figurent parmi les principales causes d'interruption des services d'infrastructure, et la majorité des actifs d'infrastructure à l'échelle mondiale sont situés dans des zones fortement exposées aux risques de catastrophes naturelles (Maruyama Rentschler, J. E., & Rozenberg, J. (2019)). Avec l'aggravation du changement climatique mondial et la dégradation progressive des infrastructures, la probabilité que des phénomènes extrêmes affectent des composants ou systèmes d'infrastructure tend à s'accroître dans les années à venir (Hasan, S., & Foliente, G. (2015)).

Par ailleurs, les systèmes d'infrastructure se composent généralement de réseaux vastes sur le plan géographique et fortement interdépendants, ce qui peut accroître l'efficacité opérationnelle des services rendus à de larges populations. Toutefois, ces interdépendances augmenteraient aussi le risque systémique de perturbations des infrastructures (Ouyang, M. (2014)). Plusieurs événements mondiaux ont démontré que la destruction d'un seul composant ou système d'infrastructure peut entraîner des défaillances en cascade, provoquant des interruptions de service à grande échelle et de manière disproportionnée dans plusieurs systèmes (Hettiaratchi, P., & Taron, J. (2018)).

Le Rapport d'évaluation mondiale (GAR) 2019 de l'UNDRR indique que, de 1985 à 2015, la plupart des catastrophes urbaines dans le monde, sauf en Amérique du Nord, ont été causées par des aléas hydrologiques. Marta Borowska-Stefańska et al. soulignent que les risques localisés comme les crues et les inondations urbaines entraînent d'importants dégâts. Ces événements causent les pertes économiques les plus élevées. Ils affectent fortement les infrastructures et les actifs de développement.

Les inondations, notamment celles provoquées par des précipitations excessives et intenses, représentent la principale cause de perturbations des infrastructures de transport liées aux conditions météorologiques (United States. Department of Homeland Security. (2006)). Ce type d'événements peut compromettre la fonctionnalité essentielle des systèmes de transport, en particulier les réseaux routiers. De nombreuses recherches ont établi que les routes figurent parmi les principales causes de mortalité urbaine lors d'inondations, principalement en raison de la circulation de véhicules sur des chaussées submergées (Wang,

K. (2021) et al., Gonzalez-Cruz, J. E. (2023) et al.). La perturbation du réseau routier par les inondations s'opère en rendant certains éléments du système non fonctionnels. Ainsi, des sections de route ou des carrefours peuvent être affectés par une montée importante des eaux, conduisant à leur fermeture. Un autre mécanisme majeur de perturbation est l'affouillement des ponts (Loggins, R. A., & Wallace, W. A. (2015), Gardoni, P., & Murphy, C. (2009)), qui peut entraîner des dommages compromettant à court ou long terme la connectivité du réseau routier.

Infrastructure et croissance économique, une revue de littérature

Les décideurs politiques ont traditionnellement considéré l'investissement dans les infrastructures publiques comme un levier essentiel pour réduire les disparités géographiques et favoriser la croissance économique. Dans cette perspective, de nombreuses études théoriques et empiriques se sont penchées sur le lien entre les infrastructures et la croissance économique. Selon la théorie marxiste, l'infrastructure constitue la base économique d'un mode de production, englobant à la fois les forces productives et les rapports de production.

L'idée selon laquelle les gouvernements doivent investir dans les infrastructures publiques et les actifs institutionnels pour soutenir la production et le commerce est solidement ancrée dans la littérature économique, remontant au moins à Adam Smith (Smith, A., 1776). La vision de Smith reposait sur le postulat que la fourniture par l'État de biens publics complémentaires, tels que routes et ponts, faciliterait le développement des marchés et favoriserait une croissance économique durable. Il est peu probable que le secteur privé seul assure la réalisation de ces infrastructures, et cette défaillance du marché, en l'absence d'intervention gouvernementale, limiterait le potentiel de croissance économique.

John Maynard Keynes (Keynes, J. M., 1937) a apporté une justification complémentaire à l'investissement public, le présentant comme un outil de politique budgétaire contracyclique. Keynes a ainsi légitimé les programmes de travaux publics durant la Grande Dépression pour stimuler la demande globale, activer le multiplicateur de revenu et d'emploi, et ramener l'économie au plein emploi. Depuis Keynes, les gouvernements justifient les projets d'investissement public financés par le déficit comme une réponse corrective visant à la fois à relancer l'économie en période de récession et à accroître le stock d'actifs publics, favorisant ainsi les entreprises privées et la croissance économique à long terme.

Dans les années 1980, la théorie de la croissance endogène a élargi la notion de capital pour inclure les infrastructures publiques, selon R. J. Barro. Ces infrastructures (routes, chemins de fer, etc.) facilitent la circulation des biens, services et capitaux, favorisant la diffusion technologique et l'expansion des marchés, ce qui augmente la productivité. Le financement par l'impôt de ces investissements soutient la croissance sans désinciter le secteur privé. Les infrastructures génèrent des rendements croissants à long terme via

des économies d'échelle internes. Elles réduisent aussi les distances effectives et facilitent échanges et agglomérations. (Summers, 2017)

C'est ainsi que Javid (2019) (« Impact of Infrastructure on Economic Growth : A Comparative Analysis of Developed and Developing Countries, 2024) met en évidence les effets positifs, bien que différenciés, des investissements dans les infrastructures formelles et informelles sur le développement économique. D'autres études confirment également l'impact significatif et bénéfique des infrastructures sur les populations des pays en développement. Elles contribuent sans aucun doute à atténuer les disparités régionales.

De même, Chakamera et Alagidede (2018) révèlent que certains types d'infrastructures ont exercé une pression significative à la baisse sur la croissance en Afrique subsaharienne, mettant en évidence une relation complexe entre les différents composants infrastructurels. De leur côté, Munim et Schramm (2018) apportent des éléments empiriques montrant que la fiabilité portuaire et l'efficacité logistique influencent simultanément la performance économique et l'environnement.

Blimpo et al. (2013) étudient l'impact de la marginalisation politique sur les investissements en infrastructures de transport et la sécurité alimentaire au Bénin, Ghana, Mali et Sénégal. Ils trouvent une forte corrélation entre la densité routière et la réduction du retard de croissance chez les enfants. La marginalisation politique limite l'accès aux investissements, augmentant ainsi la malnutrition dans ces zones. De plus, les coûts de transport influencent la migration rurale-urbaine et la taille des agglomérations.

Les infrastructures de transport sont cruciales pour le développement rural en désenclavant les zones isolées et en soutenant les activités productives. Près d'un milliard de ruraux dans le monde n'ont pas accès à une route praticable à moins de 2 km (Roberts, Shyam et Rastogi, 2006 ; Banque mondiale, 2019). Améliorer cet accès est vital pour lutter contre la pauvreté et favoriser le développement économique. Les routes rurales facilitent l'accès abordable aux marchés et aux intrants agricoles.

Nakamura et al. (2019) montrent que le développement des routes rurales principales en Éthiopie améliore significativement le bien-être des ménages et leur résilience face aux sécheresses. Entre 2012 et 2016, l'accès aux routes a augmenté la consommation moyenne des ménages de 16,1%, jusqu'à 27,9% dans les communautés isolées. Dans les zones touchées par El Niño, la probabilité de pauvreté a diminué de 14,4% grâce à ces connexions routières.

De même Kebede (2021) montre que l'extension des routes rurales en Éthiopie a augmenté de 13% en moyenne les revenus agricoles réels. Cette hausse résulte du modèle commercial ricardien, où la réduction des coûts commerciaux favorise les cultures à avantage comparatif. Les routes principales et ferroviaires bénéficient surtout aux zones urbaines et au secteur manufacturier, tandis que les routes secondaires profitent principalement aux populations rurales et agricoles. Cela soulève des arbitrages entre politiques de

développement urbaines et rurales.

En s'appuyant sur les données de l'Enquête nationale sur les ménages de 2001 au Cameroun, Gachassin et al. (2015) démontrent qu'un meilleur accès routier accroît le nombre d'activités économiques accessibles aux ménages des zones les plus isolées, en raison d'un effet d'attraction vers des opportunités plus rémunératrices. Toutefois, les effets de l'isolement sur le bien-être des ménages via l'accès au marché du travail sont hétérogènes et varient selon les spécificités locales. L'un des principaux canaux par lesquels les routes rurales génèrent des retombées économiques est l'amélioration de la productivité dans le secteur agricole.

Dorosh et al. (2012) analysent les liens entre infrastructures de transport, localisation des populations et production agricole en Afrique subsaharienne. Ils constatent que la population et la production agricole se concentrent principalement à proximité des grandes villes. Une réduction de 10 % du temps de trajet entre une zone de production et une ville de plus de 25 000 habitants entraîne, à long terme, une augmentation de 23 % de la production agricole locale. Par ailleurs, une baisse de 1% du temps de trajet vers la ville la plus proche comptant au moins 100 000 habitants accroît la production de cultures à faibles (forts) intrants de 2,9 % (1,6 %).

L'augmentation des investissements publics en infrastructures agit sur l'économie de deux façons : elle stimule à court terme la demande globale via le multiplicateur budgétaire, dont l'effet varie selon la conjoncture (Auerbach et Gorodnichenko, 2012 ; Gorodnichenko, 2013), et elle peut inciter les investissements privés du fait de la complémentarité des infrastructures. Cette hausse des dépenses influence aussi le ratio dette/PIB, en fonction du multiplicateur budgétaire μ et de l'élasticité des recettes fiscales τ . DeLong et al. (2012) montrent qu'un accroissement de l'investissement public (Δi) en pourcentage du PIB potentiel modifie le ratio dette/PIB potentiel (Δd) sur un an.

En outre, bien que ces investissements favorisent la croissance, certaines études analysent également leur potentiel effet d'éviction sur la productivité du capital privé (Congressional Budget Office, 2016 ; Abiad et al., 2016).

CHAPITRE II : Méthodologie, hypothèses et Calibrage

I.1 Méthodologie

I.1.1 Modélisation

1. Modèles Classiques d'évaluation des catastrophes naturelles

Plusieurs modèles sont utilisés dans l'évaluation des impacts causés par les catastrophes naturelles. Certains de ces modèles simplifient une réalité économique complexe en une représentation mathématique des chaînes causales les plus pertinentes qui retracent les impacts d'une catastrophe naturelle exogène sur le système économique.

a. Modèles basés sur des matrices de comptabilité sociale.

La majorité des études sur les impacts indirects des catastrophes naturelles utilisent les modèles d'entrées-sorties (ES) et les modèles d'équilibre général calculable (EGC), fondés sur une matrice de comptabilité sociale. Les modèles ES supposent des proportions fixes dans la production et analysent la propagation des dommages entre secteurs. Les modèles EGC, eux, intègrent des comportements d'offre et de demande stables et simulent les ajustements d'équilibre des marchés. Ces deux approches permettent d'estimer l'ampleur et la diffusion des effets économiques. Toutefois, elles sont limitées pour capturer les ajustements dynamiques dans le temps et l'espace.

b. Modèles de catastrophe : estimation des impacts directs des catastrophes naturelles

Les modèles de catastrophe s'appuient sur les systèmes d'information géographique (SIG) pour simuler les aléas naturels, comme les inondations, et estimer les pertes poten-

tielles selon leur intensité et leur probabilité. Ils combinent les caractéristiques physiques de l'aléa avec les données d'exposition (valeur des bâtiments, usage du sol) et des hypothèses de vulnérabilité afin de calculer les dommages attendus. Ces estimations sont déclinées à différentes échelles spatiales, du local au régional. Toutefois, ces modèles présentent d'importantes incertitudes, notamment liées à la modélisation de la vulnérabilité, souvent mal documentée empiriquement. Ils supposent en général une vulnérabilité statique, alors qu'en réalité, elle évolue selon les comportements et les politiques d'adaptation.

c. Modèles IAM des impacts du changement climatique

Plusieurs modèles intégrés d'évaluation (IAM) ont été développés pour estimer les impacts économiques du changement climatique, calculer le coût social du carbone et définir des trajectoires optimales de réduction des émissions. Les modèles les plus connus sont DICE/RICE, FUND et PAGE. Toutefois, des études telles que Stern (2013) et van den Bergh & Botzen (2015) soulignent l'importante incertitude associée à ces modèles, en raison notamment de l'inclusion partielle des risques climatiques dans des fonctions de dommages simplifiées. Par ailleurs, Ackerman et Munitz (2012) estiment que les IAM traitent de manière incomplète les catastrophes naturelles, en négligeant les coûts liés à l'élévation du niveau de la mer et aux événements extrêmes, ce qui justifie une révision de ces fonctions d'impact.

2. Modèles DSGE dans l'analyse des chocs climatiques

Les modèles DSGE (Dynamic Stochastic General Equilibrium Models), apparus dans les années 1980 dans la continuité des travaux néokeynésiens, représentent aujourd'hui un pilier central de l'analyse macroéconomique moderne. Ils sont conçus pour étudier l'évolution de l'économie à travers le temps en intégrant la dynamique temporelle, l'incertitude et l'équilibre général intersectoriel. Ils reposent sur des microfondations rigoureuses (comportement des agents économiques tels que les ménages, les entreprises et l'État).

Ces modèles incorporent des chocs exogènes (technologiques, climatiques, etc.) affectant l'économie de manière imprévisible. Ils sont particulièrement utilisés par les banques centrales, les institutions financières internationales (FMI, Banque mondiale) et les gouvernements pour la prévision macroéconomique, l'évaluation de la politique monétaire et budgétaire, ainsi que l'analyse de la résilience économique face aux chocs systémiques, tels que les catastrophes naturelles.

Plusieurs études confirment l'utilisation des DSGE dans la modélisation des catastrophes naturelles.

Cantelmo et al. (2019) proposent un modèle DSGE intégrant des chocs climatiques ainsi que des investissements en infrastructures résilientes. Ils montrent que les catastrophes réduisent durablement le niveau de production (−6% en moyenne sur trois ans) et que l'aide internationale est significativement plus efficace lorsqu'elle est mobilisée en amont,

plutôt qu'en réponse à un événement.

De leur côté, Fernández Corugedo et Guerson (2023, FMI), à travers un modèle à régimes markoviens calibré sur la Dominique, démontrent que les catastrophes détruisent simultanément le capital public et privé, affectent durablement la croissance, mais que l'investissement en résilience engendre des rendements élevés.

Par ailleurs, Andrianady (2024, DIGNAD appliqué au Madagascar) simule plusieurs scénarios selon le type d'infrastructure. Il ressort qu'un choc naturel pourrait faire baisser le PIB de 6%, alors qu'un investissement équivalent à 1% du PIB préalablement réduit cette perte à -2%.

Enfin, Buffie et al. (2012) ont développé un modèle DSGE intertemporel centré sur l'investissement public et la soutenabilité de la dette, appelé modèle DIG. Ce modèle, enrichi par la suite avec la prise en compte des catastrophes naturelles (extension DIGNAD), permet d'analyser les effets macroéconomiques de ces événements ainsi que l'efficacité des investissements en infrastructures résilientes.

3. Présentation du modèle

Nous introduisons un modèle de petite économie ouverte à deux secteurs, caractérisé par des secteurs de biens échangeables et non échangeables, affectés de manière inégale par une catastrophe naturelle. Le gouvernement y décide des mesures de préparation et de relèvement, à l'aide d'instruments alternatifs de financement public (emprunt intérieur et extérieur, subventions et taxes à la consommation), en s'inspirant du modèle de Bevan et Adam (2016).

