



Diagnostic des facteurs de fragilité climatique et environnementale des paysages de collines du Burundi ; Vers un plan d'investissement multisectoriel pour renforcer la résilience climatique au Burundi.



Climate
Centre



AN INITIATIVE OF
THE NETHERLANDS
RED CROSS



Lutter contre la fragilité, le changement climatique et la dégradation des sols :

Diagnostic des facteurs de fragilité climatique et environnementale des paysages de collines du Burundi ; Vers un plan d'investissement multisectoriel pour renforcer la résilience climatique au Burundi.

Rapport final sur les services consultatifs et analytiques de la Banque mondiale (ASA)

© 2022 Banque Internationale pour la reconstruction et le développement
La Banque mondiale
1818 H Street NW
Washington DC 20433
Téléphone : 202-473-1000
Site Internet: www.worldbank.or

Droits et Autorisations :

Les documents utilisés dans ce rapport sont soumis au droit d'auteur. Comme la Banque mondiale encourage la diffusion de ses connaissances ; ce rapport peut être reproduit, en totalité ou en partie, à des fins non commerciales, à condition d'en mentionner la source.

Crédit photo de couverture :

Photo de Couverture conçue par Rebeka Ryvola (Centre climatique de la Croix-Rouge et du Croissant-Rouge).

Veillez citer ce rapport comme suit :

" Diagnostic des facteurs de fragilité climatique et environnementale des paysages de collines du Burundi- Lutter contre la fragilité , le changement climatique et la dégradation des terres ; Vers un plan d'investissement multisectoriel pour accroître la résilience climatique au Burundi". Un rapport des Services consultatifs et analytiques (ASA) de la Banque mondiale.

Tall, A., Dampha, N., Ndayiragije, N., Von Berg, M., Raina, L. et Manirambona, A. (2022).

Principaux partenaires :



REPUBLIQUE DU BURUNDI



Institutions contributrices :



Remerciements

Ce rapport est une publication conjointe de la Banque mondiale et du gouvernement du Burundi. Il a été élaboré dans le cadre du programme de services consultatifs et d'analyse sur la fragilité climatique et environnementale du Burundi (SAEE3), financé par le PROGREEN et exécuté par la Banque mondiale, sous la supervision générale de Africa Eshogba Olojoba (Practice Manager, SAEE3), Veronique Kabongo (Country Manager Burundi de la Banque mondiale) et Jean-Christophe Carret (Country Director).

Le rapport a été rédigé par une équipe de travail de la Banque mondiale dirigé par le Dr Arame Tall, spécialiste principal de l'environnement, Adaptation et résilience climatiques (chef d'équipe), et composé par Dr Nfamara K. Dampha (consultant principal en changement climatique), Nina Nicole Ndayiragije (consultante nationale), Maximilien Von Berg (consultant en fragilité), d'Alexis Manirambona (spécialiste de l'environnement), Leela Raina (économiste de l'environnement) et de Michelle Sandrine Nininahazwe (assistante de programme). La Banque mondiale est redevable à deux équipes de scientifiques et de chercheurs chargées de réaliser le travail de modélisation, pour l'élaboration des nouvelles conclusions sur les risques climatiques, fonciers et de fragilité du Burundi présentées dans ce rapport : le Centre climatique de la Croix-Rouge et du Croissant-Rouge, en collaboration avec l'Initiative 510 de la Croix-Rouge néerlandaise et l'Université du Cap, a réalisé le travail de modélisation climatique pour le Burundi et a développé la méthodologie INFORM pour la cartographie des points chauds de risques combinés liés au climat, aux terres et aux conflits (sous la direction de Dr. Catalina Jaime, Izidine Pinto, Angelina Savchuk, Stefania Giodini, Liz Stephens, Lisa van Aardenne, Jasmijn Suidman, Cornelia Scholz, Laura Hielkema, Léonard Ntakirutimana et Jamon Van Den Hoek) ; enfin, le Natural Capital Project de l'Université de Stanford (sous la direction du Dr. Adrian L. Vogl), en collaboration avec l'Université de São Paulo (Dr. Jorge Leon) et l'Université du Burundi, a produit la modélisation des risques de dégradation des terres au Burundi, et l'analyse du potentiel des solutions basées sur la nature. Le Dr. Nfamara Dampha a développé le modèle d'inondation. Chacune des équipes scientifiques a produit des rapports de résultats approfondis accessibles sur la plateforme de connaissances de l'ASA.

L'équipe remercie les collègues intersectoriels suivants pour leur précieuse contribution à la réalisation de ce rapport : Mona Sur, Hubert Maurice Waterinckx, Ephrem Niyongabo, Alexis Kacou, Andrianina Noro Rafamatanantsoa, Benjamin Billard, Christian Vang Eghoff, Peter Taniform, Izabela Leao, Megha Mukim, Pierre Guigon, Pierre Jacques Lorillou et Urvashi Narain. Le rapport a bénéficié des contributions substantielles de Marion Davis (éditeur).

L'équipe du gouvernement du Burundi était placée sous la direction générale de Son Excellence le Dr Deo Guide Rurema (PhD), ministre de l'Environnement, de l'Agriculture et de l'Élevage, et comprenait les directeurs généraux suivants du ministère de l'Environnement, de l'Agriculture et de l'Élevage du Burundi : Prosper Dodiko (Président du Comité de pilotage national du projet PROGREEN), Berchmans Hatungimana (DG OBPE), Clément Ndikumasabo (DG MAVAE), Diomède Ndayirukiye (DGPATI & PPF), Augustin Ngenzirabona (DG IGEBU), Félicien Nyorobeka (DGEREA), Jeanne Francine Nkuzimana, et Jérémie Nkinahatamba (membres du Comité de pilotage), et Odette Kayitesi (Coordinatrice nationale du projet BLRRP).

Nous remercions également nos collègues de l'Institut Géographique du Burundi (IGEBU) pour leur examen approfondi, leurs commentaires critiques et la mise à disposition des données disponibles au niveau national qui ont été utilisées pour produire ce rapport final. Les experts de l'IGEBU ayant participé à l'élaboration du rapport sont Juliette Bukuru Juliette, Rénovat Ntahizaniye, Claude Nkurunziza, Xavier Ndikumana, Désiré Baranyikwa, Thomas Barwihigire, Sylvestre Ntibwunguka et Ruben Barakiza.

Les services d'ASA sur le climat et la fragilité du Burundi a également développé un e-book numérique interactif, une plateforme de connaissances et une carte narrative pour servir de dépôt à source ouverte pour enrichir les données qui ont émergé de l'ASA. Le livre électronique et la base de connaissances ont été soutenus par le service d'assistance Disruptive KIDS (Knowledge, Information & Data Services), sous la direction de Nagaraja Rao Harshadeep (Harsh) qui a guidé le travail de Nfamara K. Dampha et Hrishikesh Patel.

Enfin, le travail présenté dans ce rapport a été rendu possible grâce au soutien généreux du Fonds fiduciaire PROGREEN (TF0B5755), un fonds fiduciaire multi-donateurs qui soutient les efforts des pays pour améliorer les moyens de subsistance tout en s'attaquant au déclin de la biodiversité, à la perte de forêts, à la détérioration de la fertilité des terres et aux risques croissants tels que les feux de forêt incontrôlés, qui sont exacerbés par le changement climatique.

Table des matières

Remerciements.....	iii
INTRODUCTION	1
CONTEXTE DE L'ÉTUDE	3
DONNÉES ET MÉTHODES	6
Partie 1b. Modélisation du risque relatif d'inondation au Burundi.....	10
RÉSULTATS : ÉVOLUTION ACTUELLE ET PROJECTION FUTURE DU CLIMAT AU BURUNDI	14
Température.....	14
Précipitations.....	18
Inondations.....	23
Glissements de terrain.....	24
Érosion des Sols.....	27
RÉSULTATS : IMPACTS SECTORIELS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE AU BURUNDI	29
Secteur Environnemental et Forestier.....	31
Secteur Agricole.....	33
Secteur des Infrastructures.....	34
Secteur de la Santé.....	35
Secteur de l'Eau et de la Pêche.....	39
Fragilité, Conflits et Violence (FCV).....	40
RÉSULTATS : ZONES SENSIBLES À RISQUES MULTIPLES	41
Indicateurs multiples d'aléas et d'exposition.....	44
Indicateurs de vulnérabilité.....	45

Manque de capacité d'adaptation	48
RECOMMANDATIONS	49
Secteur des Infrastructures.....	51
Fragilité, Conflits et Violence (FCV)	52
CONCLUSION	57
RESSOURCES NUMÉRIQUES INTERACTIVES	58
1. L'accès à la carte narrative https://angelinarc.github.io/Burundi_hotspots/	58
a. Version française https://spatialagent.org/BurundiClimateLandscapeFr/	58
DOCUMENTATION ADDITIONNELLE	59
Annexe 8. 347 collines les plus vulnérables aux changements climatiques et à la fragilité au Burundi ..	67
REFERENCES	89

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

RE5: Cinquième Rapport d'Évaluation du GIEC	9
ASA: Services d'Analyse et de Conseil	ii, iii, 4, 5, 6, 45
CHIRPS: Données groupées sur les risques climatiques et les précipitations recueillies par les stations de thermographie infrarouge	9, 17, 18, 21, 53, 54, 55, 56
CORDEX: Expérience Régionale Coordonnée de Réduction d'Échelle	9, 10, 30, 35, 50, 73
ITC: Indice Topographique Composé	10, 53
MNE: Modèle Numérique d'Élevation	10, 53, 54, 55
Disruptive KIDS: Services de Connaissances, d'Informations et de Données	iii
MCM: Modèles Climatiques Mondiaux	9, 10
PIB: Produit Intérieur Brut	3, 29
FEM: Fonds pour l'Environnement Mondial	4
SIG: Système d'Information Géographique	10, 33, 34, 73, 74, 76
TMGS: Température Moyenne Globale de Surface	14
PDI: Personnes Déplacées à l'Intérieur de leur pays	37, 57
IGEBU: Institut Géographique du Burundi	iii, 9, 16, 19, 20
InVEST: Évaluation Intégrée des Services Ecosystémiques et Compromis	11, 25, 26, 74
OIM: Organisation Internationale pour les Migrations	22
GIEC: Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat	7, 9, 14, 73, 74
SFN: Solutions fondées sur la nature	11, 24, 27, 31, 32, 45, 46, 49, 56
CDN: Contribution Déterminée au niveau National	45, 72
IVDN: Indice de Végétation par Différence Normalisé	10, 53
PRCPTOT: Précipitations totales annuelles moyennes	18, 21
MCR: Modèles Climatiques Régionaux	9