La catastrophe naturelle affecte l'économie de cinq manières :

1. dommages permanents aux infrastructures publiques ;
2. dommages permanents au capital privé ;
3. pertes temporaires de productivité liées aux perturbations économiques et sociales (par exemple, durant la période d'évacuation des eaux, les individus ne peuvent pas travailler et doivent consacrer du temps à enlever les débris) ;
4. inefficacité accrue de l'investissement public durant la période de reconstruction ;
5. détérioration de la solvabilité du souverain.

Le cadre intègre les dispositifs essentiels au renforcement de la résilience ex ante, notamment l'investissement public dans les infrastructures d'adaptation et les dispositifs de stabilisation budgétaire, afin d'analyser la réponse de l'économie à une inondation d'une certaine ampleur.

Firme

Les entreprises produisent des biens échangeables et non échangeables, notés respectivement y_x et y_n , à l'aide d'une technologie de production de type Cobb-Douglas. Cette technologie combine l'infrastructure publique — modélisée par une fonction à élasticité de substitution constante (CES) entre l'infrastructure standard z_i et le capital d'adaptation z_a , avec une productivité associée ν_a — avec le capital privé k_j et le travail l_j .

Chaque entreprise opère dans un secteur unique j , et dispose d'une productivité totale des facteurs (PTF) spécifique au secteur, notée A_j .

Une catastrophe naturelle affecte simultanément les deux secteurs, en causant des dommages différenciés $D_j \in [0, 1]$ à la production. Ces dommages se traduisent par une destruction irréversible du capital public et privé, ainsi qu'une perte transitoire de productivité.

Cependant, cet impact peut être atténué par des investissements publics dans des activités d'adaptation, qui réduisent l'ampleur des dommages. Les facteurs d'échelle associés à cette atténuation sont notés π_j et ν_D .

Dans chaque secteur j , une entreprise maximise son profit en fonction de sa technologie de production donné comme suit :

$$\Phi_{j,t} = P_{j,t} \left(1 - \frac{D_{j,t}}{(1 + \pi_j z_{t-1}^a)^{\nu_D}} \right) y_{j,t} - w l_{j,t} - r_{j,t} k_{j,t-1}, \quad (1)$$

où w désigne le salaire au niveau de l'économie, et r_j représente le rendement sectoriel du capital dans le secteur j . La production est définie comme suit :

$$y_{j,t} = A_{j,t} z_t^{\psi_j} k_{j,t-1}^{\alpha_j} l_{j,t}^{1-\alpha_j} \quad \text{pour } j = n, x. \quad (2)$$

Le secteur échangeable regroupe des composantes telles que l'agriculture d'exportation, la pêche industrielle, l'exploitation minière et le tourisme international. Ces composantes occupent une place importante dans l'économie nationale et sont sensibles à la compétitivité extérieure ainsi qu'aux fluctuations des prix sur les marchés internationaux. En revanche, le secteur non échangeables comprend des branches orientées vers la demande locale, comme l'immobilier, les transports urbains et ruraux, ainsi que les services administratifs publics. Le capital public est donné par

$$z_t = \left[\rho_z^{\frac{1}{\xi}} \left(z_t^i \right)^{\frac{\xi-1}{\xi}} + (1 - \rho_z)^{\frac{1}{\xi}} \left(\nu_a z_t^a \right)^{\frac{\xi-1}{\xi}} \right]^{\frac{\xi}{\xi-1}}, \quad (2.1)$$

où ρ_z est un paramètre de pondération, et ξ représente l'élasticité intra-temporelle de substitution entre les intrants du capital public (à savoir, l'infrastructure standard et le capital d'adaptation). Cette forme fonctionnelle est particulièrement appropriée dans le contexte d'une analyse de l'adaptation, car elle permet de considérer cette dernière soit comme un substitut, soit comme un complément à l'infrastructure standard (par exemple, des digues ou des routes résistantes au climat ; ce point sera approfondi dans la section de discussion dédiée à l'étalonnage). Il convient également de noter que les dommages peuvent être décomposés en pertes affectant le capital public, le capital privé, ainsi qu'en baisses de productivité,

$$(1 - D_{z_j}) = \left(1 - \frac{D_j}{(1 + \pi_j z^a)^{\nu D}}\right)^{\varpi_z}, \quad (3)$$

$$(1 - D_{k_j}) = \left(1 - \frac{D_j}{(1 + \pi_j z^a)^{\nu D}}\right)^{\varpi_k}, \text{ et} \quad (4)$$

$$(1 - D_{A_j}) = \left(1 - \frac{D_j}{(1 + \pi_j z^a)^{\nu D}}\right)^{1 - \varpi_z \psi_j - \varpi_k \alpha_j}. \quad (5)$$

respectivement. La gravité des dommages infligés aux infrastructures publiques et privées est déterminée respectivement par les paramètres ϖ_z et ϖ_k . Ainsi, une valeur élevée de ϖ_z indique une destruction plus importante des infrastructures publiques par rapport au capital privé et à la productivité totale des facteurs (avec la contrainte $1 - z\psi_j - k\alpha_j \geq 0$).¹ Dans la littérature sur les catastrophes naturelles, une distinction est faite entre les dommages et les pertes économiques. Conformément à cette approche, nous considérons la variable DA_j comme une mesure des pertes économiques, tandis que Dz_j et Dk_j correspondent respectivement aux dommages subis par les infrastructures physique.

La perturbation du fonctionnement des infrastructures publiques et privées engendre un effet persistant, bien que transitoire, sur la productivité totale des facteurs (PTF). En effet, la reconstruction des infrastructures nécessite du temps, et les travailleurs peuvent être mobilisés pour dégager les routes, reconstruire leurs habitations, être hospitalisés en raison de blessures, ou encore subir une baisse de productivité liée à la destruction des cultures et à la dégradation des terres agricoles. Par conséquent, la productivité globale est supposée se rétablir progressivement jusqu'à retrouver son niveau antérieur à la catastrophe. Les entreprises, cherchant à maximiser leur profit, déterminent leur demande de capital et de travail en fonction de leur productivité marginale respective.

$$P_{j,t} \alpha_j \frac{y_{j,t}}{k_{j,t-1}} = r_{j,t} \quad \text{pour } j = n, x, \quad (6)$$

$$P_{j,t} (1 - \alpha_j) \frac{y_{j,t}}{l_{j,t}} = w_t^2 \quad (7)$$

Les élasticités de la production par rapport au capital public total peuvent également être dérivées comme suit :

$$P_{j,t} \psi_j \frac{y_{j,t}}{z_{t-1}} = R_t^z \quad (8)$$

1. En revanche, Bevan et Adam (2016) s'intéressent au risque de catastrophe, qu'ils modélisent à l'aide d'une distribution exponentielle négative pour la probabilité d'occurrence. Ici, nous nous concentrons sur une catastrophe supposé réalisée en 2024, pour laquelle les pertes agrégées de PIB sont supposées connues.

où R_t^z désigne le rendement total de l'infrastructure publique, lequel peut être exprimé en fonction des rendements de l'infrastructure standard et d'adaptation comme suit :

$$R_t^{zi} \left(\frac{z_{t-1}^i}{\rho_z z_{t-1}} \right)^{1/\xi} \quad \text{et} \quad R_t^{za} \left(\frac{\nu_a^{1-\xi} z_{t-1}^a}{(1-\rho_z) z_{t-1}} \right)^{1/\xi},$$

respectivement.

Il convient de souligner que les entreprises ne prennent pas en compte, dans leurs décisions optimales, les bénéfices additionnels liés à l'adaptation — notamment la protection contre les catastrophes naturelles —, mais considèrent uniquement les avantages procurés par la disponibilité accrue d'infrastructures en tant qu'intrants dans leurs processus de production.

Les prix des infrastructures dépendent du prix des machines importées nécessaires à la production de capital, noté P_{mm} , ainsi que du prix des intrants non échangeables a_j (avec $j = k, z^i, z^a$) requis pour la production de capital, noté P_n . Le prix du capital privé s'écrit ainsi :

$$P_{k,t} = P_{mm,t} + a_k P_{n,t}.$$

Nous supposons que les infrastructures publiques standard et d'adaptation incorporent des proportions distinctes d'intrants importés et non échangeables, afin de refléter le fait que les infrastructures d'adaptation requièrent potentiellement davantage d'éléments techniques fournis de l'extérieur — vendus à un prix plus élevé — ou bien une quantité différente de matériaux de construction par rapport à l'infrastructure standard.

$$P_{z^i,t} = P_{mm,t} + a_{z^i} P_{n,t}, \quad \text{et} \quad P_{z^a,t} = (1 + pr) P_{mm,t} + a_{z^a} P_{n,t}.$$

Gouvernement

Les dépenses publiques sont allouées aux investissements dans les infrastructures standard et d'adaptation, notés respectivement i_{zi} et i_{za} , aux transferts en faveur des ménages, ainsi qu'au remboursement des emprunts, tant intérieure qu'extérieure. L'État perçoit des recettes issues de la taxe sur la valeur ajoutée (TVA) appliquée à la consommation des ménages, ainsi que de redevances (par exemple, liées à l'usage de l'électricité) associées à l'utilisation des infrastructures publiques standard par les ménages ricardiens (qui consomment et épargnent). Ces redevances correspondent à une fraction f des coûts récurrents d'entretien de l'infrastructure, soit $\delta_{zi}P_{zi,o}$, ce qui se traduit par :

$$\mu = f\delta_{zi}P_{zi,o}.^3$$

Comme l'ont montré Dablas-Norris et al. (2012), les stocks d'infrastructure présentent des écarts importants dans les pays à faible revenu, en dépit de niveaux élevés d'investissement. En conséquence, l'économie ne bénéficie réellement que du capital effectivement produit, lequel dépend de l'efficacité de l'investissement public, représentée par le paramètre $s \in [0, 1]$.

Le processus d'investissement public est supposé souffrir du même degré de bureaucratie et d'inefficacité, tant pour l'infrastructure standard que pour l'infrastructure d'adaptation. Afin de tenir compte des inefficacités accrues induites par une catastrophe, le paramètre s est supposé varier dans le temps et être affecté par le facteur D^s au moment de la catastrophe. En particulier, il est supposé qu'il faut un certain temps pour restaurer la capacité à convertir chaque unité de dépense en capital effectif, une partie des fonds étant absorbée par des activités improductives (par exemple, projets mal exécutés ou problèmes d'aléa moral liés à l'afflux massif d'aide étrangère).

Le capital public évolue donc en fonction.

$$z_t^i = (1 - \delta_{zi})z_{t-1}^i + (1 - D_s)s_t i_{zi,t}, \quad (9)$$

$$z_t^a = (1 - \delta_{za})z_{t-1}^a + (1 - D_s)s_t i_{za,t}. \quad (10)$$

Notons que ces deux types d'infrastructures se déprécient à des rythmes différents, afin de refléter leur niveau distinct de résilience face aux catastrophes naturelles. Les infrastructures d'adaptation sont conçues pour mieux résister aux effets du changement climatique et aux événements extrêmes, ce qui implique que $\delta_{zi} > \delta_{za}$. À ce sujet, Adam

3. Les ménages contraints par des liquidités ne paient pas de frais pour accéder à l'infrastructure publique.

et Bevan (2014) examinent le rôle des dépenses de fonctionnement et d'entretien dans le niveau de dépréciation du capital public, et soulignent l'importance de les intégrer dans la contrainte budgétaire de l'État.

Par ailleurs, les catastrophes naturelles peuvent également influencer la politique budgétaire, notamment via leur effet sur les taux d'intérêt du marché. Comme l'indique S&P (2015), au-delà de la destruction physique des infrastructures, les catastrophes peuvent détériorer la solvabilité d'un État. Tandis que le taux d'intérêt réel sur la dette concessionnelle est supposé constant

$$r_{d,t} = \bar{r}_d \quad (2.2)$$

, un choc lié à une catastrophe naturelle peut entraîner une dégradation de la note de crédit souveraine, captée par le paramètre D_t^r .

En outre, comme souvent évoqué dans la littérature, une accumulation importante de l'emprunt extérieur au-delà de son niveau d'équilibre tend à accroître la prime de risque souveraine, comme le mettent en évidence Schmitt-Grohé et Uribe (2003). En tenant compte du taux d'intérêt mondial sans risque r^f , ainsi que du PIB nominal $y_t = P_{n,t}y_{n,t} + P_{x,t}y_{x,t}$, le taux d'intérêt réel appliqué aux emprunts extérieurs commerciale suit la relation suivante :

$$r_{dc,t} = (1 + D_{r,t}) \cdot \left(r^f + v_g \cdot e^{\eta_g \left(\frac{d_t + d_{c,t}}{y_t} - \frac{\bar{d} + \bar{d}_c}{\bar{y}} \right)} \right) \quad (2.3)$$

Outre le renforcement de la résilience par le biais d'investissements dans des infrastructures d'adaptation, le gouvernement peut également décider de mettre en place un fonds de réserve destiné à constituer une épargne en prévision d'éventuelles catastrophes naturelles. Ce fonds correspond à une épargne déposée dans une banque à l'étranger, rémunérée au taux d'intérêt réel r^f . Il ne peut être mobilisé qu'en cas de catastrophe naturelle majeure, afin de couvrir le déficit budgétaire engendré par les dépenses de reconstruction.

En complément de ce mécanisme de précaution, l'État peut également financer son déficit budgétaire par le biais de dons extérieurs G , ainsi que par une combinaison d'ajustements fiscaux et d'emprunts : dette extérieure concessionnelle $\Delta d_t = d_t - d_{t-1}$, dette intérieure $\Delta b_t = b_t - b_{t-1}$, et dette commerciale extérieure $\Delta dc_t = dc_t - dc_{t-1}$, selon la règle suivante :

$$(1 - v)\Delta b_t = v\Delta dc_t,$$

où v détermine la part relative entre l'augmentation de la dette intérieure et celle de la dette commerciale extérieure.

La contrainte budgétaire de l'État est ainsi donnée par...

$$\begin{aligned}
P_{zi,t}i_{zi,t} + P_{za,t}i_{za,t} + \mathcal{T}_t + r_{t-1}P_t b_{t-1} + \\
r_{d,t-1}d_{t-1} + r_{dc,t-1}d_{c,t-1} + \Delta s_t \leq P_t \Delta b_t + \Delta d_t + \Delta d_{c,t} + r^f s_{t-1} \\
+ \tau_t^c P_t c_t + \mu z_{t-1}^e + \mathcal{G}_t.
\end{aligned}$$

Nous pouvons réécrire la contrainte budgétaire ci-dessus en termes d'écart budgétaire ($\mathcal{G}ap$) comme suit :

$$\mathcal{G}ap_t = P_t \Delta b_t + \Delta d_{c,t} + (\tau_t^c - \tau_0^c) P_t c_t - \Delta s_t \quad (2.4)$$

où $\mathcal{G}ap_t = Exp_t - Rev_t$, c'est-à-dire qu'il correspond à l'écart entre les dépenses publiques totales et les recettes lorsque le taux de taxe à la consommation est maintenu à son niveau initial (τ_0^c) et que la dette concessionnelle ainsi que les dons sont considérés comme exogènes. Cet écart budgétaire est alors comblé par le recours à des emprunts commerciaux intérieurs et extérieurs, à des ajustements de la TVA et/ou à des retraits sur l'épargne, selon la relation suivante :

$$\begin{aligned}
\mathcal{E}_t &= P_{zi,t}i_{zi,t} + P_{za,t}i_{za,t} + \mathcal{T}_t + r_{t-1}P_t b_{t-1} + r_{dc,t-1}d_{c,t-1} + (1 + r_d)d_{t-1} - d_t \\
\text{et } \mathcal{R}_t &= r^f s_{t-1} + \tau_0^c P_t c_t + \mu_z^e z_{t-1}^e + G_t.
\end{aligned} \quad (11)$$

La règle budgétaire appliquée au taux de la taxe à la consommation permet à τ_c de réagir simultanément aux écarts budgétaires et aux écarts de dette par rapport à leur cible. Le paramètre λ_1 régit l'intensité de l'ajustement fiscal en réponse à l'écart budgétaire, c'est-à-dire le niveau de taxe qui serait requis en l'absence de tout autre instrument de financement pour combler ce déficit. Le paramètre λ_2 , quant à lui, détermine la sensibilité de la taxe à l'écart entre le niveau effectif de l'emprunt et son objectif de long terme.

$$\tau_t^c = \tau_{t-1}^c + \lambda_1 \left((\tau_t^c)^{\text{cible}} - \tau_{t-1}^c \right) + \lambda_2 \frac{(P_{t-1}b_{t-1} + d_{c,t-1}) - (Pb + d_c)^{\text{cible}}}{y_t} \quad \forall \lambda_1, \lambda_2 \geq 0. \quad (12)$$

où la cible fiscale définie par $(\tau_t^c)^{\text{cible}} = \tau_0^c + \frac{\theta_{gt}}{P_{ct}}$, garantissant la soutenabilité de l'emprunt à long terme⁴. Pour l'analyse de scénario que nous menons par la suite, on prendra

4. Bu et al. (2012) autorisent également des transferts comme instrument d'ajustement, ce qui en fait un outil supplémentaire de politique permettant de combler le déficit fiscal. Alternativement, les transferts gouvernementaux pourraient servir à atténuer l'impact de la catastrophe sur les ménages confrontés à des contraintes de liquidité, bien que des ressources additionnelles soient nécessaires pour couvrir le déficit fiscal.

$\tau_t^c = \tau_0^c$ dans le cas où le gouvernement finance entièrement sa reconstruction par l'emprunt et $\tau_t^c = (\tau_t^c)^{\text{target}}$ lorsque le programme de reconstruction est entièrement financé par la fiscalité.

Ménage

L'économie est composée de deux types de ménages : les ménages ricardiens et ceux soumis à une contrainte de liquidité (respectivement notés r et c). Ces ménages consomment des biens échangeables produits localement $c_{x,t}$, des biens importés $c_{m,t}$, ainsi que des biens non échangeables domestiques $c_{n,t}$. Le panier de consommation est représenté par une fonction de type CES.

$$c_t^i = \left[\rho_x^\frac{1}{\epsilon} (c_{x,t}^i)^\frac{\epsilon-1}{\epsilon} + \rho_m^\frac{1}{\epsilon} (c_{m,t}^i)^\frac{\epsilon-1}{\epsilon} + (1 - \rho_x - \rho_m)^\frac{1}{\epsilon} (c_{n,t}^i)^\frac{\epsilon-1}{\epsilon} \right]^\frac{\epsilon}{\epsilon-1}, \quad \text{pour } i = r, c$$

où ρ_m et ρ_x sont des coefficients de pondération, et ϵ l'élasticité intratemporelle de substitution entre les biens de consommation échangeable et non échangeable. L'indice des prix à la consommation correspondant est donné par ⁵

$$P_t = \left[\rho_x P_{x,t}^{1-\epsilon} + \rho_m P_{m,t}^{1-\epsilon} + (1 - \rho_x - \rho_m) P_{n,t}^{1-\epsilon} \right]^\frac{1}{1-\epsilon}. \quad (2.5)$$

Les ménages ricardiens ⁶ sont confrontés à un problème d'optimisation intertemporelle.

$$\max \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \frac{(c_t^r)^{1-1/\varsigma_c}}{1-1/\varsigma_c}, \quad (2.6)$$

où β désigne le facteur d'actualisation et ς_c représente l'élasticité intertemporelle de substitution de la consommation. En plus de consommer des biens, ce ménage représentatif investit dans des capitaux privés échangeables et non échangeables (respectivement i_x et i_n), ce qui implique certains coûts d'ajustement.

$$\mathcal{AC}_{j,t}^r = \frac{\nu}{2} \left(\frac{i_{j,t}^r}{k_{j,t-1}^s} - \delta \right)^2 k_{j,t-1}^r$$

Le pays prélève une taxe sur les infrastructures publiques standards, notée μz^i ; il épargne via des obligations domestiques b ; et il achète de la dette étrangère b^* , laquelle est assortie d'un taux d'intérêt réel r^* ainsi que de coûts d'ajustement de portefeuille.

$$\Theta_t^{r*} \equiv \frac{\eta}{2} \left(b_t^{r*} - \bar{b}^{s*} \right)^2$$

5. Les ménages contraints par la liquidité ne supportent aucun coût pour l'utilisation de l'infrastructure publique.

6. Un ménage ricardien est un agent économique parfaitement rationnel qui optimise ses décisions de consommation et d'épargne dans le temps. Il a un accès libre aux marchés financiers et anticipe les revenus et impôts futurs.

où \bar{b}^* représente la valeur d'équilibre de la dette extérieure privée. Le gouvernement perçoit une taxe sur la valeur ajoutée (TVA), notée τ^c , appliquée à la consommation, qui concerne à la fois les ménages ricardiens et ceux contraints par la liquidité.

La contrainte budgétaire du ménage s'écrit comme suit :

$$\begin{aligned} & (1 + \tau_t^c)P_t c_t^t + \mu z_{t-1}^i + P_t b_t^t + (1 + r_{t-1}^*)b_{t-1}^{t*} + \Theta_t^{t*} + P_{k,t}(i_{n,t}^t + i_{x,t}^t + AC_{n,t}^t + AC_{x,t}^t) \\ & \leq w_t l_t^t + r_{n,t}^t k_{n,t-1}^t + r_{x,t}^t k_{x,t-1}^t + (1 + r_{t-1})P_t b_{t-1}^t + b_t^{t*} + \frac{1}{1+a}(\mathcal{R}_t + \mathcal{T}_t) + \Phi_t^t. \end{aligned} \quad (14)$$

Le côté revenu de cette contrainte budgétaire est composé d'un salaire d'emploi sur la main-d'œuvre fournie aux entreprises ; les intérêts r_x et r_N reçus des capitaux échangeables et non échangeables, respectivement ; les intérêts r reçus sur les obligations intérieures ; une fraction des transferts de fonds \mathcal{R} et des transferts publics \mathcal{T} correspondant à la part des ménages ricardiens sur le marché du travail⁷ ; ainsi que les bénéfices Φ_r de la propriété d'entreprises nationales. L'accumulation de capitaux privés qui s'amortit annuellement au taux δ_k , est donnée par

$$k_{j,t}^\tau = (1 - \delta_k)k_{j,t-1}^\tau + i_{j,t}^\tau \quad \text{for } j = n, x.$$

La solution au problème de maximisation contrainte du ménage donne l'équation d'Euler de la consommation

$$c_t^\tau = c_{t+1}^\tau \left[\beta(1 + r_t) \frac{1 + \tau_t^c}{1 + \tau_{t+1}^c} \right]^{-\sigma^c},$$

Et les conditions de non arbitrage exigent que les rendements du capital échangeable et non échangeable soient égaux au rendement des obligations domestiques.

$$\begin{aligned} (1 + v\Upsilon_{j,t}^\tau)(1 + r_t) \left[\frac{P_{t+1}}{P_t} \frac{P_{k,t}}{P_{k,t+1}} \right] &= \frac{r_{j,t+1}}{P_{k,t+1}} - \frac{v}{2}(\Upsilon_{j,t+1}^\tau)^2 \\ &+ v\Upsilon_{j,t+1}^\tau \left[\frac{i_{j,t+1}^\tau}{k_{j,t}^\tau} + (1 - \delta) \right] + (1 - \delta), \end{aligned} \quad (17)$$

où $\Upsilon_{j,t}^\tau = \left(\frac{i_{j,t}^\tau}{k_{j,t-1}^\tau} - \delta \right)$ pour $j = n, x$, et que le rendement des obligations domestiques est égal à celui de la dette extérieure privée :

$$(1 + r_t) \frac{P_{t+1}}{P_t} = \frac{(1 + r_t^*)}{[1 - \eta(b_t^* - \bar{b}^*)]}, \quad (18)$$

7. La fraction des ménages contraints par la liquidité dans l'économie est donnée par $a > 0$

où le taux d'intérêt réel sur la dette privée extérieure est défini par $r_t^* = r_{dc,t} + u$, où u représente une prime sur le taux d'intérêt réel de l'État sur la dette commerciale extérieure r_{dc} . Le paramètre η régit le niveau d'intégration du secteur privé aux marchés de capitaux internationaux⁸.

Les ménages contraints en liquidité ont les mêmes préférences que les ménages ricardiens, mais ils ne peuvent ni épargner ni emprunter sur les marchés financiers, qu'ils soient domestiques ou étrangers. En conséquence, leur consommation est contrainte à être égale à leur revenu issu des salaires, des transferts monétaires et gouvernementaux, tout en payant les mêmes taxes à la consommation que les ménages ricardiens, c'est-à-dire :

$$(1 + \tau_t^c)P_t c_t^c = w_t l_t^c + \frac{a}{1+a}(R_t + T_t). \quad (19)$$

8. η permet de représenter le cas dans lequel le pays dispose d'un compte de capital ouvert, avec un secteur privé capable d'emprunter aisément à l'étranger.

Conditions d'agrégation et d'équilibre du marché

En agrégeant les deux types de ménages et les entreprises, nous obtenons :

$$x_t = \sum_{i=\mathbf{r}, \mathbf{c}} \sum_{j=n, x} x_t^{j,t} \quad \text{pour} \quad x_t^{j,t} = c_{ij,t}, l_{ij,t}, i_{i,t}, k_{ij,t}, AC_{ij,t}, b_{i,t}, b_{i,*}, y_{j,t}, \Phi_{ij,t}.$$

Le marché du travail s'équilibre lorsque la demande de travail dans les secteurs échangeable et non échangeable est satisfaite par l'offre des deux types de ménages.

$$l_{x,t} + l_{n,t} = l_t^{\mathbf{r}} + l_t^{\mathbf{c}} = l_t.$$

La production domestique de biens non échangeables doit être égale à la demande en biens non échangeables, laquelle inclut l'investissement public et privé utilisé dans le processus de formation du capital public et privé non échangeable au niveau national, où a_k et a_z représentent respectivement le contenu non échangeable de ces investissements.

$$y_{n,t} = \rho_n \left(\frac{P_{n,t}}{P_t} \right)^{-\epsilon} = c_t + a_k(i_{n,t} + i_{x,t} + AC_{n,t} + AC_{x,t}) + a_{zi}i_{zi,t} + a_{za}i_{za,t}. \quad (22)$$

Enfin, la condition de la balance des paiements devant être respectée est donnée par :

$$\begin{aligned} \Delta b_t^* + \Delta dc_t + \Delta d_t + G_t + \mathcal{R}_t - \Delta s_t = & - \left[P_{n,t}y_{n,t} + P_{x,t}y_{x,t} - r_t^* b_{t-1}^* - \Theta_t^* \right. \\ & - r_{dc,t-1}dc_{t-1} - r_{dd,t-1}d_{t-1} + r^f s_{t-1} - P_t c_t \\ & \left. - P_{zi,t}i_{zi,t} - P_{za,t}i_{za,t} - P_{k,t}(i_{n,t} - i_{x,t} - AC_{n,t} - AC_{x,t}) \right]. \end{aligned} \quad (23)$$

où le membre de droite de l'équation (21) représente le déficit du compte courant, tandis que le membre de gauche correspond au compte de capital, c'est-à-dire à l'équilibre du compte courant :

$$ca_t = -\Delta b_t^* - \Delta dc_t - \Delta d_t - G_t - \mathcal{R}_t + \Delta s_t.$$

I.2 Hypothèses et scenarios

1 . Estimation des dommages liés aux catastrophes naturelles

Nombreux d'études ont montré que l'un des défis majeurs pour les décideurs après une catastrophe naturelle est de disposer d'informations réellement quantifiables sur l'ampleur des dommages subis par l'économie.

Malgré des recherches portant sur l'évaluation des pertes financières liées aux inondations pluviales (Joseph et al., 2014 ; Jenkins et al., 2016 ; Ke et al., 2016 ; Yang et al., 2018), cette estimation demeure un défi important pour les décideurs dans leur capacité à mesurer précisément ces dommages. De plus, la majorité des études existantes se limitent généralement à l'évaluation des pertes matérielles, notamment les biens et bâtiments, sans toujours considérer les effets économiques plus larges.

Messner et Meyer (2006) montrent que dans le cadre de la gestion des risques d'inondation, il est possible de classer les types de dommages liés aux inondations en plusieurs catégories :

- a. **Directs et tangibles** : ces dommages résultent du contact direct des eaux avec des infrastructures ou des biens et peuvent être exprimés en termes monétaires ;
- b. **Directs et intangibles** : les impacts non échangés sur un marché, beaucoup plus difficiles à évaluer en termes monétaires, et causés par l'action directe de l'inondation ;
- c. **Indirects et tangibles** : lorsqu'une activité est perturbée en raison de l'inondation, il est possible de la décrire en termes monétaires ;
- d. **Indirects et intangibles** : lorsqu'une activité est interrompue en raison de l'inondation, mais qu'il n'est pas possible de l'interpréter en termes monétaires.

À titre d'exemple, certains dommages ne sont pas explicitement pris en compte dans les différentes études portant sur les pertes potentielles considérées comme effets secondaires des inondations, tels que les coûts associés aux pertes en vies humaines et aux blessures.

Ces types de dommages posent un véritable défi en matière de quantification précise, ce qui justifie pourquoi ils n'ont pas été suffisamment explorés dans la littérature existante. Pourtant, ils représentent l'une des sources de pertes les plus importantes, tant sur le plan économique que social (Penning-Rowsell et al., 2005).

Cependant, une opportunité pour certains pays est de disposer d'un secteur financier développé : les informations sur les dommages sont parfois captées via les demandes d'emprunts post-catastrophe des ménages et entreprises. Cela pourrait apporter plus d'information pour l'estimation des dommages aux secteurs échangeables et non échangeables.

Hypothèse sur la simulation de l'inondation

Afin de simuler les impacts socio-économiques d'une inondation supposée survenir en 2027, nous formulons l'hypothèse que cette catastrophe naturelle présente des caractéristiques similaires à celles de l'inondation majeure survenue en 2024 à la suite de la crue du fleuve Sénégal. Cette hypothèse de symétrie nous permet de nous rapprocher des données observées en 2024 en termes d'ampleur des dommages, de pertes économiques, d'impact sur les infrastructures publiques et les ménages.

Il faut noter que les données sur les dommages liés aux inondations causées par la crue du fleuve Sénégal ne sont pas encore fournies de façon exhaustive par les structures en charge. De ce fait, des données exhaustives sur les dommages causés aux secteurs échangeables et non échangeables, ainsi qu'à la productivité des facteurs, ne sont donc pas disponibles.