SDR: Taux de livraison de sédiments InVEST _____	11, 25, 26, 54
SMCE: Analyse Spatiale Multicritère _____	10, 22
SWY: Apport d'Eau Saisonnier InVEST _____	11, 54, 55, 56
TNn: Températures minimales quotidiennes annuelles _____	14, 17
TXx: Températures maximales quotidiennes annuelles _____	14, 17
OCHA: Bureau des Nations Unies pour la Coordination des Affaires Humanitaires _____	22

INTRODUCTION

Le Burundi, pays enclavé connu comme le pays des mille collines, est l'un des pays en voie de développement et figure parmi les pays les plus densément peuplés d'Afrique. 83,4% de ses 11,6 millions d'habitants (soit 9,7 millions de personnes) vivent actuellement sous le seuil de pauvreté (estimations 2019). Le changement climatique exacerbe la pauvreté et la fragilité au Burundi. Ses paysages de collines abritent plus de 90% de la population majoritairement rurale (en majorité des femmes et des jeunes) dépendant de secteurs sensibles au climat tels que l'agriculture, les ressources en eau et forestières pour leurs moyens de subsistance.

Le Burundi est vulnérable sur le plan climatique et environnemental, mais les possibilités d'adaptation restent faibles par rapport aux initiatives et moyens d'adaptions encourus pour faire face au changement climatique. Au niveau mondial, le Burundi a les plus faibles émissions de gaz à effet de serre (GES) par habitant, se classant 188^e sur 188 pays et ne contribuant qu'à 0,01% des émissions mondiales. 47% de ces émissions proviennent du secteur agriculture, 45% du secteur énergie et le reste du secteur déchet (3^{ème} communication nationale sur les changements climatiques, 2019). Bien que ses émissions soient insignifiantes, le Burundi subit directement le fardeau des impacts des émissions mondiales et se classe 171^e sur 181 pays dans l'indice mondial d'adaptation de Notre Dame (Indice ND-GAIN, 2016) en rapport avec la vulnérabilité climatique. Le Burundi est le 14^e pays le plus vulnérable* et le 17^e pays le moins prêt†. Les impacts clés du changement climatique à ce jour se manifestent déjà au Burundi par une augmentation des glissements de terrain, des inondations pluviales et fluviales le long des rives du lac Tanganyika, des précipitations extrêmes et une variabilité météorologique accrue avec une alternance d'inondations et des sécheresses. Même si le pas à franchir est grand, le Burundi a mené des activités et programmes pour atténuer ces impacts ; il s'agit entre autre l'aménagement des bassins versants ; le reboisement à travers le programme national Ewe Burundi Urambaye ; la protection des sources d'eau et des zones tampons ; la restauration des zones dénudées sans oublier l'exploitation et substitution du bois de chauffage pour lutter contre le déboisement des collines.

* La vulnérabilité mesure l'exposition, la sensibilité et la capacité du pays à faire face aux effets négatifs du changement climatique en tenant compte de la vulnérabilité dans six secteurs vitaux : alimentation, eau, services écosystémiques, santé, habitat humain et infrastructures.

† L'état de préparation mesure la capacité d'un pays à tirer parti des investissements et à les convertir en mesures d'adaptation en tenant compte de l'état de préparation économique, social et en matière de gouvernance.

L'économie du Burundi est dominée par le secteur primaire – qui représente près de la moitié de son produit intérieur brut (PIB) et près de 80% de ses recettes d'exportations. En revanche, le secteur secondaire (industrie et artisanat) ne représente que 17-18% du PIB, et le secteur tertiaire ne représente qu'environ le tiers du PIB. La structure de production actuelle, dominée par l'agriculture de subsistance, rend l'économie très vulnérable aux risques environnementaux et aux impacts du changement climatique, en raison de sa dépendance aux ressources naturelles. Par exemple, la consommation d'énergie électrique au Burundi ne s'élève qu'à 25 kWh/personne/an, ce qui ne représente que 4% dans le bilan énergétique.

Au Burundi, les impacts du changement climatique exacerbent la vulnérabilité socio-économique, physique et environnementale. Les impacts du changement climatique, la pauvreté, et la forte dépendance aux ressources naturelles constituent également un multiplicateur de risques pouvant conduire à des conflits fonciers et à des déplacements forcés de populations locales.

Malgré les effets connus du climat au Burundi, il reste d'importantes lacunes dans les connaissances et les données relatives aux paysages de colline du Burundi en rapport avec la dynamique des risques liés au climat, les interactions et les impacts sectoriels des risques liés au changement climatique. Avant cette analyse, on en savait moins sur la vulnérabilité relative des divers sous-groupes démographiques, des infrastructures critiques à risque et des actifs productifs tels que la terre et l'eau les plus exposés à de multiples risques d'origine climatique tels que les glissements de terrain, les inondations, les sécheresses, l'érosion des sols, etc. De même, on sait peu de choses sur le taux de dégradation aiguë des terres, de la déforestation, de l'épuisement des ressources naturelles et des menaces existentielles liées au climat en tant que multiplicateur de risques de conflit foncier conduisant à des déplacements forcés. Enfin, les risques liés au climat tels que les inondations, les glissements de terrain, les sécheresses, les vagues de chaleur constituent des menaces existentielles pour de multiples secteurs au Burundi, notamment l'agriculture, l'élevage, la pêche, l'environnement, les écosystèmes, la santé, la foresterie, l'énergie, les infrastructures, l'habitat et la gestion des ressources hydriques, et il y a un besoin urgent de comprendre l'amplitude des impacts actuels et attendus sur ces secteurs.

Le Gouvernement du Burundi a exprimé sa vision de lutte contre le changement climatique comme étant "un État qui promeut un développement résilient aux effets néfastes du changement climatique"². Au niveau institutionnel, le Ministère de l'Environnement, de l'Agriculture et de l'Élevage, à travers ses départements et institutions personnalisées s'occupe des questions relatives au changement climatique au Burundi.

En 2018, la Banque mondiale a initié des interventions fondées sur l'approche paysagère au Burundi à travers (a) le Projet de Restauration et de Résilience du Paysage du Burundi (30 millions de dollars, P160613, 2018-2023) couvrant 22 collines, et (b) le Financement Additionnel du FEM par le FOLUR (6 millions de dollars, P171745, 2021-2023) qui a étendu les activités de restauration du paysage et de résilience communautaire du projet parent à 9 collines de la province de Kayanza. Ensemble, les deux

projets ne devraient couvrir que 31 collines au total d'ici 2023. Il est nécessaire d'étendre les activités de restauration du paysage et de résilience climatique aux 2 608 collines restantes du Burundi.

En réponse, une nouvelle étude des Services d'Analyse et de Conseil (ASA) exécutée par la Banque mondiale visant à diagnostiquer les facteurs de fragilité climatique et environnementale du Burundi (ci-après dénommée Services d'Analyse et de Conseil sur le climat et la fragilité du Burundi) éclairera la voie à suivre pour une telle mise à l'échelle à travers toutes les collines du Burundi et plaidera pour une mobilisation d'investissements à grande échelle pour la restauration du paysage et la résilience climatique au Burundi. Ce travail est financé par le fonds fiduciaire du projet PROGREEN. Les Services d'Analyse et de Conseil (ASA) sur le climat et la fragilité du Burundi comporte trois activités principales, résumées au Graphique 1 ci-dessous.

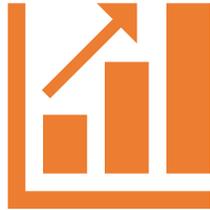
Pour exécuter les Services d'Analyse et de Conseil (ASA) sur le climat et la fragilité du Burundi, la Banque mondiale, avec l'appui du projet Natural Capital de l'Université de Stanford, du Centre du Changement Climatique de la Croix-Rouge et du Croissant-Rouge) et de l'équipe des experts nationaux – a réalisé une analyse solide des risques climatiques actuels et futurs, de la vulnérabilité socio-économique et de la fragilité environnementale dans les paysages de collines du Burundi.

Ce rapport de synthèse combine les résultats de trois rapports techniques préparés par ces équipes. Notez que ce rapport synthétise et résume les descriptions des données, les méthodologies et les principaux résultats des études. Les méthodologies et résultats techniques détaillés se trouvent dans les deux rapports complémentaires (voir Banque mondiale, 2021, Rapport Technique 1³ et 2⁴).

CONTEXTE DE L'ÉTUDE

Les Services d'Analyse et de Conseil (ASA) sur le climat et la fragilité du Burundi a pour objectif d'établir une base de données probantes et de faciliter la recherche d'un consensus avec les parties prenantes nationales et internationales, afin de plaider en faveur d'une mise à l'échelle des investissements dans les collines du Burundi en vue de répondre aux besoins prioritaires de restauration du paysage et de résilience communautaire face aux impacts climatiques croissants ([Graphique 1](#)).

Objectif: Les Services d'Analyse et de Conseil (ASA) sur le climat et la fragilité du Burundi établira une base de données probantes et facilitera la recherche d'un consensus avec les parties prenantes, afin de plaider en faveur d'une mise à l'échelle des investissements dans les collines du Burundi en vue de répondre aux besoins prioritaires de restauration du paysage et de résilience communautaire face aux impacts climatiques croissants.



Activité 1. Diagnostiquer les Facteurs de Fragilité au Niveau des Paysages dans les Collines du Burundi (d'ici septembre 2021)

Analyse multirisque des impacts distributifs du risque composé du changement climatique, de la dégradation de l'environnement et de la fragilité dans les collines du Burundi, selon des scénarios climatiques et des évaluations de vulnérabilité/risque à l'horizon 2025, 2030 et 2050

Projections des impacts climatiques à court/moyen/long terme et des risques de conflit au niveau des collines (secteurs : agriculture, infrastructures, services forestiers/écosystémiques) ; Évaluation des risques d'érosion des sols et de glissements de terrain ;

Identification de solutions d'atténuation des risques et de solutions fondées sur la nature



Activité 2. Éclairer le plan d'investissement multisectoriel pour s'attaquer aux facteurs de fragilité dans les paysages de collines du Burundi (d'ici à décembre 2021)

Facilitation de la validation et de la priorisation des options d'investissement au niveau des collines par la communauté.

Examen des options d'investissement et hiérarchisation des investissements à l'aide de modèles de Natural Capital

Contribution analytique à l'élaboration du plan d'investissement par le Gouvernement du Burundi : "Développer la résilience par une relance verte : Un Plan d'Investissement pour la restauration du paysage et la résilience climatique communautaire post-COVID-19 au Burundi".



Activité 3. Mobilisation des ressources et alignement sur le CPF du GBM (jusqu'en juin 2022)

Identification des sources de financement à travers le financement public/privé pour mettre en œuvre les investissements prioritaires

Contributions analytiques à la table ronde des partenaires au développement du Gouvernement du Burundi (y compris les partenaires des Nations Unies)

Éclairer le développement stratégique du portefeuille du GBM et l'alignement du portefeuille du pays pour intégrer les besoins d'investissement prioritaires identifiés

Graphique 1. Composantes du Projet, Services d'Analyse et de Conseil (ASA) sur le climat et la fragilité du Burundi

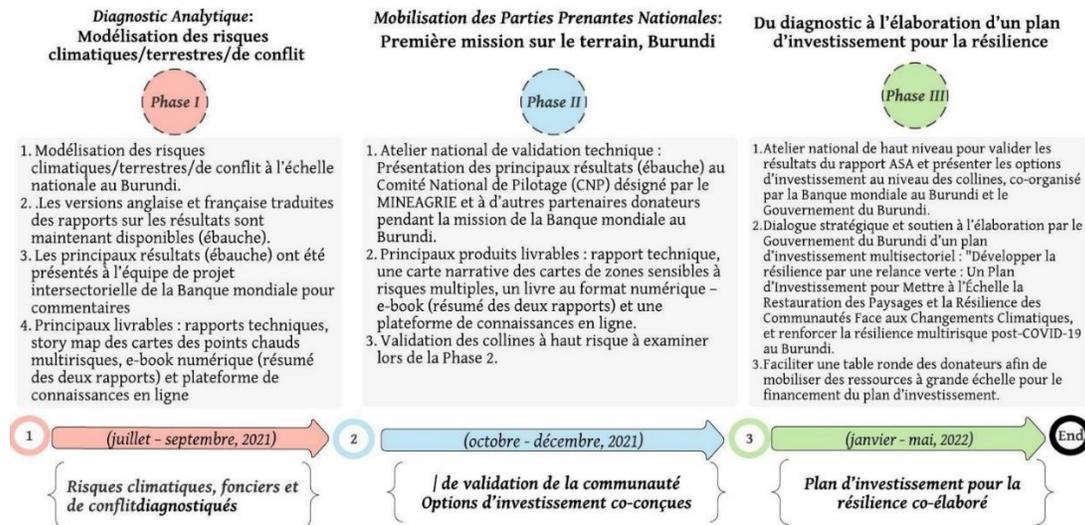
L'ASA atteindra cet objectif en testant les trois hypothèses suivantes :

Hypothèse 1. Les impacts de la dégradation climatique et environnementale sont en augmentation et continueront d'augmenter au Burundi.

Hypothèse 2. Le changement climatique combiné aux risques de dégradation des terres perturbera tous les aspects de la vie, les moyens de subsistance et les gains de développement au Burundi.

Hypothèse 3. Il existe une forte corrélation positive entre les impacts du changement climatique et les déplacements forcés au Burundi.

L'étude a mené une évaluation scientifique rigoureuse des risques climatiques, environnementaux et de conflit foncier du Burundi pour tester les hypothèses ci-dessus. La première partie de l'étude, menée par Vogl et al. (Banque mondiale, 2021, Rapport Technique 1³) s'est focalisé sur la modélisation d'indicateurs de glissements de terrain et d'érosion des sols à l'aide d'une approche d'évaluation des risques liés aux paysages basée sur l'écosystème. La deuxième partie de l'étude menée par Climate Center et al. (Banque mondiale, 2021, Rapport Technique 2⁴), s'est focalisé sur la compréhension de plusieurs indicateurs de changement climatique à l'aide d'une approche d'analyse des risques multi-aléas – qui a incorporé les résultats de la première partie, le cas échéant. Les deux utilisent les données scientifiques, outils et techniques les plus récents disponibles aux niveaux national, régional et mondial pour diagnostiquer et vérifier la validité des hypothèses énoncées. L'analyse conjointe a été réalisée pour produire des cartes nationales des zones sensibles à risques multiples et de vulnérabilité au niveau des collines, dans le but global d'éclairer la planification des investissements dans la résilience climatique lors de la Phase 2 de cet ASA sur le climat et la fragilité du Burundi (voir le calendrier du projet, Graphique 2).



Graphique 2. Calendrier des livrables pour l'ASA sur le climat et la fragilité du Burundi par phases

DONNÉES ET MÉTHODES

Quatre exercices de modélisation technique complémentaires ont été réalisés avant d'intégrer les produits spécifiques au modèle dans les cartes nationales des zones sensibles à risques multiples. Les couches à risques multiples comprennent les inondations, les glissements de terrain, les sécheresses et les risques d'érosion des sols induits par d'intenses précipitations, les effets de la température et la variabilité naturelle du climat.

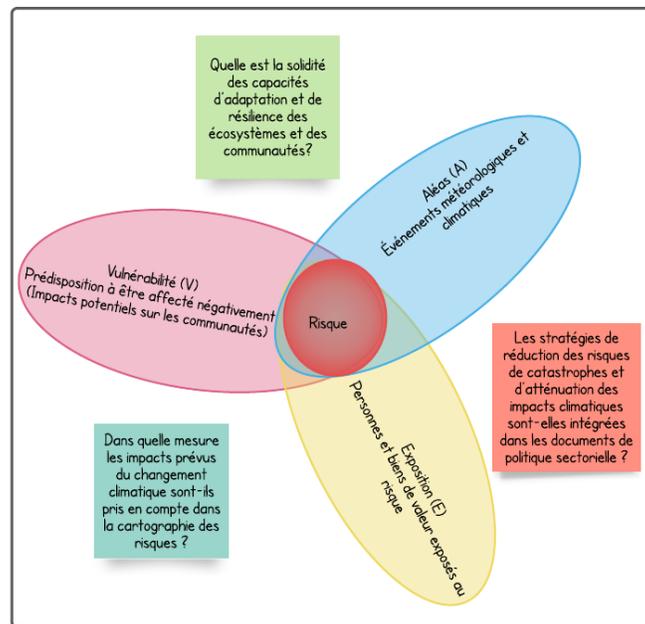
- a) Modélisation des tendances de température et de précipitations, des variations et des zones sensibles au niveau des collines
- b) Modélisation des risques de conflit foncier et des foyers de déplacements forcés au niveau des collines
- c) Modélisation des risques de dégradation des terres, de glissements de terrain et d'érosion des sols au niveau des collines
- d) Modélisation des risques d'inondations fluviales et pluviales au niveau des collines

Les cartes des zones sensibles qui en résultent identifient les collines les plus vulnérables aux niveaux de risques multiples composés et en cascade. Pour ce faire, nous avons appliqué une analyse de risques composés pour créer des cartes nationales des zones sensibles à la fragilité climatique au Burundi, en utilisant une méthode⁵ améliorée d'indice INFORM dans laquelle les données sur les risques sont

analysées sur la base de quatre dimensions de risque standard : aléas, vulnérabilité, exposition et capacité d'adaptation. Nous avons présenté les détails méthodologiques d'INFORM dans la dernière sous-section ci-dessous – méthodologie : analyse des zones sensibles au climat et à la fragilité. Voir également le Rapport Technique de la Banque mondiale 24 pour des détails méthodologiques relatifs à l'indice de risque INFORM. La mise en commun de ces couches de risque en collaboration avec le Gouvernement du Burundi permettra d'identifier les collines où des investissements urgents pour renforcer la résilience sont nécessaires.

Définition des terminologies clés

Dans les sous-sections suivantes, nous présentons des détails sur les données, les modèles et les techniques analytiques utilisés pour tester et vérifier les trois hypothèses énumérées ci-dessus. Avant de décrire les spécificités des données et des méthodes, nous définissons d'abord les terminologies clés largement utilisées dans cette analyse pour créer une compréhension commune. Nous caractérisons le risque climatique, les aléas, l'exposition et la vulnérabilité, tels que définis par le Rapport Spécial du GIEC sur la Gestion des Risques d'Événements Extrêmes (SREX)⁶ (Graphique 3).



Graphique 3. Un cadre conceptuel des risques en fonction de l'aléa, de l'exposition et de la vulnérabilité, basé sur la définition du Risque Climatique du Rapport spécial du GIEC sur la Gestion des Risques d'Événements Extrêmes (SREX). Remarque : le placement des questions sur les notes autocollantes est aléatoire, non exhaustif, mais très pertinent à prendre en compte lors de la réalisation de la cartographie des risques et lors de l'introduction de stratégies d'atténuation et d'adaptation aux risques climatiques.

Le risque climatique fait référence à la probabilité, au cours d'une période donnée, de graves altérations du fonctionnement normal d'une communauté ou d'une société en raison d'événements physiques

dangereux interagissant avec des conditions sociales vulnérables, entraînant des effets négatifs étendus humains, matériels, économiques ou environnementaux qui nécessitent une réponse d'urgence immédiate pour satisfaire les besoins humains critiques et qui peut nécessiter un soutien externe pour le rétablissement⁶.