Nous faisons l'hypothèse que l'inondation infligera des dommages réduisant la production de 2 % du PIB dans chacun des secteurs échangeables et non échangeables. En décomposant ces effets en trois canaux, nous supposons que cette catastrophe naturelle endommagera suffisamment le stock d'infrastructures publiques et de capitaux privés pour réduire chacun d'eux de deux points de pourcentage du PIB. Les dommages restants sont attribués à une baisse de la productivité totale des facteurs.

Le choc survenant en 2027, nous supposons que le gouvernement a immédiatement lancé le processus de reconstruction et mobilisé des fonds d'urgence. Donc la reconstruction commencera immédiatement après les secours apporté aux sinistrés et les infrastructures endommagées seront reconstruites d'ici fin 2030.

I.2.1 Scénario d'investissement

Afin d'observer la réaction de nos variables macroéconomiques suite au choc, nous effectuerons des projections allant de 2022 à 2040.

Nous supposons que le gouvernement avait déjà entrepris des investissements dans les infrastructures durant les cinq années qui ont précédé la catastrophe. Pour cela nous envisageons trois scénarios :

1. **Scénario de référence** : le gouvernement investit dans des infrastructures Standards, pour un montant équivalent à 0,5 % du PIB chaque année, financées par subventions et emprunts concessionnels.
2. **Scénario d'adaptation 1** : le gouvernement investit 0,5 % du PIB par an dans des infrastructures résilientes, financées également par subventions et emprunts concessionnels.
3. **Scénario d'adaptation 2** : 1 % du PIB est investi dans des infrastructures résilientes.

Ce scénario inclut des réformes améliorant de 20 points l'efficacité de l'investissement public, notamment à travers l'intégration systématique de l'évaluation climatique et des financements verts dans les processus de planification et de sélection des projets.

Pour chaque scénario, la même catastrophe naturelle est supposée se produire à l'année 6 (2027). Le gouvernement prévoit de reconstruire les infrastructures publiques à leur niveau initial en quatre ans. Il alloue un montant supplémentaire de 0,5 % du PIB en plus des investissements déjà entrepris pour soutenir la reconstruction, financé soit par impôt ou par emprunt.

I.3 Calibrage

Paramètres

Les données présentées ci-dessous servent de calibrage pour les paramètres et les valeurs initiales des variables endogènes. Certaines données déjà utilisées dans la revue de la littérature lors des études similaires reflétant les caractéristiques économiques typiques des pays à faible revenu d'Afrique subsaharienne ; d'autres en sont des données endogènes propres à l'économie sénégalaise. Le tableau 1 énumère la liste des paramètres liés aux caractéristiques des infrastructures publiques, et le tableau 2 également tirés des données du pays.

Tableau 1		
Définitions	Paramètres	valeurs
Taux d'investissement en infrastructures publiques par rapport au PIB (%)	$i_{zi,0}$	8,2
Taux d'investissement en infrastructures d'adaptation publiques / PIB (%)	$i_{za,0}$	0,0
Taux d'amortissement du capital public (infrastructure standard) (%)	δ_{zi}	7,5
Taux d'amortissement du capital public (adaptation) (%)	δ_{za}	3,0
Rendement initial de l'investissement dans les infrastructures standards (%)	$R_{zi,0}$	25,0
Rendement initial de l'investissement dans les infrastructures d'adaptation (%)	$R_{za,0}$	30,0
Frais d'utilisation des services d'infrastructure (en % des coûts récurrents)	μ	5,0
Efficacité de l'investissement public en infrastructures (%)	s_0	50,0
Paramètre d'échelle (capacité du capital d'adaptation à résister aux C.N.)	π_j	25,0
Coût de l'adaptation par rapport à l'infrastructure standard (%)	α_{za}	25,0
Source :		

TABLE 1 – Paramètres d'infrastructures publiques

Ratio investissement public en infrastructures/PIB : cette valeur, établie à 8,2% du PIB par la Banque mondiale en 2024, s'aligne aux travaux de Buffie et al. (2012) qui évaluent l'investissement initial en infrastructures à 6% du PIB, et reste proche de la moyenne de 6,09% observée en 2008 pour les pays à faible revenu d'Afrique subsaharienne (Briceño-Garmendia, Smits et Foster, 2008). Ce ratio englobe les investissements nets liés à la croissance tendancielle ainsi que les dépenses d'exploitation et de maintenance, ces dernières représentant en moyenne 3,4% du PIB dans les pays à faible revenu de la région.

Ratio des investissements dans les infrastructures publiques d'adaptation rapporté au PIB : les pays à faible revenu manquent souvent de données précises sur les dépenses publiques consacrées aux infrastructures d'adaptation. En raison de la faiblesse des infrastructures publiques résilientes face au changement climatique dans ces pays, ce ratio est par défaut considéré comme nul (0 %).

Taux d'amortissement du capital public (infrastructures standards) : les taux d'amortissement sont généralement plus élevés dans les pays à faible revenu que dans les économies avancées. En nous basant sur une valeur médiane issue de la littérature, nous

retenons un taux d’amortissement par défaut de 7,5 % pour les infrastructures publiques standards.

Taux d’amortissement du capital public (infrastructures d’adaptation) : les données empiriques sur les taux d’amortissement des infrastructures résilientes au changement climatique sont rares, notamment dans les pays à faible revenu. Toutefois, certains types de ces infrastructures pourraient se déprécier plus lentement que les infrastructures standards. Par exemple, des routes conçues pour résister aux intempéries pourraient mieux supporter l’usure saisonnière que des routes classiques. D’après la littérature, le taux d’amortissement par défaut retenu pour ce type d’infrastructure est de 3 %, en cohérence avec les estimations utilisées par Marto, Papageorgiou et Klyuev (2018) pour le Vanuatu, le FMI (2018) pour les Îles Salomon, et le FMI (2022) pour les Samoa.

Rendement initial des investissements dans les infrastructures standards : selon la Banque mondiale, le rendement médian de ses projets d’infrastructure, toutes sous-catégories confondues, varie entre 17 % et 31 % (Groupe d’évaluation indépendant, 2010). En Afrique subsaharienne, ce rendement médian était estimé à 20 % vers 2001, et oscillait entre 15 % et 29 % selon les types d’infrastructures (Buffie et al., 2012). En nous appuyant sur l’approche de Buffie et al. (2012), nous fixons la valeur par défaut du rendement des investissements dans les infrastructures standards à 25 % dans l’état d’équilibre initial.

Rendement initial des investissements dans les infrastructures d’adaptation : les rares données empiriques disponibles indiquent des taux de rendement très élevés pour les infrastructures d’adaptation. Cela s’explique par le faible niveau des infrastructures résilientes au climat dans les économies en développement et émergentes. Par exemple, le rendement initial de tels investissements a été estimé à 30 % pour les Samoa (FMI, 2022) et à 40 % pour les Îles Salomon (FMI, 2018). En adoptant une approche prudente, nous retenons un taux de rendement par défaut de 30 % pour les investissements d’adaptation, soit seulement 5 points de plus que celui appliqué aux infrastructures standards.

Frais d’utilisateur pour les services d’infrastructure : d’après Briceno-Garmendia, Smits et Foster (2008), les frais d’utilisateur couvrent en moyenne 50 % des coûts récurrents en Afrique subsaharienne. Marto, Papageorgiou et Klyuev (2018) supposent également que le gouvernement facture aux ménages la moitié de ses coûts, tout en soulignant une forte variabilité entre les pays. En suivant l’approche de Buffie et al. (2012) ainsi que celle du FMI (2018), nous retenons une hypothèse plus prudente, fixant les frais d’utilisateur pour les services d’infrastructure à un niveau plus bas, soit 5 %.

Efficacité de l’investissement dans les infrastructures publiques : selon Melina, Yang et Zanna (2014), l’efficacité de l’investissement public en Afrique subsaharienne est estimée à 50 %. Buffie et al. (2012) adoptent une hypothèse légèrement plus optimiste, fixant ce taux à 60 %. Nous retenons une valeur de 50 %, conforme aux estimations les plus couramment utilisées (Buffie et al. (2012)) pour la région.

Paramètre de mise à l'échelle mesurant la capacité du capital d'adaptation à atténuer les effets des catastrophes naturelles : l'ampleur avec laquelle un stock accru d'infrastructures d'adaptation peut réduire l'impact des catastrophes naturelles reste largement incertaine, et les estimations disponibles sont rares. L'une des rares études à proposer des données chiffrées, celle de Bresch (2014), indique que les investissements en infrastructures d'adaptation peuvent prévenir jusqu'à 65 % des pertes attendues dans les économies avancées. Cette étude cite également un exemple en Inde où un tel investissement permettrait d'éviter 50 % des pertes liées à une sécheresse potentielle. En nous basant sur ces résultats, nous adoptons une hypothèse selon laquelle un stock d'infrastructures d'adaptation équivalant à 5 % du PIB permettrait de réduire d'environ un tiers les dommages causés par une catastrophe naturelle.

Coût de l'adaptation comparé à celui des infrastructures standards : les gouvernements sont souvent moins enclins à investir dans les infrastructures d'adaptation, en partie parce qu'elles peuvent s'avérer plus coûteuses que les infrastructures classiques. Cela s'explique notamment par la nécessité de recourir à une main-d'œuvre plus qualifiée ou à des matériaux et équipements spécialisés. En cohérence avec la littérature (Cantelmo, Melina et Papageorgiou, 2019 ; Fernandez-Corugedo, Gonzales-Gomez et Guerson, 2022), nous supposons que le coût des infrastructures d'adaptation est 25 % plus élevé que celui des infrastructures standards.

Tableau 2		
Définitions	Paramètres	Valeurs
Variables endogènes		
Taux de croissance tendanciel par habitant en l'absence de C.N. (%) (2014-2018)	g	6,5
Ratio des revenus des ressources naturelles au PIB (%)	N_0	48,0
Ratio des importations au PIB (%)	I_0	37,5
Ratio travailleur non-épargnant / épargnant (NS/S)	α	60,0
Secteurs échangeables (T) et non-échangeables (NT)		
Part des intrants NT dans la production de capital public (%)	α_z	50,0
Part des intrants NT dans la production de capital privé (%)	α_k	50,0
Valeur ajoutée dans le secteur NT (%)	$VA_{n,0}$	48,0
Part du capital dans la valeur ajoutée du secteur T (%)	α_x	40,0
Part du capital dans la valeur ajoutée du secteur NT (%)	α_n	55,0
Taux de dépréciation dans le secteur T (%)	δ_x	7,5
Taux de dépréciation dans le secteur NT (%)	δ	3,0
Source		

TABLE 2 – Paramètres propres à l'économie

I.3.1 Calibrage : autres paramètres macroéconomiques

Taux de croissance tendanciel en l'absence de catastrophes naturelles : ce paramètre représente la croissance économique potentielle en l'absence de catastrophes

naturelles ou d'autres chocs exogènes. Nous prenons la valeur moyenne 2014 - 2018 qui est de l'ordre de 6,5%, qui se situe à un niveau légèrement supérieur aux taux de croissance généralement observés en Afrique subsaharienne.

Revenus tirés des ressources naturelles : en 2021, la part des revenus issus des ressources naturelles dans le PIB s'élevait à 4,4% selon la Banque mondiale.

Ratio des importations par rapport au PIB : pour le Sénégal, ce ratio est estimé à 37%, un niveau proche de la moyenne pré-COVID (38%) observée entre 2015 et 2019 dans les pays à faible revenu d'Afrique subsaharienne, d'après les données des Perspectives de l'économie mondiale du FMI.

Ratio des non-épargnants par rapport aux épargnants : nous définissons ce ratio de manière à ce que 60% des ménages soient contraints par des restrictions de liquidités, conformément à Buffie et al. (2012), qui indiquent que cette proportion est globalement cohérente avec les résultats d'enquêtes menées dans les pays à faible revenu.

Part des coûts des intrants non échangeables dans la production de capitaux publics : suivant l'approche de Marto, Papageorgiou et Klyuev (2018) ainsi que Buffie et al. (2012), nous fixons cette part à 50%. Buffie et al. (2012) démontrent que ce chiffre correspond aux données relatives au ratio entre les machines et équipements importés et l'investissement total.

Part des coûts des intrants non échangeables dans la production de capitaux privés : cette part est fixée à 50%, selon Buffie et al. (2012).

Valeur ajoutée dans le secteur non échangeables : la part de la valeur ajoutée dans les secteurs non échangeables est estimée à partir de l'agrégation sectorielle des activités non échangeables dans les comptes nationaux. Comme ces données sont disponibles pour de nombreux pays à faible revenu d'Afrique subsaharienne, nous adoptons l'estimation proposée par Marto, Papageorgiou et Klyuev (2018), qui fixe cette part à 48% dans le secteur des biens non échangeables.

Part du capital dans la valeur ajoutée des secteurs des biens échangeables et non échangeables : nous retenons une part du capital de 40% pour le secteur des biens échangeables et de 55% pour celui des biens non échangeables, selon Buffie et al. (2012). Ces valeurs correspondent aux médianes calculées pour l'Afrique subsaharienne à partir des données de la version 5 de la base du Projet d'analyse du commerce mondial.

Taux d'amortissement des capitaux dans le secteur des biens échangeables : comme l'indiquent Buffie et al. (2012), les données sur les taux d'amortissement dans ce secteur pour les pays à faible revenu sont rares. Ils fixent donc ce taux à 5%, valeur correspondant aux estimations des économies avancées. Nous adoptons la même hypothèse, en retenant un taux d'amortissement par défaut de 5% pour le capital dans le secteur des biens échangeables.

I.4 Calibrage sur les emprunts et d'autres sources de revenus au financement de la catastrophe

Ratios de la dette par rapport au PIB : les ratios de la dette publique intérieure, ainsi que des dettes extérieure concessionnelle, commerciale et privée extérieure, sont respectivement de 17,50%, 49%, 28% et 73,60% du PIB, selon les rapports publiés en 2023 par la DPEE-SEF et la DPEE.

Le gouvernement peut également bénéficier de deux autres sources de revenus publics : les subventions externes et les envois de fonds. Selon les données de la CNUCED en 2023, les envois de fonds des migrants représentaient 9,20% du PIB. Nous faisons l'hypothèse que le pays mobilise un montant équivalent pour financer la gestion des catastrophes. Quant aux subventions, elles sont estimées à 0,23% du PIB.

Taux d'intérêt : suivant Buffie et al. (2012), nous fixons par défaut le taux d'intérêt réel extérieur sans risque à 4%, une valeur couramment utilisée dans la littérature et proche des rendements réels historiques moyens des actions et des obligations du Trésor américaines à moyen terme (3 à 10 ans). Les taux d'intérêt réels intérieurs varient toutefois selon les pays et les périodes. Nous retenons un taux réel de 5% pour la dette intérieure, incluant une légère prime par rapport au taux sans risque extérieur, et un taux réel de 6% pour la dette commerciale extérieure publique, reflétant une prime de risque supplémentaire potentielle imposée par les créanciers privés étrangers.

Instruments fiscaux : à l'état d'équilibre, les taux de la taxe à la consommation et de l'impôt sur le revenu du travail, tels qu'indiqués dans le tableau 4, sont respectivement de 18% et 40%. La répartition des paramètres d'ajustement financier détermine si le gouvernement comble le déficit budgétaire en ajustant les transferts, la taxe à la consommation ou l'impôt sur le revenu du travail.