L'aléa climatique peut être un processus physique ou un événement (phénomènes hydrométéorologiques ou océanographiques) qui peut nuire à la santé humaine, aux moyens de subsistance ou aux ressources naturelles⁷. Il n'y a pas de risque s'il n'y a pas d'exposition physique de la population, des écosystèmes et des actifs concernés, quelle que soit la gravité de l'événement dangereux. À ce titre, il représente la charge à laquelle la communauté doit faire face lorsqu'elle est exposée à un événement dangereux (Marin-Ferrer et al., 2017, p. 18)⁵.

L'exposition aux risques est simplement la présence de personnes, de moyens de subsistance, de services et de ressources environnementaux, d'infrastructures ou de biens économiques, sociaux ou culturels où ils pourraient être exposés à des dommages et pourraient être affectés négativement⁶.

La vulnérabilité fait ici référence à la propension ou à la prédisposition à être affectée négativement par des aléas climatiques donnés.

La capacité d'adaptation est la capacité des personnes à tirer parti des compétences, des ressources et des expériences disponibles pour gérer les facteurs de stress ou les chocs induits par le climat⁸.

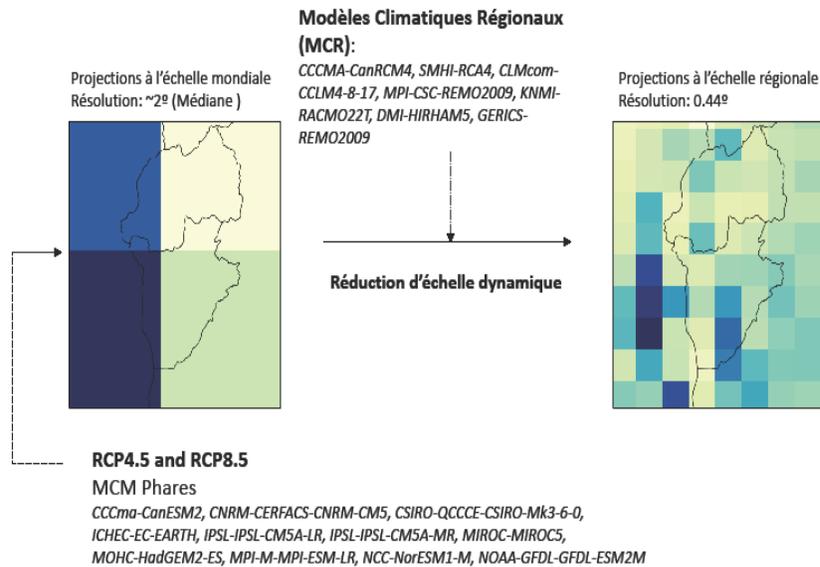
Nous tenons également compte autant que possible des types d'aléas, de la dynamique et des interactions dans cette analyse. Par exemple, les températures extrêmes et les précipitations intenses (pluies) sont les principaux aléas climatiques (de premier ordre) examinés dans cette analyse. Ces aléas de premier ordre causent des dommages directs et déclenchent indirectement l'apparition de plusieurs aléas secondaires (de second ordre) ou provoquent en cascade d'autres aléas. Par exemple, l'augmentation de la température (effet du réchauffement climatique) provoque des sécheresses, et les sécheresses augmentent la probabilité d'incendies et d'inondations, ce qui pourrait affecter les vies, les moyens de subsistance et le fonctionnement de l'écosystème au Burundi. De même, les aléas de second ordre qui découlent des fortes précipitations sont les inondations et les glissements de terrain. Nous prenons également en compte les interactions des risques composés. C'est lorsque deux extrêmes climatiques différents se produisent simultanément ou successivement, ou lorsque les extrêmes sont combinés avec des conditions de fond qui amplifient leurs impacts globaux. Cette analyse a examiné de multiples risques composés et en cascade, notamment des températures extrêmes, de fortes précipitations, des inondations, de l'érosion, des glissements de terrain, des sécheresses, des vents violents, des feux de brousse, des éclairs, des tempêtes de grêle et des conflits fonciers.

Partie 1a. Modélisation du climat futur au Burundi : variations de température et de précipitations

Cette section fournit des détails sur les données et les méthodes utilisées pour analyser les indicateurs climatiques primaires historiques, actuels et futurs – température et précipitations au Burundi. Premièrement, l'analyse des tendances historiques et de la variabilité de la température est basée sur les données de forçage WATCH⁹. Deuxièmement, les données CHIRPS (Climate Hazards Groups InfraRed Precipitation with Stations Data)¹⁰ ont également été utilisées pour l'analyse des précipitations. Les estimations CHIRPS sont fusionnées avec les mesures des pluviomètres à partir d'un large ensemble de données fournies par l'Institut Géographique du Burundi. De plus, cette analyse a utilisé des données d'observations faites depuis le sol provenant de l'Institut Géographique du Burundi (IGEBU) à des échelles mensuelles pendant la période 1991-2020. Quinze stations réparties à travers le Burundi ont été utilisées pour évaluer les tendances des précipitations totales annuelles, huit stations ont été utilisées pour évaluer les tendances des températures maximales annuelles et sept stations ont été utilisées pour évaluer les tendances des températures minimales annuelles. L'ensemble de données a d'abord été vérifié et contrôlé, y compris la vérification des valeurs de précipitations et de température irréalistes avant d'être utilisé pour l'analyse des tendances. À l'aide de l'ensemble de données, nous avons étudié la variabilité et les tendances des précipitations, des températures maximales et minimales au cours de la période 1991-2020. La liste des stations utilisées et la période d'analyse sont présentées en Annexe 1. L'estimateur de pente de Theil-Sen a été utilisé pour mesurer l'amplitude des précipitations et les variations de température dans toutes les stations.

Les données des projections du changement climatique sont basées sur les Modèles Climatiques Régionaux (MCR) de l'Expérience régionale coordonnée de réduction d'échelle (CORDEX)¹¹. Les modèles sont pilotés par les Modèles Climatiques Mondiaux (MCM) utilisés dans le Cinquième Rapport d'Évaluation (RE5) du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC), et nous avons fourni la liste complète de la combinaison des MCM à échelle réduite et des MCR utilisés (Annexe 2). Deux RCP ont été sélectionnés dans cette étude pour couvrir une large gamme allant d'un forçage radiatif anthropique global Moyen, Faible (RCP 4,5) à Élevé (RCP 8,5). Le Graphique 4 montre la procédure schématique de la méthodologie de réduction d'échelle.

Les projections futures ont été élaborées pour deux périodes, 2020-2040 et 2040-2060, et comparées à la période historique 1981-2000. Les deux périodes futures ont été sélectionnées pour fournir des informations sur le changement climatique pour le futur proche et moyen, soutenant ainsi les processus de prise de décision sur différents horizons de planification.



Graphique 4. Schéma de la procédure de réduction d'échelle. Dix MCM et deux RCP (RCP 4.5 et RCP 8.5) ont été dynamiquement réduits par le projet CORDEX et utilisés dans ce rapport.

Partie 1b. Modélisation du risque relatif d'inondation au Burundi

Pour développer une évaluation rapide au niveau national du risque d'inondation, nous avons appliqué une approche d'évaluation spatiale multicritères (SMCE) basée sur la méthode du processus hiérarchique analytique (AHP) et des techniques de système d'information géographique (SIG). La méthode SMCE évalue et intègre plusieurs couches pour éclairer un processus de modélisation des risques d'inondation¹². Les couches d'entrée du modèle comprennent le modèle numérique d'élévation (MNE), les précipitations (p), l'évapotranspiration potentielle (ETP), l'indice de végétation par différence normalisé (IVDN), la topographie composée (ITC), la couche de population quadrillée et la carte d'accessibilité (c'est-à-dire représentant la distance aux grandes villes) (certaines sont présentées à l'Annexe 3). Les couches de données d'entrée proviennent des ensembles de données d'observation de la Terre disponibles à l'échelle mondiale à l'Annexe 4. L'Annexe 5 met en évidence la gravité des risques d'inondation et les niveaux de vulnérabilité des principaux facteurs conditionnant le risque d'inondation.

Ces méthodes SMCE ont été largement appliquées pour éclairer les processus de prise de décision dans de nombreux pays en développement où il existe peu ou pas de données sur l'étendue des inondations¹³. Cette approche ne vise pas à fournir une "solution finale et optimale"^{14,15} à l'atténuation des risques d'inondation, mais plutôt de fournir des détails de haut niveau sur l'exposition relative et la vulnérabilité de la population, des infrastructures et des caractéristiques du paysage aux risques d'inondations fluviales et pluviales dans le but d'éclairer les décideurs sur les priorités d'intervention.

Partie 2. Modélisation des risques de dégradation des terres, de glissements de terrain et d'érosion des sols.

Cette analyse a appliqué des modèles spatialement explicites pour estimer la dégradation des terres, l'érosion et le risque de glissement de terrain au Burundi, dirigés par des scientifiques du Natural Capital Project de l'Université de Stanford³. L'analyse comprenait les étapes suivantes : Tout d'abord, nous avons utilisé les données Landsat pour effectuer une classification supervisée de l'évolution de l'utilisation /la couverture du sol au Burundi de 2000 à 2020. Deuxièmement, nous avons appliqué des modèles spatialement explicites pour estimer les risques d'érosion et de glissement de terrain au niveau de la colline pour l'année de référence 2020. Pour faire la deuxième étape, (a) nous avons analysé les données de télédétection pour identifier les zones sensibles à la dégradation des terres, (b) nous avons estimé les taux d'érosion et de sédimentation à l'aide du modèle¹⁶ InVEST Sediment Delivery Ratio (SDR)¹⁶, (c) nous avons estimé l'infiltration des eaux de pluies à l'aide du modèle¹⁶ InVEST Seasonal Water Yield (SWY), pour éclairer la modélisation des risques de glissements de terrain, et (d) nous avons généré des estimations des risques de glissements de terrain à l'aide des approches du Facteur de Sécurité (Selby, 1993)¹⁷ et de Gravitational Process Path (Wichmann, 2017)¹⁸, pour identifier les zones à risque de glissements de terrain élevé, moyen et faible. Pour plus de détails sur chacune de ces étapes, veuillez consulter notre Rapport Technique 13, Banque mondiale, 2021. Les descriptions et les sources des données sont présentées sous forme de tableau à l'Annexe 6. Voir également les cartes intermédiaires en annexes 9 à 16.