La part de la dette commerciale extérieure et de la dette intérieure dans l'ajustement de la dette publique détermine si le gouvernement finance l'écart budgétaire lié à la catastrophe principalement par la dette intérieure, la dette commerciale extérieure, ou une combinaison des deux.

Les paramètres de réaction budgétaire définissent l'intensité avec laquelle le gouvernement mobilise ces instruments financiers en cas d'aggravation du déficit budgétaire. Les valeurs attribuées à ces paramètres sont choisies en fonction des scénarios de politique de financement adoptés.

CHAPITRE III : Simulations et analyse des résultats

Dans cette section, il s'agira d'abord d'analyser de quelle manière le gouvernement pourrait répondre à une inondation en finançant son programme de reconstruction, soit par des recettes fiscales, soit par des emprunts intérieurs ou extérieurs. Ensuite, nous évaluerons les effets économiques à court et moyen terme d'un financement reposant sur la fiscalité. Enfin, nous étudierons l'impact de la reconstruction selon que le gouvernement investisse dans des infrastructures standards ou résilientes après la catastrophe naturelle.

I.1 Impact comparé du mode de financement (impôt et emprunt)

La survenue des inondations pourrait provoquer une destruction significative du capital public et privé. Pour mobiliser les ressources nécessaires à la reconstruction, le gouvernement peut soit augmenter les taxes sur la consommation et le revenu, soit recourir à l'emprunt, qu'il soit intérieur ou extérieur. Cette stratégie permet une reprise rapide sans appui additionnel de ses partenaires techniques et financiers. À l'issue de l'établissement du programme de reconstruction, plusieurs effets sont à noter. Bien que l'effet des deux modes de financement sur le PIB réel soit comparables, la hausse des impôts demeure plus dommageable pour les ménages que le recours à l'endettement.

À court terme, le gouvernement devrait relever le taux de la taxe sur la consommation de 18 % à environ 18,4 %, soit une hausse de 0,4 point de pourcentage, avant de le ramener à 18,1 % à moyen terme. Il convient de souligner qu'à partir de la sixième année suivant le choc, correspondant au lancement du programme de reconstruction, ce taux diminue de manière significative pour retrouver son niveau initial quatre ans plus tard. En revanche, le recours à l'emprunt ne semble exercer aucun effet sur les instruments fiscaux.

Parallèlement, le taux d'imposition sur le revenu devrait passer de 43 % à 43,4 % à court terme, soit une hausse de 0,4 point de pourcentage, puis se stabiliser autour de 43,1 % à moyen terme. À l'issue de la troisième année de reconstruction, cette pression fiscale diminue progressivement avec la fin du programme, pour revenir à son niveau initial dès la quatrième année, conformément à la stratégie gouvernementale de finaliser les travaux entre 2027 et 2030.

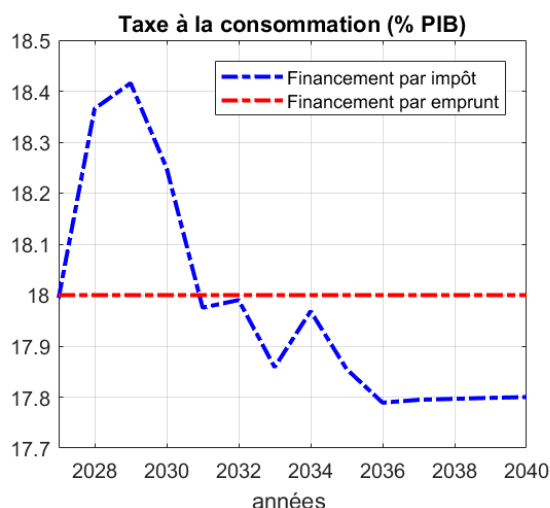


FIGURE 1 – Taxe à la consommation

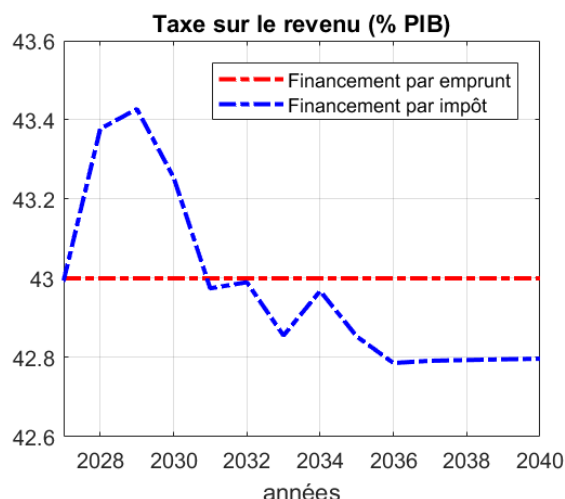


FIGURE 2 – Taxe sur le revenu

La figure 3 met en évidence l'effet différencié des modes de financement sur le déficit du compte courant. Il apparaît qu'un financement par la fiscalité induirait une hausse plus modérée du déficit à court terme, comparativement à un recours à l'emprunt. Avec un écart d'environ 0,13 %, le financement par impôt permettrait d'atténuer la détérioration du solde courant observée en période post-catastrophe. Toutefois, quelle que soit l'option retenue, le déficit du compte courant connaît une réduction progressive d'environ 0,4 %, jusqu'à se stabiliser dix ans après le choc.

Les dépenses publiques (figur 4) courantes affichent des trajectoires opposées selon le mode de financement retenu. Lorsqu'elles sont financées par la fiscalité, elles pourraient se contracter de 0,04 % du PIB au moment du choc, avant de croître dans le même ordre de grandeur par la suite. Le recours à la taxe sur la consommation et à l'impôt sur le revenu induit une reconfiguration des affectations budgétaires initiales.

À l'inverse, un financement par emprunt permettrait une augmentation immédiate des dépenses publiques courantes durant la catastrophe atteignant 6,04 %, suivie d'une diminution progressive pour reprendre son niveau initial à la période catastrophe. Cela s'explique par le renforcement temporaire des crédits budgétaires consécutif à l'emprunt, qui vient s'ajouter aux enveloppes de dépenses existantes.

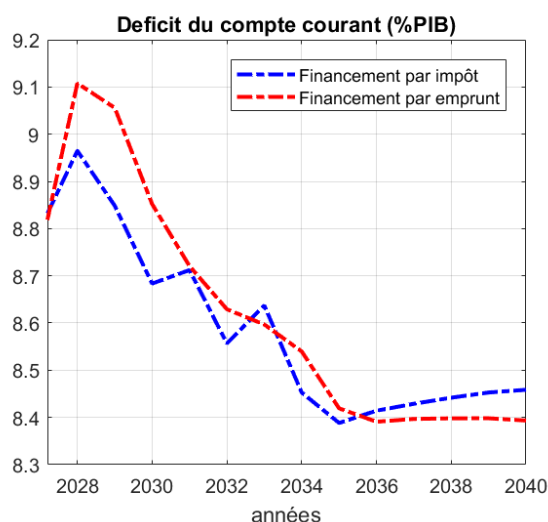


FIGURE 3 – Deficit du compte courant

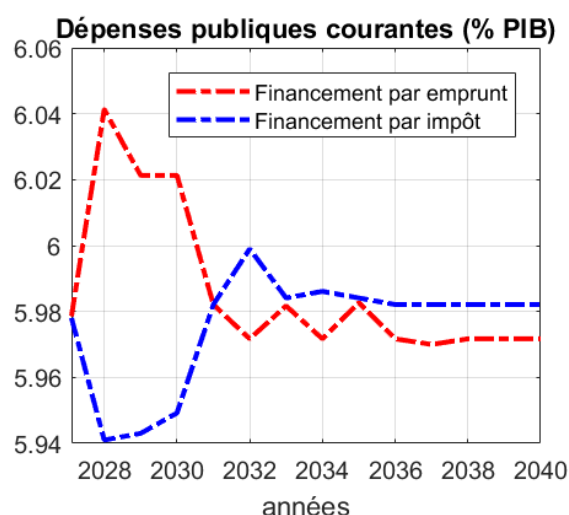


FIGURE 4 – Dépenses publiques courantes

I.2 Impact macro d'une reconstruction par fiscalité

Dans l'hypothèse d'un financement du programme de reconstruction par la mobilisation des recettes fiscales, la croissance de l'investissement privé (figure 5) subirait une contraction de l'ordre de 4% par rapport à son niveau initial au moment du choc. Toutefois, à mesure que le processus de reconstruction avance, cette dynamique s'inverserait progressivement, conduisant à une hausse de l'investissement privé dépassant 4% huit ans après le choc.

De manière analogue, le PIB réel (figure 6) enregistrerait un recul de plus de 1,5% à court terme, avant de croître de plus de 3% sur la période suivante. Ce résultat pourrait s'expliquer par le recours à un financement fiscal. En effet, cette mobilisation des ressources fondée sur une hausse des taxes à la consommation et sur le revenu, est susceptible de générer un effet d'éviction sur l'investissement et la consommation privés. Puisque, l'alourdissement de la charge fiscale réduit le revenu disponible des ménages et les marges des entreprises, limitant ainsi leurs capacités d'épargne, de consommation et d'investissement. Cette contraction de l'accumulation du capital privé constituerait donc le facteur déterminant de la baisse initiale du PIB réel observée après la catastrophe.

Les salaires réels et la consommation privée évolueraient selon une tendance similaire sous cette stratégie de financement. À la suite du choc, les salaires réels pourraient diminuer de 1,5% par rapport à leur niveau initial, avant de croître de plus de 3% au cours de la période post-catastrophe. Quant à la consommation privée (figure 8), elle enregistrerait une baisse de plus de 0,5% pendant la période du choc, puis amorcerait une reprise progressive pour atteindre une hausse de 2,2% au terme de cinq années.

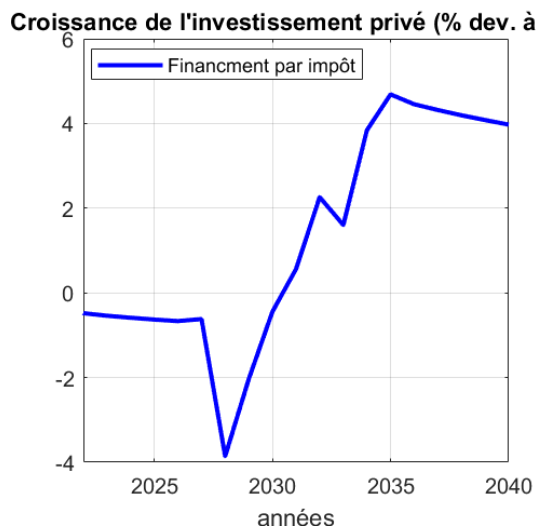


FIGURE 5 – Croissance de l'investissement privé

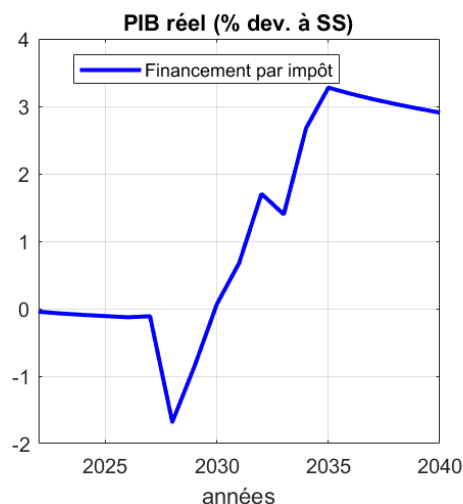


FIGURE 6 – PIB réel

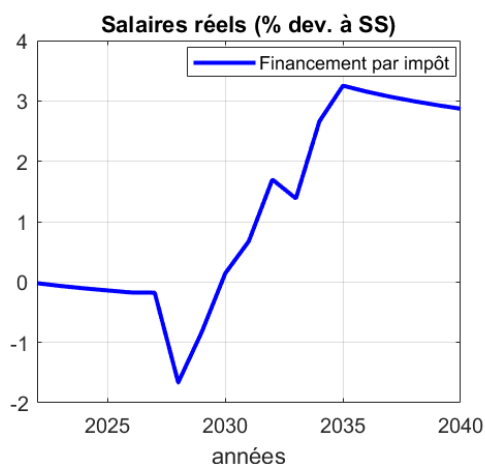


FIGURE 7 – Salaires réels

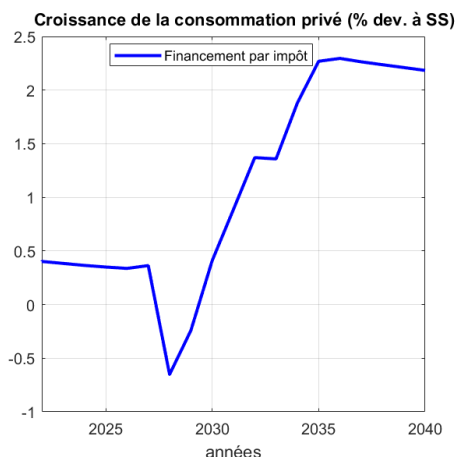


FIGURE 8 – Croissance de la consommation privée

I.3 Impact comparé des investissements en infrastructure standard et adaptation

Dans cette section, nous analysons les politiques préventives que le gouvernement aurait pu mettre en œuvre, avant la survenue des inondations. Il s'agit d'évaluer les effets directs et indirects d'une stratégie fondée sur l'investissement dans des infrastructures résilientes, financé par la fiscalité ou l'appui des donateurs.

Nous avons supposé que le gouvernement avait consacré 0,5% du PIB par an, durant les cinq années précédant les inondations, au développement d'infrastructures d'adaptation et standards.

Dans un contexte où il s'engage à respecter un calendrier de reconstruction sur quatre ans, une dynamique accélérée est enclenchée après la catastrophe, malgré la moindre

ampleur de destructions du capital public. Le lancement immédiat du programme de reconstruction a entraîné une hausse de l'investissement public en infrastructures.

Cette hausse s'est traduite par des acquisitions massives d'équipements, permettant non seulement de compenser les pertes subies, mais également de renforcer durablement le stock de capital physique en infrastructures.

La figure 9 met en évidence l'évolution soutenue du niveau d'investissement dans les infrastructures publiques au cours de la période considérée. Étant plus onéreuses, les infrastructures résilientes impliquent une capacité d'acquisition moindre à budget constant comparé aux infrastructures standards. Ainsi, un même effort d'investissement permettrait d'atteindre 9,5% du PIB pour les infrastructures standards, contre seulement 9% du PIB pour les infrastructures d'adaptation après trois ans. L'État gagnerait ainsi 0,5 point de pourcentage en volume d'infrastructures physiques en d'investissant dans les infrastructures standards. Cependant, ce gain quantitatif s'accompagne d'une plus grande vulnérabilité, puisque seules les infrastructures standards subiraient des dommages équivalents à environ 0,25 point de PIB après la catastrophe.

En revanche, les infrastructures résilientes, du fait de leur résistance aux chocs, ne subissent pas de pertes majeures. À moyen et long terme, ces dernières tendent à se stabiliser autour de leur niveau initial, notamment à l'issue du programme de reconstruction.

L'investissement préventif dans des infrastructures résilientes permet ainsi de limiter l'ampleur des dommages causés par les inondations sur le capital public, privé et la productivité totale des facteurs (PTF) au dans le secteur échangeable.