De toute évidence, les solutions fondées sur la nature (SFN) peuvent compenser les risques liés au climat, notamment les glissements de terrain et l'érosion des sols^{19, 20}. La troisième étape de l'analyse consistait à effectuer une évaluation préalable de solutions fondées sur la nature (SFN), en comparant les risques d'érosion et de glissement de terrain avec et sans investissements dans l'amélioration du couvert végétal, afin d'identifier les zones où ces activités atténueraient le plus efficacement ces risques. L'approche nous aide à examiner le rôle du couvert végétal naturel dans l'amplification ou la réduction du niveau naturel de risque induit par la pente, les propriétés du sol et la géologie³.

Deux scénarios ont été envisagés pour refléter deux types de solutions potentielles fondées sur la nature :

1. Un scénario de dégradation qui suppose une perte de végétation naturelle existante en bon état,
2. Un scénario de restauration qui suppose des investissements dans des activités qui améliorent l'état de la végétation et de la couverture du sol, telles que l'agroforesterie, le sylvo-pâturage, la revégétalisation, etc. et

Le premier scénario nous a permis de déterminer là où les coûts des dommages sont les plus élevés en cas de dégradation continue des terres, et le deuxième scénario nous a permis d'examiner les avantages potentiels de solutions fondées sur la nature (SFN) impliquant la restauration ou la réhabilitation des terres dégradées. Les résultats de chaque modèle ont été agrégés au niveau de la colline, et les différences entre

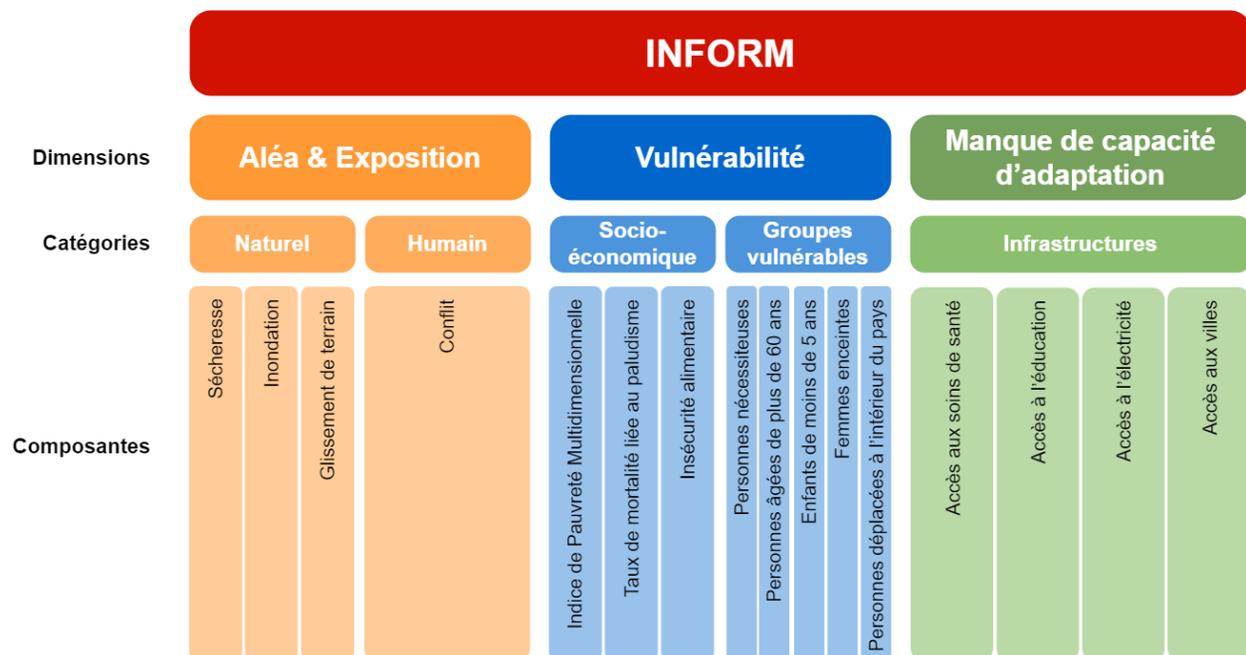
le risque de référence (2020) et les deux scénarios ont été calculées. Les impacts potentiels de SFN des deux scénarios ont finalement été additionnés pour produire un indice unique par colline qui reflète les avantages d'investir dans la restauration et la protection du capital naturel³. Ces cartes de sortie (Graphiques 16 et 18), y compris la couche multi-aléas, ont été superposées à d'autres indicateurs de risques climatiques (pluies, températures, inondations, sécheresses) pour générer la carte nationale multirisque des zones sensibles^{3,4}.

Partie 3. Modélisation des risques climatiques, de conflits fonciers et de déplacements forcés

L'analyse des conflits joue un rôle essentiel dans la compréhension globale de la vulnérabilité partout au Burundi. Il existe une dynamique complexe entre la vulnérabilité socioéconomique, les risques de conflit et les aléas climatiques. Toutes ces composantes doivent être explorées pour dresser un tableau holistique de la vulnérabilité des personnes vivant dans le pays. Par conséquent, une analyse des risques de conflit a été menée à l'aide de données géo-référencées sur les événements de conflit historiques (UCDP 1989-2020 ; ACLED 2020-2021)⁴. En outre, une analyse documentaire a été menée pour identifier les facteurs de conflits liés aux impacts des catastrophes climatiques et les conflits associés à l'utilisation des ressources naturelles et aux réactions de la population à leur dégradation et à leur épuisement. Avec les résultats de la documentation parallèle et six (6) entrevues semi-structurées, nous avons identifié les localisations géographiques des situations de conflit fonciers historiques et actuels ainsi que les tendances et localisations potentielles des conflits futurs (Banque mondiale, 2021 - Rapport technique 2⁴).

Vue d'Ensemble : Cartographier les zones sensibles à la fragilité climatique au Burundi

Pour rassembler les différents éléments méthodologiques, nous utilisons une méthode d'indice INFORM amélioré – où les données de risque sont analysées sur la base de trois dimensions de risque standard : la vulnérabilité, l'aléa et la capacité d'adaptation⁴. Le terme "indice INFORM amélioré" a été inventé en tant que méthodologie utilisée pour intégrer des informations supplémentaires qui ne sont normalement pas prises en compte dans l'indice INFORM standard, notamment les données sur les projections de changement climatique, les conflits et les migrations. INFORM est une méthode indicelle qui calcule un indice de risque composite sur trois dimensions⁵. Il ne prend pas en compte les interactions entre les aléas mais permet de superposer d'autres types d'aléas que les aléas naturels. INFORM a été développé par le Centre commun de recherche de la Commission européenne²². Le Graphique 5 montre différentes catégories et composantes qui ont été utilisées pour produire l'indice INFORM pour le Burundi. Reportez-vous au rapport technique détaillé 2⁴ pour plus de détails sur les étapes méthodologiques d'INFORM. Nous résumons les indicateurs utilisés dans cette étude à l'Annexe 7 et nous renvoyons également aux métadonnées pour des informations plus détaillées sur ces indicateurs (voir l'Annexe B du Rapport Technique de la Banque mondiale, 2021 2⁴).



Graphique 5. Indicateurs de l'indice INFORM, diagramme adapté

Interprétation et visualisation

L'indice INFORM a un score variant de 0 à 10, les valeurs faibles représentant les collines à faible risque et les valeurs élevées représentant un risque élevé (Graphique 6). La notion selon laquelle le plus élevé est le pire est systématiquement appliquée également aux niveaux de la dimension, de la catégorie et des composantes. Une fois le score de chaque dimension est calculé, les collines sont classées en cinq classes : 'très faible', 'faible', 'moyen', 'élevé' et 'très élevé'. Cette classification sous forme d'échelle hiérarchique a pour objectif d'identifier systématiquement le risque de manière cohérente. Les classes de risque donnent aux utilisateurs une plus grande capacité à suivre, contrôler et même gérer les risques, car elles aident à mieux identifier les causes profondes du risque. Différentes dimensions ont différentes classes de seuil et de colorations. Un schéma de couleurs gradué standard est utilisé pour visualiser les données, des couleurs douces représentant les classes à faible risque aux couleurs plus foncées représentant les classes au risque plus élevé.

SEUILS DES CLASSES DANS INFORM			
Dimension	CLASSE	MAX	MIN
RISQUE	Très élevé	10.0	6.5
	Élevé	6.4	5.0
	Moyen	4.9	3.5
	Faible	3.4	2.0
	Très faible	1.9	0.0
ALÉA & EXPOSITION	Très élevé	10.0	6.1
	Élevé	6.0	4.1
	Moyen	4.0	2.7
	Faible	2.6	1.5
	Très faible	1.4	0.0
VULNÉRABILITÉ	Très élevé	10.0	6.4
	Élevé	6.3	4.8
	Moyen	4.7	3.3
	Faible	3.2	2.0
	Très faible	1.9	0.0
MANQUE DE CAPACITÉ D'ADAPTATION	Très élevé	10.0	7.4
	Élevé	7.3	6.0
	Moyen	5.9	4.7
	Faible	4.6	3.2
	Très faible	3.1	0.0