La figure 10 révèle une diminution moins marquée de la productivité totale des facteurs (PTF) lorsque le gouvernement oriente ses ressources vers l'acquisition d'équipements capables de réduire l'impact des catastrophes naturelles. À l'inverse, un investissement dans des infrastructures standards induit une dégradation plus importante de la PTF, avec une baisse pouvant atteindre environ 0,06 point de pourcentage, contre seulement 0,03 point de pourcentage dans le cas des infrastructures résilientes.

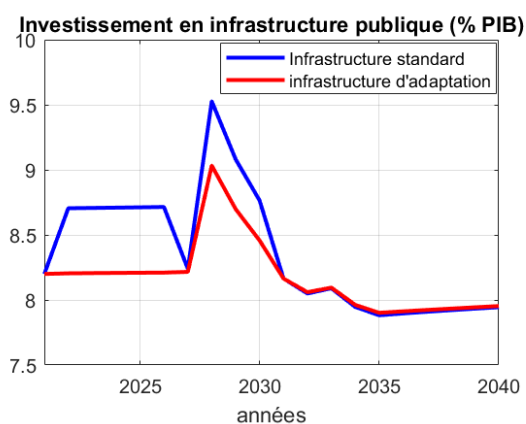


FIGURE 9 – Investissement en infrastructure publique

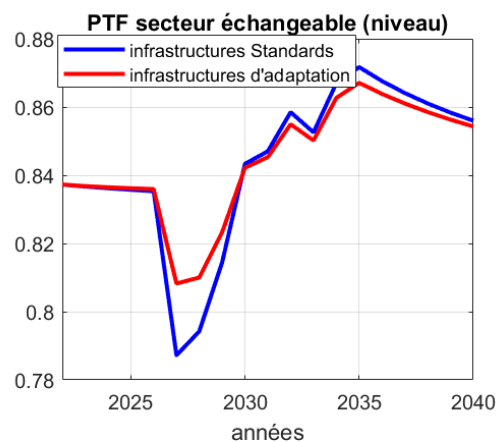


FIGURE 10 – PTF dans le secteur échangeable

Les effets relatifs à l'imposition, à la production nationale et aux salaires pourraient être atténués grâce à l'acquisition de capitaux résilients. Étant donné que le programme de reconstruction financé par l'impôt ou par emprunt nécessite un ajustement budgétaire, leur impact sur les investissements dans l'adaptation reste à nuancer.

Comme illustré par les Figure 11 et 12, lorsque le gouvernement choisit d'investir dans les infrastructures adaptées, il devait faire passer la taxe à la consommation de 18% à 18,29%, contre 18,41% s'il investit dans les infrastructures standards, soit un gain de 0,12 point de pourcentage. Dans le même temps, la taxe sur le revenu devrait passer de 43% à 43,29% s'il investit dans l'adaptation contre 43,43% dans les infrastructures standards, soit un gain de 0,14 point de pourcentage. Les infrastructures d'adaptation réduisent les dommages potentiels liés aux catastrophes naturelles, ce qui diminue le gap à combler en termes de moyens financiers pour la reconstruction post-catastrophe.

Au bout de quatre ans, notamment après le processus de reconstruction, les deux instruments fiscaux reviennent à leurs valeurs initiales pour se stabiliser à moyen terme.

De même, les Figures 13 et 14 montrent l'ampleur des dégâts sur les salaires réels et le PIB réel, et comparent les trajectoires : en bleu, les acquisitions en infrastructures standards, et en rouge, celles d'adaptation. Investir dans l'adaptation permettrait d'éviter une baisse du PIB réel et du taux de croissance des salaires réels suite à la catastrophe. Cependant, la période post-catastrophe est marquée par une croissance soutenue du PIB et du taux des salaires réels, atteignant plus de 3% chacun au bout de huit ans. Cette croissance serait beaucoup plus élevée si les infrastructures mises en place atténuent le choc. La croissance post-catastrophe obtenue pourrait être attribuée aux retombées des investissements renforcés en infrastructures standards et d'adaptation, réalisés par le gouvernement dans les années antérieures.

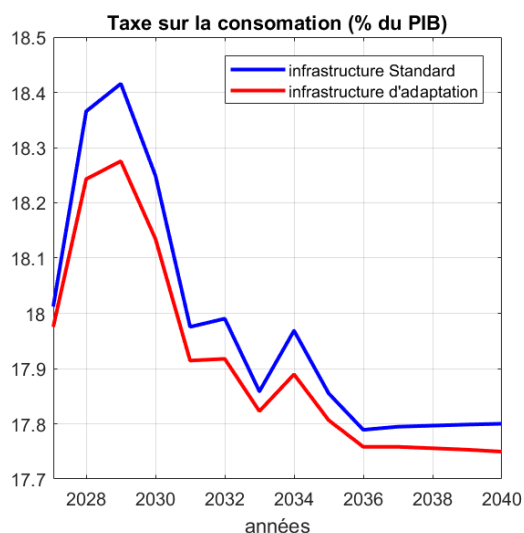


FIGURE 11 – Effets sur la taxe sur la consommation

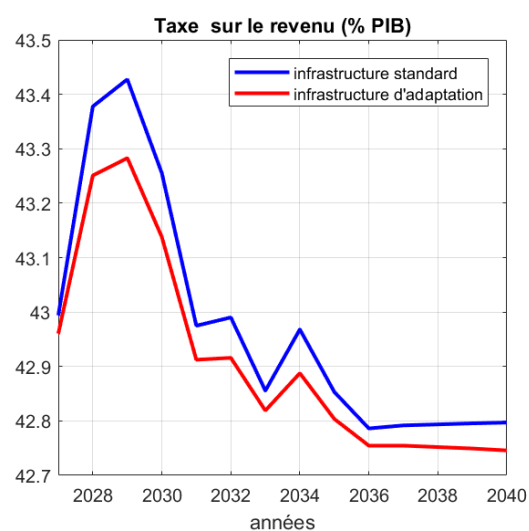


FIGURE 12 – Effets sur la taxe sur le revenu

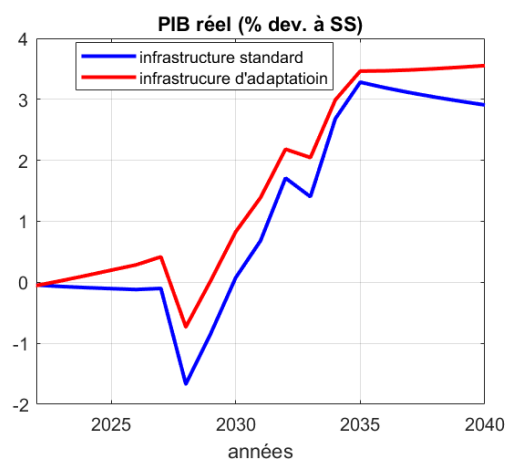


FIGURE 13 – Effets sur le PIB réel

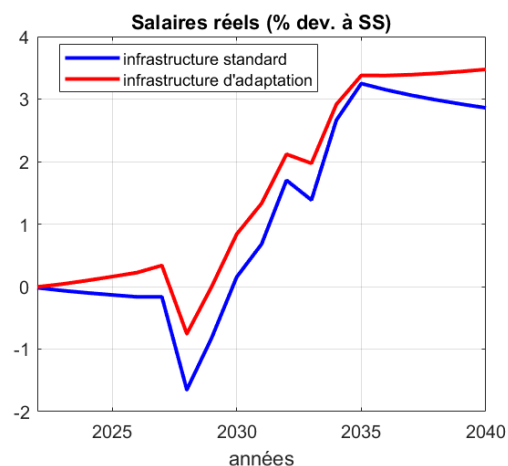


FIGURE 14 – Effets sur les salaires réels

Discussion

Une catastrophe naturelle, par sa nature imprévisible, pourrait engendrer un déséquilibre budgétaire que l'État serait contraint de combler. Si ce besoin de financement est couvert par une hausse des impôts et taxes, notamment sur la consommation et le revenu du travail, cela pourrait générer des effets différenciés selon les catégories de ménages. Bien que les ménages ricardiens et non ricardiens soient soumis à une imposition similaire, les ménages non ricardiens, qui n'ont pas accès aux marchés de capitaux, se trouveraient davantage exposés à cette pression fiscale.

À ce titre l'effet d'éviction fiscal n'impacte pas tous les agents économiques de manière uniforme. Les ménages ricardiens, anticipant le comportement future de la politique, pourraient ajusté leur épargne, ce qui limite la baisse de consommation et soutient la reprise économique. À l'inverse, les ménages non ricardiens, contraints par la liquidité, réduisent immédiatement leur consommation, subissant fortement les effets négatifs, avec un risque accru d'inégalités et de leur vulnérabilité économique. Quant aux petites et moyennes entreprises, la hausse des impôts réduisent leurs marges et freine leurs investissements, ce qui pourraient entraver la dynamique économique locale et retarder la reprise post-catastrophe.

Cependant, une fois la phase de reconstruction achevée, le PIB réel repart à la hausse grâce à l'amélioration du capital public et la reprise des activités. Celui-ci contribuerait à l'efficacité du capital privé, à la réduction des coûts de transaction, et à la stimulation de la productivité. Par effet d'entraînement, la reprise de l'investissement privé, la relance de la demande intérieure et l'amélioration des infrastructures essentielles pourraient soutenir l'emploi, favoriser la hausse des salaires réels et accélérer la croissance économique.

Dans le même sens, la taxe à la consommation et la taxe sur le revenu pourraient connaître une variation marginale après la reprise des activités. En effet, la croissance restant soutenue à la suite d'un investissement conséquent dans le secteur public et privé, une faible réduction des taxes favoriserait la relance rapide sans avoir un effet majeur sur les recettes fiscales.

En revanche, un financement de la reconstruction par emprunt serait susceptible d'accroître le déficit du compte courant. L'augmentation des importations liée aux besoins de reconstruction, conjuguée aux charges d'intérêts versées à l'étranger, pourrait peser lourdement sur la balance des paiements. À l'inverse, un financement par l'impôt mobiliserait des ressources domestiques et ne nécessiterait pas de transfert de revenus vers

l'extérieur, ce qui en ferait une option moins risquée au niveau externe.

Conclusion

En définitive, les catastrophes naturelles, en particulier les inondations, représentent aujourd'hui un défi majeur pour les économies en développement, tant par leur fréquence croissante que par leur ampleur destructrice. Le Sénégal, à l'instar de nombreux pays du Sahel, fait face depuis plusieurs décennies à une récurrence accrue des inondations, exacerbée par les effets du changement climatique, l'urbanisation non maîtrisée et l'insuffisance des infrastructures résilientes. Ces chocs naturels ont des répercussions économiques, sociales et institutionnelles profondes, qui justifient une approche de modélisation rigoureuse pour comprendre les mécanismes de transmission et identifier les leviers de résilience.

Ce travail a ainsi permis de simuler les impacts socioéconomiques des inondations sur l'économie sénégalaise à travers une modélisation DSGE calibrée au contexte national. La méthodologie adoptée, articulée autour de simulations de scénarios de financement post-catastrophe et d'investissement en infrastructures résilientes, a mis en lumière les dynamiques différenciées selon les politiques choisies. En particulier, le financement de la reconstruction par des hausses de la fiscalité, notamment la taxe sur la consommation et la taxe sur le revenu, pourrait entraîner un effet d'éviction fiscale sur l'investissement privé. Cet effet découle de la diminution du revenu disponible des ménages et de la rentabilité marginale du capital privé, ce qui réduit les incitations à investir et pèse sur la croissance économique à moyen terme.

En revanche, le financement de la reconstruction par emprunt permettrait de contenir l'effet d'éviction sur l'investissement privé en reportant la charge financière dans le temps. Même si cette option creuse le déficit budgétaire à court terme, elle préserve la dynamique de l'investissement privé et, par effet d'entraînement, favorise une reprise plus rapide de l'activité. Toutefois, cette stratégie suppose une gestion efficace des créances à rembourser pour éviter des déséquilibres macroéconomiques futurs.

L'étude souligne aussi l'importance cruciale de l'investissement dans les infrastructures résilientes. Non seulement ces infrastructures permettent de réduire les pertes directes en cas d'inondation, mais elles atténuent également les effets secondaires sur le PIB réel, les salaires et la productivité. À travers une amélioration de l'accessibilité, de la logistique et des services publics, elles augmentent la productivité des agents économiques, réduisent la vulnérabilité structurelle du pays aux chocs climatiques, et soutiennent la croissance inclusive à long terme.

En outre, la politique de résilience optimale ne repose pas sur une solution unique mais

sur une combinaison judicieuse de financements temporaires (emprunts), d'investissements ciblés dans le capital public, et d'une gouvernance adaptée de la gestion du risque climatique. Cela implique également une intégration plus systématique du risque d'inondation dans la planification budgétaire et urbaine, ainsi qu'une meilleure coordination entre les niveaux central et local de l'État.

Ce travail contribue ainsi à éclairer les arbitrages économiques que doit opérer le gouvernement sénégalais dans un contexte de rareté des ressources, d'instabilité climatique et de besoins sociaux croissants. Il montre que la résilience économique face aux inondations ne se limite pas à une réponse d'urgence, mais permet de mieux se préparer aux défis climatiques que traverse nos pays.

Une limite majeure rencontrée dans cette étude reste l'indisponibilité des données exhaustives sur les dommages. Malgré les hypothèses formulées sur les dommages causés à l'économie, surestimation ou une sous-estimation de ces dommages pourrait affecter les résultats.

Recommandations

- **Mettre en place des mécanismes de sensibilisation :**

La mise en place d'un système d'alerte précoce pour les inondations, accompagnée d'une sensibilisation ciblée des populations exposées, permettrait de limiter les pertes humaines et matérielles. Cette approche préventive renforce la résilience communautaire face aux chocs climatiques. Elle réduirait également les coûts économiques et budgétaires liés aux interventions d'urgence et à la reconstruction.

- **Privilégier un financement équilibré de la reconstruction :**

Le financement de la reconstruction post-inondation par la fiscalité permet d'éviter une hausse des charges fiscales publiques, mais peut générer un effet d'éviction fiscale nuisible à l'investissement privé. Il est recommandé d'opter pour une stratégie de financement mixte (emprunt + fiscalité modérée), en tenant compte de la capacité de remboursement et de la nécessité de maintenir un climat favorable à l'investissement.

- **Mettre en place des mécanismes d'accompagnement ciblés :**

Lorsqu'un financement par les impôts est inévitable, des mesures d'accompagnement doivent être prévues, notamment des transferts sociaux temporaires ou des exonérations ciblées pour les ménages vulnérables et les petites entreprises, afin d'atténuer les effets régressifs de la fiscalité.

- **Accélérer l'investissement dans les infrastructures d'adaptation :**

Comme le confirme les résultats, la mise en place des infrastructures d'adaptation (digues, systèmes de drainage, routes surélevées, bassins de rétention, etc.) sont plus efficaces que les infrastructures standards pour limiter les pertes économiques directes. Il est donc essentiel de renforcer la part du budget public consacrée à ces investissements dans les investissements dans les infrastructures adaptées, au climat.

- **Intégrer la résilience climatique dans la planification budgétaire :**

Il est recommandé d'institutionnaliser une budgétisation sensible au climat, en intégrant les risques liés aux inondations dans les cadres de dépenses à moyen terme, et en créant un fonds de réponse rapide aux catastrophes climatiques financé de manière anticipée.