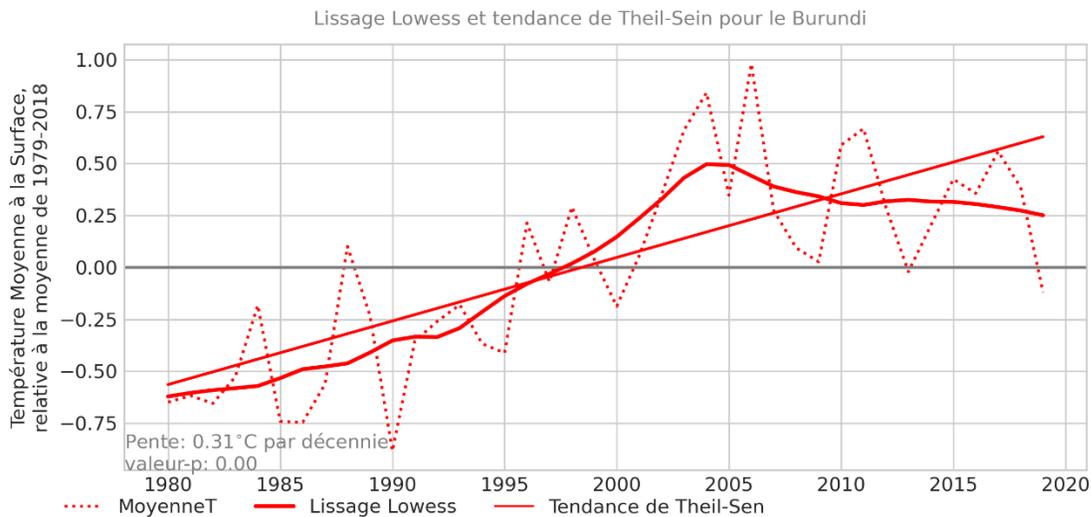
Graphique 6. Seuils et couleurs fixes au niveau de la dimension. Source : Marin-Ferrer et al. (2017) ⁵

RÉSULTATS : ÉVOLUTION ACTUELLE ET PROJECTION FUTURE DU CLIMAT AU BURUNDI

Température

La température moyenne globale de surface (TMGS) a augmenté de 0,8 à 1,2 °C au-dessus des niveaux préindustriels et un réchauffement supérieur à la moyenne annuelle mondiale est observé dans de nombreuses régions terrestres (IPCC SR15). L'analyse de l'évolution de la température moyenne au Burundi depuis 1979 montre une tendance positive et significative de la température moyenne de 0,31°C [0,18-0,41°C] par décennie (Graphique 7). Les variations de température moyenne s'accompagnent de variations dans les événements de températures extrêmement chaudes et froides. Les températures maximales quotidiennes annuelles (TXx) et minimales quotidiennes annuelles (TNn) ont augmenté de manière significative au Burundi depuis 1979, ces dernières augmentant plus rapidement que les premières (voir détails, Banque mondiale, 2021 - Rapport Technique 2⁴). Ces résultats sont cohérents avec

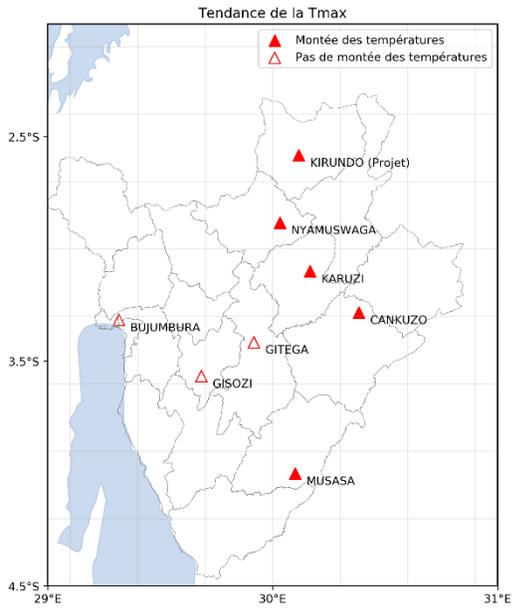
ceux d'Engdaw et al. (2021), qui ont montré que les températures et les vagues de chaleur extrêmes ont augmenté dans la région de l'Afrique de l'Est²³.



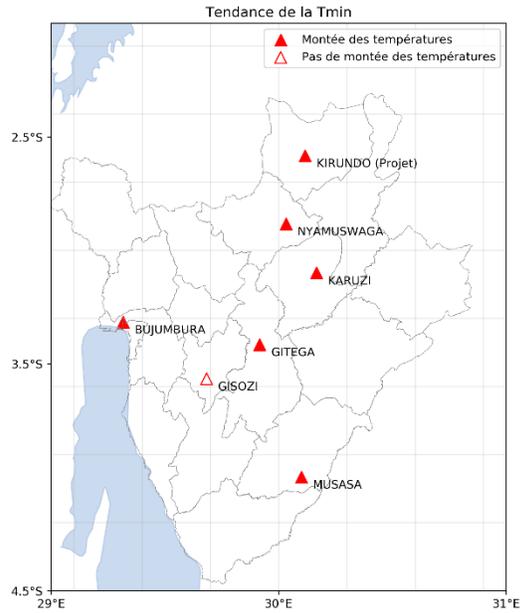
Graphique 7. Tendances et variabilité à long terme des anomalies de la température moyenne annuelle (données : WFDEI-CRU). Les résultats sont basés sur la superficie moyenne sur le bassin versant du Burundi

Une analyse des données des stations de 1950 à 2014 confirme cette tendance positive significative²⁴. La répartition spatiale des stations météorologiques du Burundi et les tendances des températures annuelles maximales et minimales sont illustrées au [Graphique 8](#). L'analyse des tendances révèle qu'il existe des preuves claires montrant que les températures ont augmenté suivant la tendance mondiale. La plupart des stations montrent une augmentation significative des températures maximales et minimales sur le Burundi. La variabilité annuelle des températures maximale et minimale au Burundi est illustrée au [Graphique 9](#). Une tendance à la hausse de la température peut être observée.

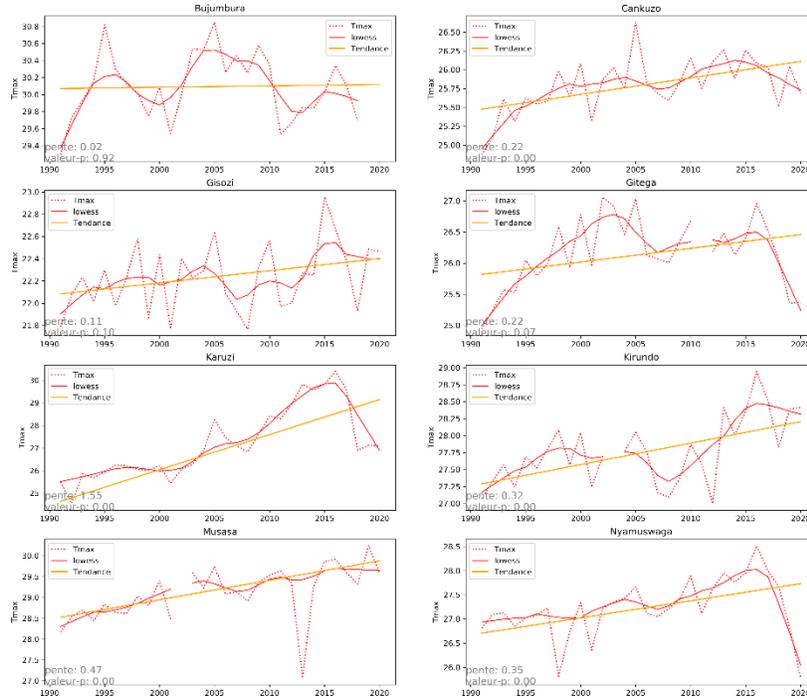
a)



b)

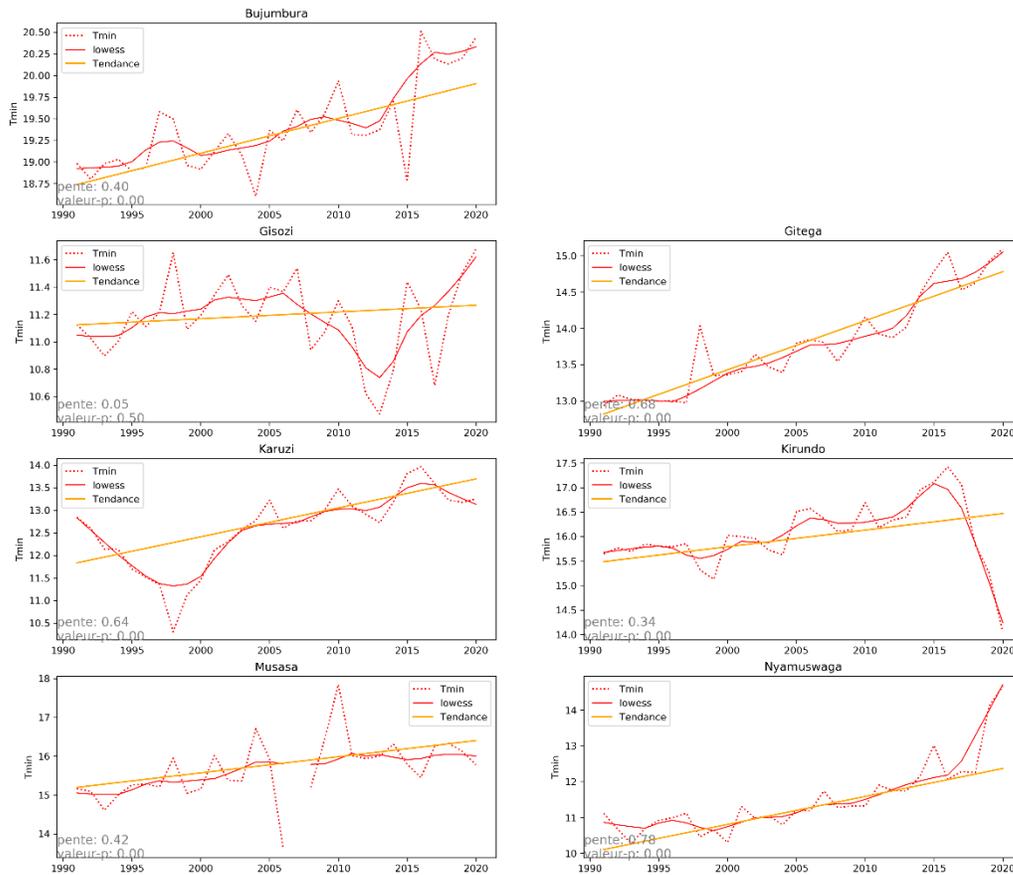


Graphique 8. Localisations géographiques des stations et tendances à long terme des températures maximales annuelles (a) et minimales annuelles (b) au Burundi. Les tendances significatives sont représentées par des triangles pleins (données : IGEBU)



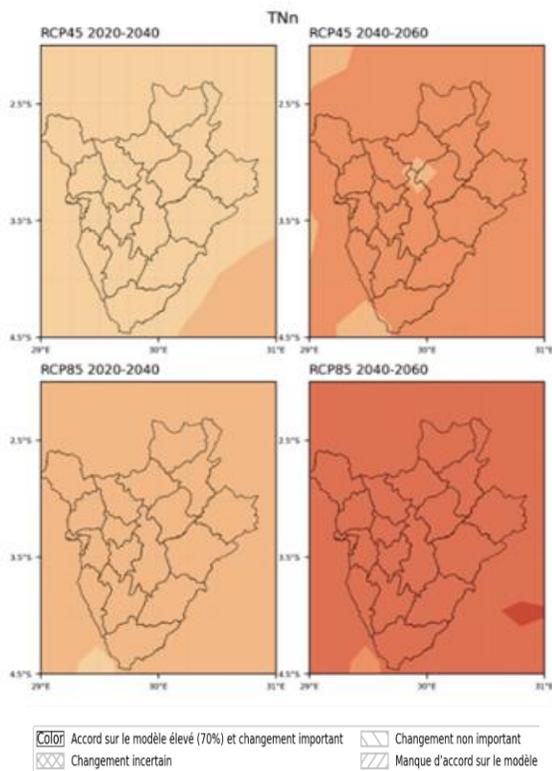
a)

b)

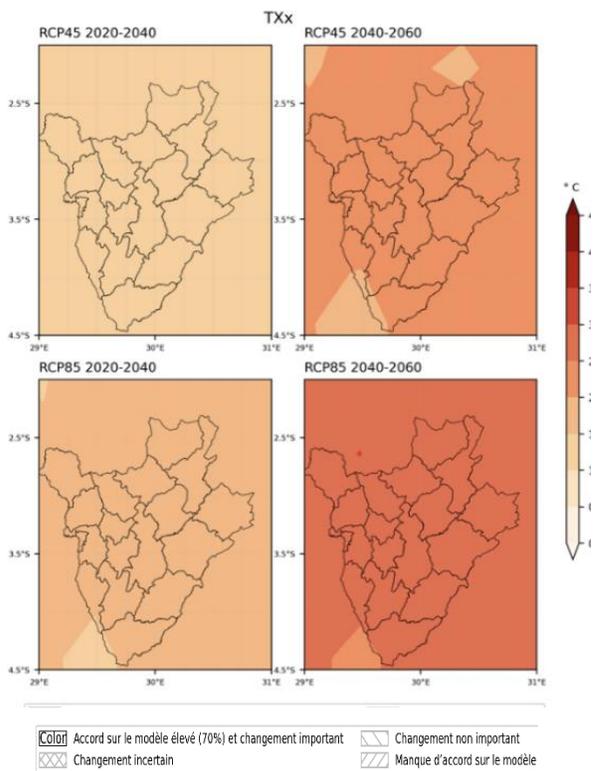


Graphique 9 a & b. Tendances et variabilité à long terme de la température moyenne annuelle maximale (a) et minimale (b). L'amplitude de la tendance décennale et la valeur p sont indiquées en bas à gauche de chaque panneau (données : IGEBU)

Entre le proche avenir et l'avenir à moyen terme, les températures devraient augmenter d'environ 0,5°C selon le scénario RCP 4.5 et d'environ 1°C selon le scénario RCP 8.5. Des augmentations de température plus faibles sont plus probables dans le cadre d'un scénario à faibles émissions et des augmentations de température plus élevées sont plus probables dans le cadre d'un scénario à fortes émissions. Pour le Burundi, les modèles s'accordent largement sur le fait que les températures devraient augmenter (Figure 10)⁴.



a) Nuits les plus froides (TNn)



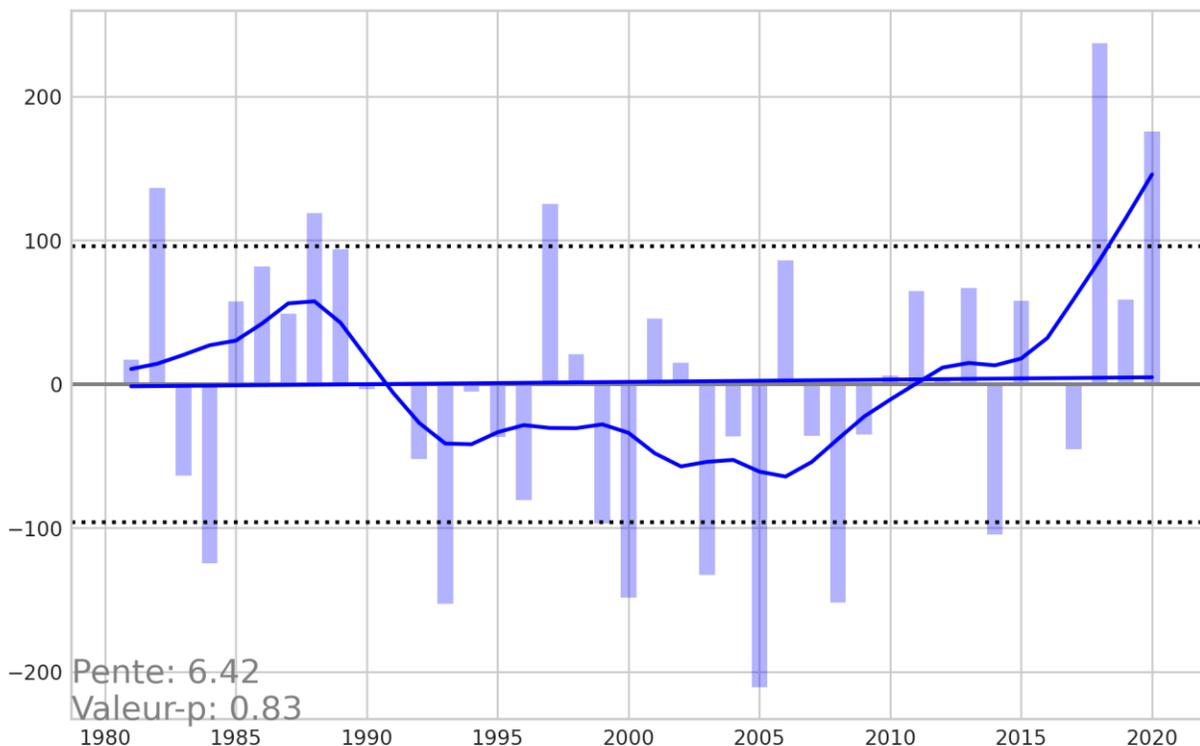
b) Jours les plus chauds (TXx)

Graphique 10. La moyenne multi-modèle des variations temporellement moyennes de la température minimale (TNn, (a) nuit la plus froide) et de la température maximale (TXx, (b) jour le plus chaud) sur la période 2020-2040 et 2040-2060 affiché sous forme de différences (en °c)

Précipitations

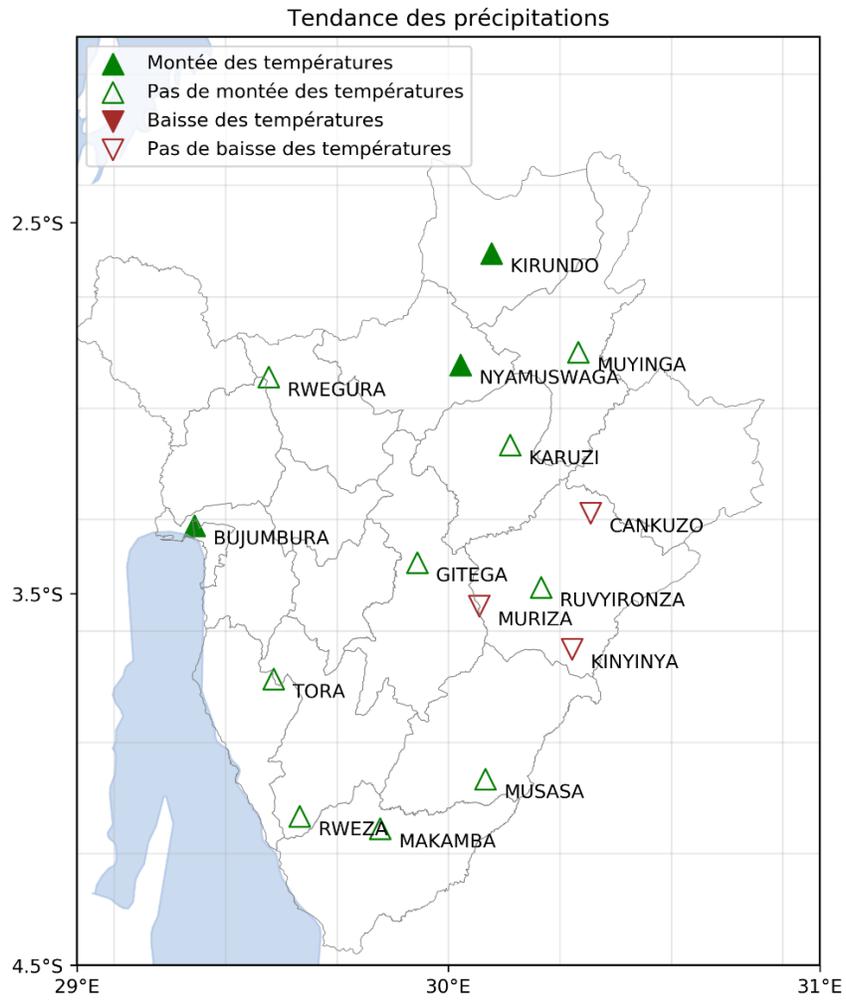
Les précipitations, y compris les événements pluvieux intenses basés sur Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations data (CHIRPS), ont été dominées par la variabilité naturelle à travers tous les bassins versants du Burundi (Graphique 11). Par conséquent, aucune tendance à long terme statistiquement significative ne peut être détectée (voir détails, Banque mondiale, 2021- Rapport Technique 2⁴).