- **Favoriser le financement innovant de la résilience :**

Le recours à des instruments comme les obligations vertes, les assurances souveraines contre les catastrophes naturelles, ou la mobilisation du financement climatique international

(Fonds vert pour le climat, GCF) permettrait de diversifier les sources de financement tout en allégeant la pression fiscale et budgétaire nationale.

Bibliographie

Wheater, H. (2006). Urban drainage : Flooding and environmental issues. *Philosophical Transactions of the Royal Society A : Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 364(1841), 1511–1525.

Schwarz, J., Cortekar, J., Wilhelmi, O., & Schaller, M. (2017). **Increased exposure of human populations to floods : An emerging global challenge.** *Environmental Research Letters*, 12(4), 044005.

Gemenne, F., Blocher, J., & de Longueville, F. (2017). **Changements climatiques, inondations et dynamiques migratoires en Afrique de l’Ouest.** In F. Gemenne (Ed.), *Atlas des migrations environnementales* (pp. 56–59). Presses de Sciences Po.

Jonkman, S. N. (2005). **Global perspectives on loss of human life caused by floods.** *Natural Hazards*, 34(2), 151–175.

Forero-Ortiz, E., & Martínez-Gomariz, E. (2020). **Analysis of urban flood impacts on critical infrastructures.** *Sustainability*, 12(17), 7123.

Summers, L. (2017). *Two Harvard Economists Debate Increased Infrastructure Investments*. 18 January 2017, pp. 1-4.

Smith, A. (1776). *An Inquiry into the Nature of the Wealth of Nations*. [trans.] Marxist.org. Random House, Inc., Oxford.

Keynes, J. M. (1937). The General Theory of Employment. *The Quarterly Journal of Economics*, 51(2), 209–223.

Auerbach, A. J., et Gorodnichenko, Y. (2012). Multiplicateurs budgétaires en période de récession et d’expansion. Dans *La politique budgétaire après la crise financière*, pp. 63–98. Presses de l’Université de Chicago.

Gorodnichenko, Y. (2013). Measuring the Output Responses to Fiscal Policy.

DeLong, J. B., Summers, L. H., Feldstein, M., et Ramey, V. A. (2012). La politique budgétaire dans une économie déprimée. *Brookings Papers on Economic Activity*, 233–297.

Abiad, A., Furceri, D. P., et Topalova. (2015). *The Macroeconomic Effects of Public Investment : Evidence from Advanced Economies*. IMF Working Paper, No. 15/95.

- Dubaniowski, M. I., et Heinimann, H. R. (2020). A framework for modeling interdependencies among households, businesses, and infrastructure systems. *Reliability Engineering and System Safety*, 203, 107063.
- Zhang, C., Fan, C., Yao, W., Hu, X., et Mostafavi, A. (2019). Les médias sociaux pour l'alerte en cas de catastrophe. *Revue internationale de gestion de l'information*, 49, 190–207.
- Holmberg, K., Bowman, S., Bowman, T., Didegah, F., et Kortelainen, T. (2019). What is societal impact and where do altmetrics fit ?
- Lindell, M. K., et Prater, C. S. (2003). Assessing community impacts of natural disasters. *Natural Hazards Review*, 4(4), 176–185.
- Hallegatte, S., Rentschler, J. E., et Rozenberg, J. (2019). *Lifelines : The Resilient Infrastructure Opportunity*, Vol. 2.
- Hasan, S., et Foliente, G. (2015). Modeling infrastructure system interdependencies in extreme events. *Natural Hazards*, 78(3), 2143–2168.
- Ishiwatari, M., et Sasaki, D. (2020). Bridging the gaps in infrastructure investment. *JICA Research Institute Working Paper*, (202), 1–35.
- Fekete, A. (2019). Infrastructures essentielles et résilience aux inondations. *WIREs Eau*.
- Ochsner, M., Palmqvist, C.-W., Olsson, N. O. E., et Hiselius, L. W. (2023). The effects of flooding on railway infrastructure. *Transportation Research Procedia*, 72.
- Borowska-Stefańska, M., Bartnik, A., Goniewicz, K., Kowalski, M., Sahebgharani, A., Tomalski, P., et Wiśniewski, S. (2023). Évaluation des réseaux routiers face aux inondations.
- Ouyang, M. (2014). Revue sur la modélisation des systèmes critiques interdépendants. *Ingénierie de la fiabilité et sécurité des systèmes*, 121, 43–60.
- Saidi, S., Kattan, L., Jayasinghe, P., Hettiaratchi, P., et Taron, J. (2018). Integrated infrastructure systems. *Sustainable Cities and Society*, 36, 1–11.
- United States. Department of Homeland Security. (2006). *National Infrastructure Protection Plan*. DIANE Publishing.
- Yang, Y., Tatano, H., Huang, Q., Liu, H., Yoshizawa, G., et Wang, K. (2021). Perturbations des infrastructures causées par les catastrophes. *Revue internationale de réduction des risques de catastrophe*, 52, 101988.
- Montoya-Rincon, J. P., Mejia-Manrique, S. A., Azad, S., Ghandehari, M., Harmsen, E. W., Khanbilvardi, R., et Gonzalez-Cruz, J. E. (2023). A socio-technical approach to

critical infrastructure. *Nature Energy*, 8(9), 1002–1012.

Loggins, R. A., et Wallace, W. A. (2015). Hurricane damage to civil infrastructure. *Journal of Infrastructure Systems*, 21(4), 04015005.

Gardoni, P., et Murphy, C. (2009). Capabilities-based approach to hazards impact. *Natural Hazards Review*, 10(2), 29–37.

S&P Global Ratings (2015). Standard & Poor’s Ratings Services Credit Definitions, Criteria and Methodology.

Kousky, C. (2014). Informing climate adaptation : A review of the economic costs of natural disasters. *Energy Economics*, 46, 576–592.

Lazzaroni, S., et van Bergeijk, P. A. G. (2014). Natural disasters’ impact, factors of resilience and development : A meta-analysis of the macroeconomic literature. *Ecological Economics*, 107, 333–346.

Anttila-Hughes, J. K., et Hsiang, S. M. (2013). Destruction, disinvestment, and death : Economic and human losses following environmental disaster. *University of San Francisco Working Paper*, No. 2013-02.

Groupe d’experts intergouvernemental sur l’évolution du climat (GIEC). (2014). *Changements climatiques 2014 : Rapport de synthèse. Contribution des groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d’évaluation du GIEC*. Genève, Suisse : GIEC.

Estrada, F., Botzen, W. J. W., et Tol, R. S. J. (2015). Economic losses from US hurricanes consistent with an influence from climate change. *Nature Geoscience*, 8(11), 880–884.

Felbermayr, G. J., et Gröschl, J. (2014). Naturally negative : The growth effects of natural disasters. *Journal of Development Economics*, 111, 92–106.

Hsiang, S. M. (2010). Temperatures and cyclones strongly associated with economic production in the Caribbean and Central America. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 107(35), 15367–15372.

Hsiang, S. M., et Jina, A. S. (2014). The causal effect of environmental catastrophe on long-run economic growth : Evidence from 6,700 cyclones. *NBER Working Paper*, No. 20352.

Ishiwatari, M., et Sasaki, D. (2020). Bridging the Gaps in Infrastructure Investment for Flood Protection in Asia. *JICA Ogata Sadako Research Institute Working Paper*, No.202.

[1] Esraz-Ul-Zannat, M., Dedekorkut-Howes, A., & Morgan, E. A. (2024). A review of nature-based infrastructures and their effectiveness for urban flood risk mitigation.

- Ishiwatari, M., et Sasaki, D. (2020). Bridging the Gaps in Infrastructure Investment for Flood Protection in Asia. *JICA Ogata Sadako Research Institute Working Paper*, No. 202.
- Mostafavi, A., Didegah, F., et Kortelainen, T. (2019). Complexity and interdependence in critical infrastructure systems. *Systems Engineering*, 22(2), 115–130.
- Lindell, M. K., et Prater, C. S. (2003). Critical infrastructure interdependencies in disaster response. *Journal of Infrastructure Systems*, 9(1), 1–10.
- Rinaldi, S. M., Peerenboom, J. P., et Kelly, T. K. (2001). Identifying, understanding, and analyzing critical infrastructure interdependencies. *IEEE Control Systems Magazine*, 21(6), 11–25.
- Dubaniowski, M. I., et Heinimann, H. R. (2020). Modeling societal impacts of infrastructure disruptions caused by disasters : A systems approach. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 50, 101718.
- Berz, G., Krüger, S., & Loster, T. (2001). Natural disasters in the 20th century : 2001 update. *Natural Hazards Review*, 2(3), 145–173.
- Drobot, S., Mason, R., & Tuttle, J. (2007). Hydrological impacts of extreme precipitation events in the United States. *Journal of Hydrology*, 347(1-2), 256–269.
- Nielsen, J. E., et al. (2011). Assessing flood hazards and risks to infrastructure in Europe. *Environmental Science & Policy*, 14(6), 659–669.
- Tarolli, P., Sofia, G., & Dalla Fontana, G. (2013). Human topographic signatures and derived geomorphic processes. *Geomorphology*, 194, 1–14.
- Surian, N., Rinaldi, M., & Comiti, F. (2016). Effects of extreme hydrological events on river morphology and infrastructure. *Geomorphology*, 267, 32–48.
- Fekete, A. (2019). Flood impacts and damage assessment : Challenges and methods. *Journal of Flood Risk Management*, 12(S1), e12482.
- Ochsner, N. O. E., Winslott Hiselius, L., et al. (2022). Flood impacts on railway infrastructure : A review of damage mechanisms and economic consequences. *Transportation Research Part D : Transport and Environment*, 108, 103331.
- Abegaz, B. A., et al. (2024). Impacts of extreme rainfall events on urban drainage systems and transportation infrastructure : A case study. *Journal of Infrastructure Systems*, 30(1), 04023001.
- Aribisala, A. (2022). Flood impacts on housing structures and displacement : A review. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 72, 102788.

- Maruyama, A., Rentschler, J. E., et Rozenberg, J. (2019). Shock Waves : Managing the Impacts of Climate Change on Poverty. *World Bank Group*, Washington, DC.
- Hasan, S., et Foliente, G. (2015). Probabilistic risk assessment of infrastructure systems under extreme events. *Journal of Risk and Reliability*, 229(2), 123–134.
- Ouyang, M. (2014). Review on modeling and simulation of interdependent critical infrastructure systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 121, 43–60.
- Hettiaratchi, P., et Taron, J. (2018). Cascading failures in critical infrastructure systems : Concepts, models and analysis. *Infrastructure Systems Journal*, 24(3), 04018014.
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). (2019). *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2019 : Examen des approches d'évaluation de l'impact des inondations pour les infrastructures souterraines en milieu urbain : un focus sur les systèmes de transport*. Genève : UNDRR.
- Borowska-Stefańska, M., et al. (année). Localized risks such as floods and urban inundations cause significant damage to infrastructure. *Titre de la publication*, volume(numero), pages.
- Department of Homeland Security. (2006). *Transportation Systems Sector-Specific Plan*. Washington, DC.
- Wang, K., et al. (2021). Impacts of urban flooding on road transport networks : A case study. *Transportation Research Part D : Transport and Environment*, 90, 102659.
- Gonzalez-Cruz, J. E., et al. (2023). Flood-related mortality associated with urban roadways : A systematic review. *Journal of Urban Health*, 100(1), 34–46.
- Smith, A. (1776). *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*. London : W. Strahan and T. Cadell.
- Keynes, J. M. (1937). The general theory of employment. *The Quarterly Journal of Economics*, 51(2), 209–223.
- Barro, R. J. (1990). Government spending in a simple model of endogenous growth. *Journal of Political Economy*, 98(5), S103–S125.
- Summers, L. (2017, January 18). Two Harvard Economists Debate Increased Infrastructure Investments. *Bloomberg Opinion*. Retrieved from <https://www.bloomberg.com/opinion/articles/2017-01-18/two-harvard-economists-debate-increased-infrastructure-investments>
- Chakamera, C., et Alagidede, P. (2018). Infrastructure and economic growth in Sub-Saharan Africa : A heterogeneous panel analysis. *Economic Modelling*, 69, 230–240.

- Munim, Z. H., et Schramm, H. (2018). Port reliability, logistics performance and economic growth : Evidence from panel data. *Transportation Research Part E : Logistics and Transportation Review*, 112, 64–79.
- Roberts, P., Shyam, K., et Rastogi, C. (2006). Rural transport and accessibility. In *Rural Access Index : A Key Development Indicator* (pp. 15–30). World Bank.
- Banque mondiale. (2019). *Rural transport and accessibility : Challenges and solutions*. Washington, DC : World Bank.
- Nakamura, S., et al. (2019). Rural road development and household welfare : Evidence from Ethiopia. *Journal of Development Economics*, 139, 197–213.
- Kebede, E. (2021). The impact of rural road expansion on agricultural incomes : Evidence from Ethiopia. *Agricultural Economics*, 52(4), 577–590.
- Gachassin, M., et al. (2015). Road access and economic activities : Evidence from Cameroon. *World Development*, 67, 452–463.
- Dorosh, P., et al. (2012). Transport costs and agricultural productivity in Sub-Saharan Africa. *Food Policy*, 37(3), 254–263.
- Auerbach, A. J., et Gorodnichenko, Y. (2012). Fiscal multipliers in recession and expansion. *Fiscal Studies*, 34(2), 152–187.
- Gorodnichenko, Y. (2013). Fiscal policy and economic growth : Lessons from recession and expansion. *Journal of Economic Perspectives*, 27(4), 141–166.
- DeLong, J. B., et al. (2012). The effects of public investment on economic growth and debt dynamics. *NBER Working Paper No. 18330*.
- Congressional Budget Office. (2016). The macroeconomic effects of federal investment. Washington, DC : CBO.
- Abiad, A., et al. (2016). Public investment and growth : The role of fiscal space. *IMF Working Paper WP/16/61*.

ANNEXE

Tableau 3	
Définitions	Paramètres
Dettes	
Ratio de la dette publique intérieure au PIB (%)	b_0
Ratio de la dette publique concessionnelle au PIB (%)	d_0
Ratio de la dette publique extérieure commerciale au PIB (%)	$d_{c,0}$
Ratio de la dette extérieure privée au PIB (%)	b_0^*
Ratio de l'épargne dans le fonds de secours au PIB (%)	b_0^*
Autres sources de financement public	
Ratio des subventions au PIB (%)	G_0
Ratio des transferts de fonds (%)	R_0
Taux d'intérêt	
Taux d'intérêt réel sur la dette publique intérieure (%)	r_0
Taux d'intérêt réel sur la dette publique extérieure commerciale (%)	$r_{dc,0}$
Taux d'intérêt réel étranger sans risque (%)	r^f
Source :	

TABLE 3 – Paramètres d'emprunt et du taux d'intérêt

Tableau 4	
Définitions	paramètres
Taxe sur la consommation (TVA) (%)	h
Taux d'imposition sur le revenu du travail (%)	h_l
Part de l'ajustement budgétaire - Transferts (%)	λ
Part de l'ajustement budgétaire - Taxe sur la consommation (%)	λ_h
Part de l'ajustement budgétaire - Impôt sur le revenu du travail (%)	λ_{hl}
Part de l'ajustement de la dette publique (commerciale extérieure et intérieure) (%)	u
Terme de l'instrument de politique - TVA sur la consommation (%)	λ_1
Terme de dette - TVA sur la consommation (%)	λ_2
Terme de l'instrument de politique - Transferts (%)	λ_3
Terme de dette - Transferts (%)	λ_4
Terme de l'instrument de politique - Impôt sur le revenu du travail (%)	λ_5
Terme de dette - Impôt sur le revenu du travail (%)	λ_6
Source :	

TABLE 4 – Paramètres d'instrument fiscaux

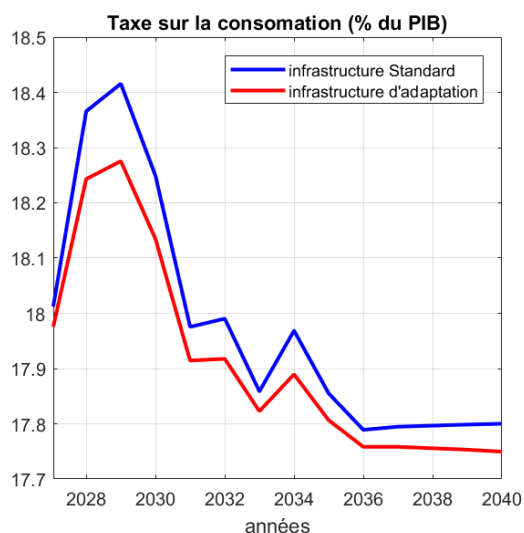


FIGURE 15 – Effets sur la taxe sur la consommation

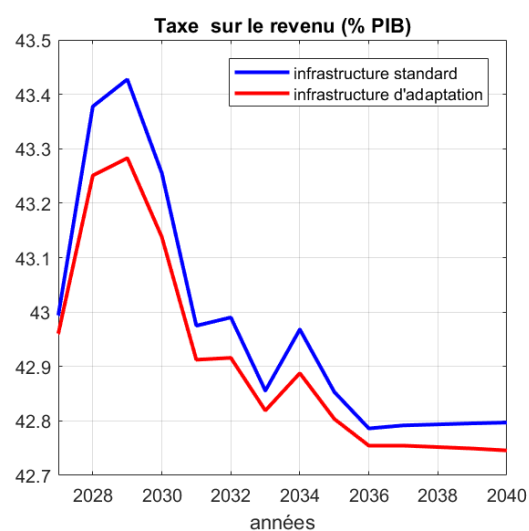


FIGURE 16 – Effets sur la taxe sur le revenu

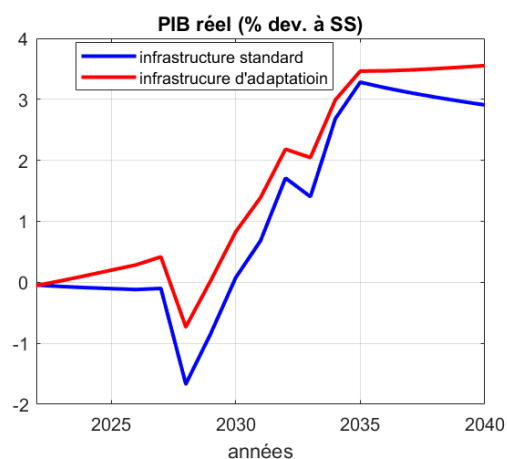


FIGURE 17 – Effets sur le PIB réel

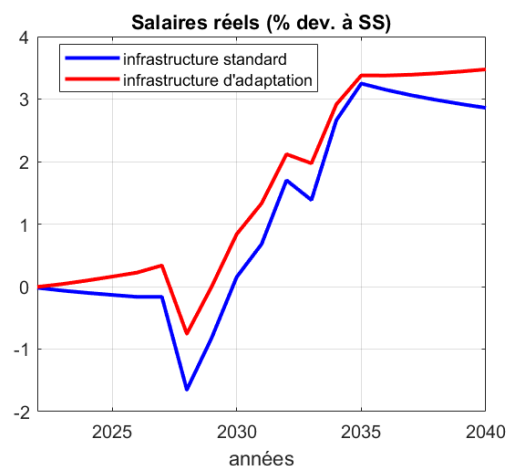


FIGURE 18 – Effets sur les salaires réels

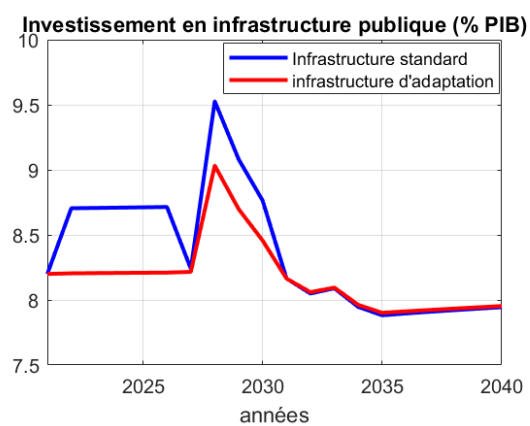


FIGURE 19 – Investissement en infrastructure publique

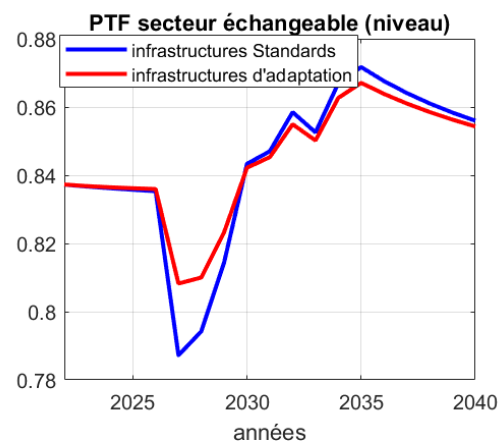


FIGURE 20 – PTF dans le secteur échangeable

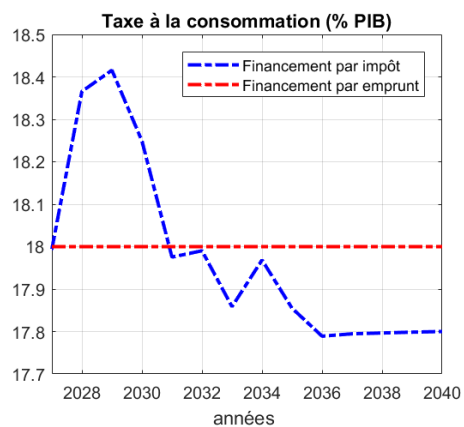


FIGURE 21 –

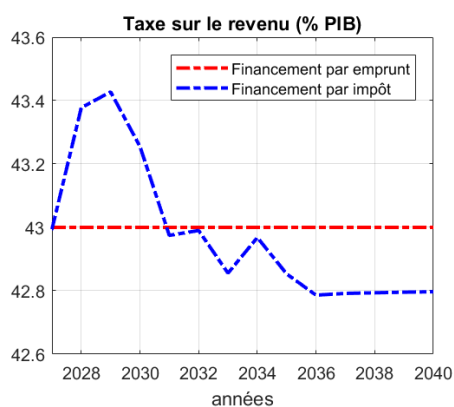


FIGURE 22 –

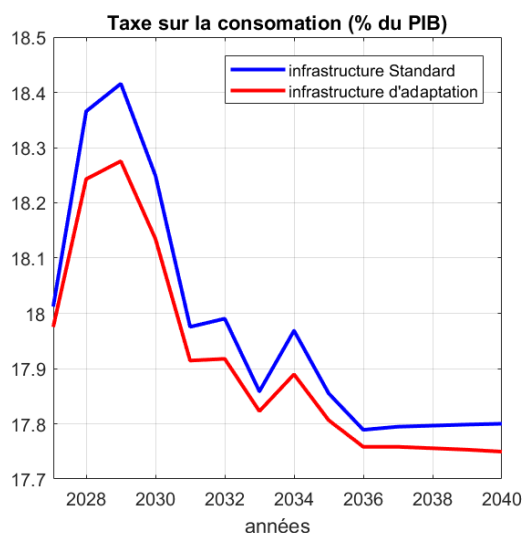


FIGURE 23 – Effets sur la taxe sur la consommation

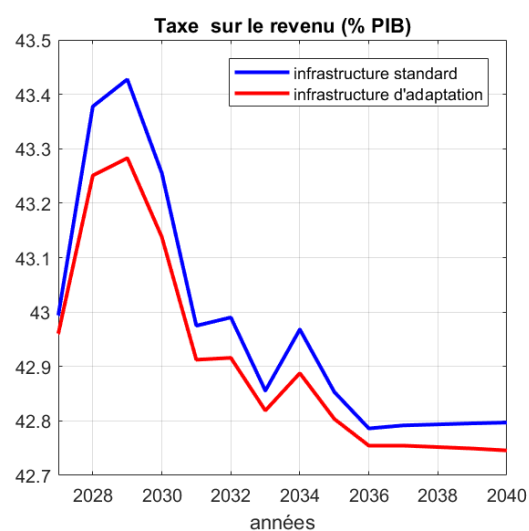


FIGURE 24 – Effets sur la taxe sur le revenu

Taux de dépréciation dans le secteur T	delta_x	5,0%
Taux de dépréciation dans le secteur NT	delta_n	5,0%
Élasticité intertemporelle de substitution	tau	0,34
Inverse de l'élasticité de Frisch de l'offre de travail	phhi	100,0
Détermine la sévérité de la contrainte de capacité d'absorption dans le secteur public	phi	0,0
Paramètre de coût d'ajustement de portefeuille	eta	100%
Prime de risque sur la dette publique	etag	0,0
Externalités d'apprentissage du capital dans le secteur NT	xi_n	0,0
Externalité d'apprentissage de la production du secteur T échangeable	sigma_x	0,0
Externalité d'apprentissage de la production du secteur NT non échangeable	sigma_n	0,0
Ratio de l'élasticité du secteur NT à l'infrastructure sur celle du secteur T à l'infrastructure	nxpsi	1,0
Élasticité-q de Tobin de la dépense d'investissement	omega	2,4

FIGURE 25 – Tableau de calibration – suite

Description des paramètres	Paramètres	Valeurs
Investissement en infrastructures publiques en pourcentage du PIB	izi	8,2%
Investissement en infrastructures d'adaptation en pourcentage du PIB	izay	0,0%
Taux de taxe sur la consommation (TVA)	ho	18,0%
Taux d'imposition sur le revenu du travail	hlo	43,0%
Dettes publiques intérieures en pourcentage du PIB	share_b	17,5%
Dettes publiques concessionnelles en pourcentage du PIB	share_d	49,0%
Dettes commerciales extérieures publiques en pourcentage du PIB	share_dc	28,0%
Dettes extérieures privées en pourcentage du PIB	share_bstar	73,6%
Taux d'intérêt réel sur la dette publique intérieure	ro	5,0%
Taux d'intérêt réel sur la dette commerciale extérieure publique	r_dco	6,0%
Subventions en pourcentage du PIB	share_grants	1,6%
Revenus des ressources naturelles en pourcentage du PIB	oilro	0,0%
Envois de fonds en pourcentage du PIB	share_remit	9,2%
Importations en pourcentage du PIB	imp2gdp	37,5%
Épargne publique en pourcentage du PIB (utilisée uniquement pour le fonds de secours)	Savo	10,0%
Taux de croissance /habitant en l'absence de catastrophes naturelles (2014-2018)	g	6,5%
Valeur ajoutée dans le secteur non-échangeable (NT)	VA_n	48,0%
Rapport NS/S - Rapport de la main-d'œuvre non épargnante (NS) à la main-d'œuvre épargnante (S)	a_ratio	60,0%
Efficacité de l'investissement public en infrastructure	s_o	50,0%
Part des intrants NT dans la production de capital privé	alpha_k	50,0%
Part des intrants NT dans la production de capital public	alpha_z	50,0%
Part du capital dans la valeur ajoutée du secteur échangeable (T)	alpha_x	40,0%
Part du capital dans la valeur ajoutée du secteur non échangeable (NT)	alpha_n	55,0%
Paramètre d'échelle déterminant la capacité du capital d'adaptation à résister aux catastrophes naturelles	ppi_nd_n	25,00
Ratio de coût d'adaptation vs investissement standard [l'adaptation est % plus coûteuse que le standard]	a_z	25,0%
Rendement initial standard sur les investissements en infrastructure	R_zio	25,0%
Rendement initial sur l'investissement en infrastructure d'adaptation	R_zao	30,0%
Taux de dépréciation du capital public (infrastructure standard)	delta_zi	7,5%
Taux de dépréciation du capital public (infrastructure d'adaptation)	delta_z	3,0%
Vitesse de reconstruction de l'infrastructure publique standard	pgamma_zi	0,5
Vitesse de rétablissement de l'efficacité de l'investissement public	pgamma_s	0,5
Vitesse de reprise de la productivité du secteur échangeable	pgamma_ax	0,5
Vitesse de rétablissement de la prime de risque pays	pgamma_rdc	0,5
Frais d'utilisation des services d'infrastructure (% des coûts récurrents)	fo	5%
Répartition du paramètre d'ajustement budgétaire - Transferts	lambda	20,0%
Répartition du paramètre d'ajustement budgétaire - Taxe sur la consommation	lambda_h	40,0%
Répartition du paramètre d'ajustement budgétaire - Impôt sur le revenu du travail	lambda_hl	40,0%
Part de la dette publique répartie entre dette commerciale extérieure et intérieure	upsilon	50,0%
Paramètre de réaction budgétaire (instruments politiques) - TVA sur la consommation	lambda1	8,0%
Paramètre de réaction budgétaire (termes de la dette) - TVA sur la consommation	lambda2	8,0%
Paramètre de réaction budgétaire (instruments politiques) - Transferts	lambda3	8,0%
Paramètre de réaction budgétaire (termes de la dette) - Transferts	lambda4	8,0%
Paramètre de réaction budgétaire (instruments politiques) - Impôt sur le revenu du travail	lambda5	8,0%
Paramètre de réaction budgétaire (termes de la dette) - Impôt sur le revenu du travail	lambda6	8,0%
Taux d'intérêt sans risque à l'étranger (r^f)	rstar	4,0%

FIGURE 26 – Tableau de calibration initiale

Table des matières

Décharge	1
Dédicace	2
Remerciement	3
Avant-propos	4
Liste des sigles et abréviations	5
Liste des tableaux et graphiques	6
SOMMAIRE	8
Résumé	10
Abstract	11
Introduction	12
1 Chapitre I : Historique des inondations au Sénégal, cadre conceptuel et revue de la littérature	15
.	15
I.1 Historique des inondations au Sénégal	15
I.2 Cadre conceptuel	17
I.3 Revue de littérature (théorique et empirique)	20
2 CHAPITRE II : Méthodologie, hypothèses et Calibrage	28
.	28
I.1 Méthodologie	28
I.2 Hypothèses et scénarios	43
I.2.1 Scénario d’investissement	44
I.3 Calibrage	46
I.3.1 Calibrage : autres paramètres macroéconomiques	48
I.4 Calibrage sur les emprunts et d’autres sources de revenus au financement de la catastrophe	50
3 CHAPITRE III : Simulations et analyse des résultats	51
.	51

I.1 Impact comparé du mode de financement (impôt et emprunt)	51
I.2 Impact macro d'une reconstruction par fiscalité	53
I.3 Impact comparé des investissements en infrastructure standard et adaptation	54
Discussion	58
Conclusion	60
Recommandations	62
Bibliographie	64
ANNEXE	70