Moyenne PRCPTOT
Lissage Lowess et tendance de Theil-Sen pour la région hydrographique du Burundi

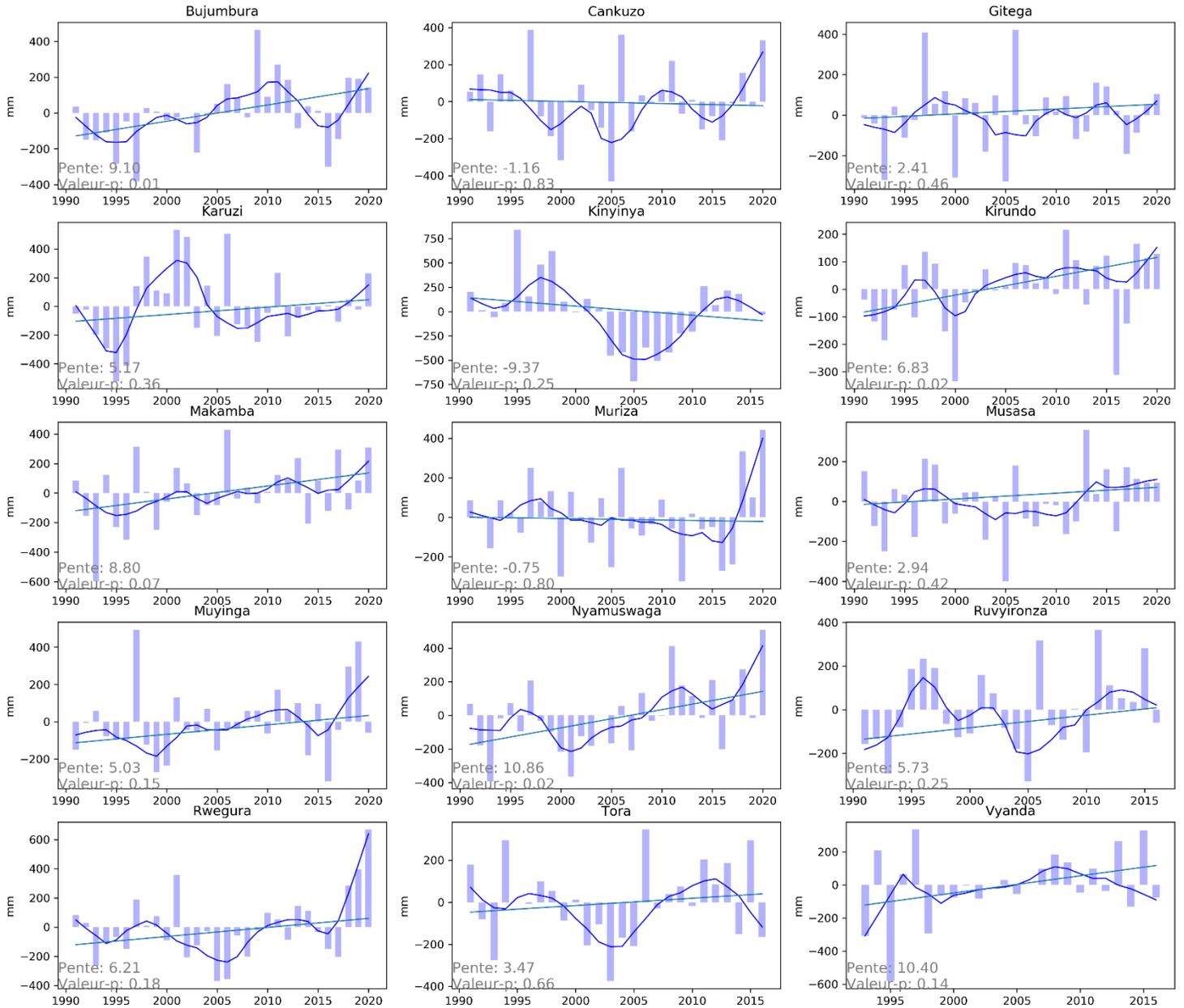


Graphique 11. Tendances et variabilité à long terme des anomalies totales des précipitations annuelles moyennes, PRCPTOT. La ligne horizontale en pointillés représente un écart type par rapport à la moyenne. La ligne courbe représente le lissage Lowess (données : CHIRPS)

De même, en utilisant les données nationales, le Graphique 12 montre la répartition spatiale des précipitations totales annuelles moyennes et les tendances de chacune des stations au Burundi. Les précipitations totales annuelles moyennes ont augmenté dans presque toutes les stations analysées sauf les stations de Kinyinya, Cankuzo et Muriza dont les tendances sont à la baisse. Comme pour les données CHIRPS¹⁰, l'analyse des séries chronologiques à long terme des précipitations totales annuelles moyennes à l'aide de données nationales révèle une variabilité sur des échelles de temps décennales, certaines périodes étant relativement plus sèches ou plus humides que d'autres. La tendance à long terme dans la plupart des stations n'est pas statistiquement significative et est dominée par la variabilité naturelle (Graphique 13). Cependant, la région a été soumise à des précipitations intenses au fil des ans, et la tendance devrait augmenter avec le temps.



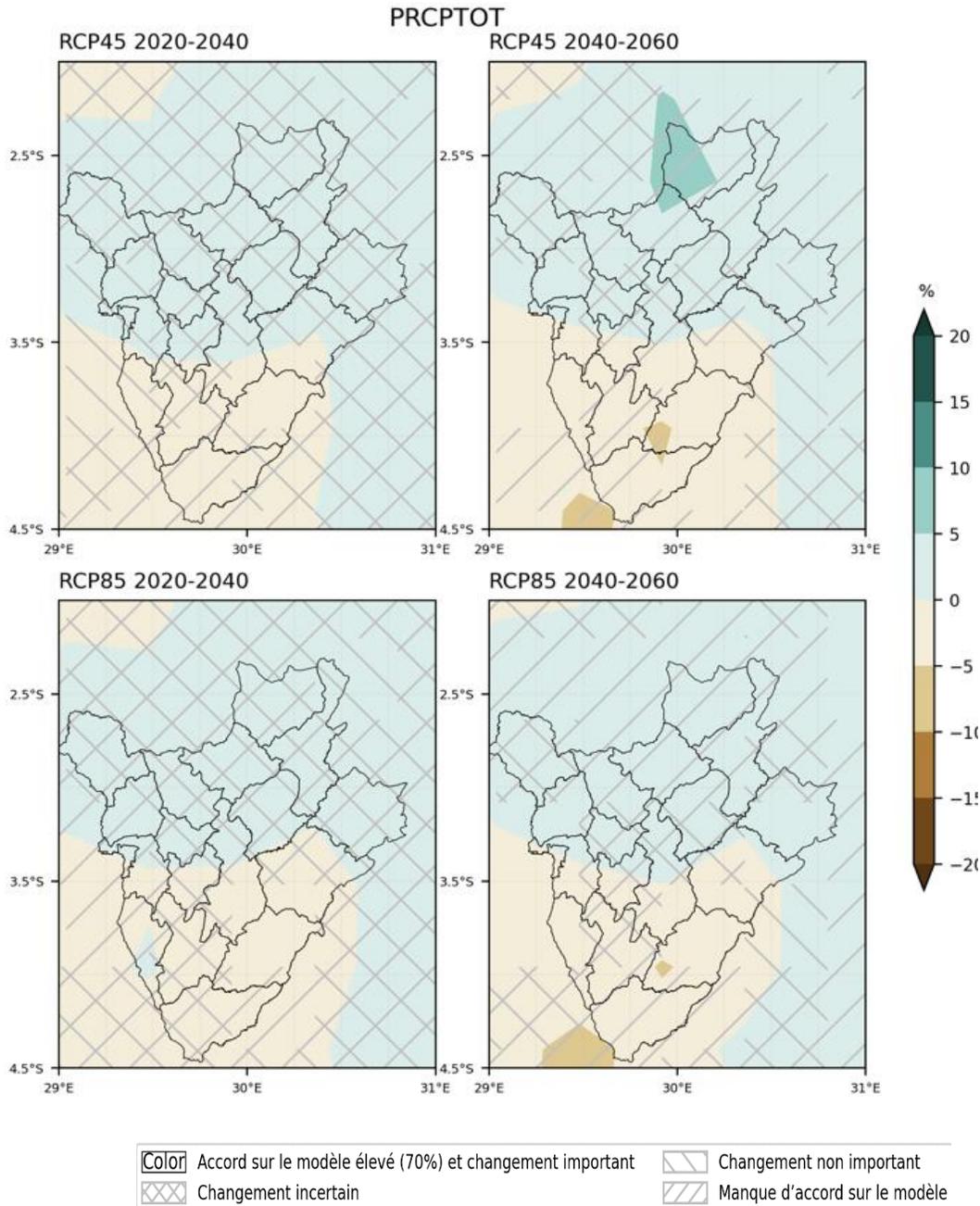
Graphique 12. Localisation géographique des stations et tendances à long terme des précipitations au Burundi. Les tendances significatives sont représentées par des triangles remplis. (Données : IGEBU)



Graphique 13. Tendances à long terme et variabilité des anomalies annuelles des précipitations totales par rapport à la moyenne de la période 1991-2020. L'amplitude de la tendance annuelle et la valeur-p sont indiquées en bas à gauche de chaque panneau (données : IGEBU)

Malgré l'incertitude des modèles, il existe un schéma cohérent d'humidification dans la région Nord et d'assèchement dans la région Sud du Burundi. Cependant, ces variations ne sont pas robustes pour une

grande partie du Burundi car les modèles ne s'accordent pas et les variations ne sont pas statistiquement significatives, c'est-à-dire que les variations sont masquées par la variabilité naturelle. Les variations dans les précipitations futures sont importantes sur la province de Rutana ainsi que sur la province orientale de Ruyigi et centrale de Gitega pour les deux périodes et scénarios considérés (Graphique 14)⁴.



Graphique 14. La moyenne multi-modèle des variations de la moyenne temporelle des précipitations totales annuelles moyennes (PRCPTOT) sur la période 2020-2040 et 2040-2060 s'affiche sous forme de différences (en %) par rapport à la période de référence (1981-2000) pour RCP 4.5 (en haut) et RCP 8.5 (en bas). (Données : CHIRPS)

Inondations

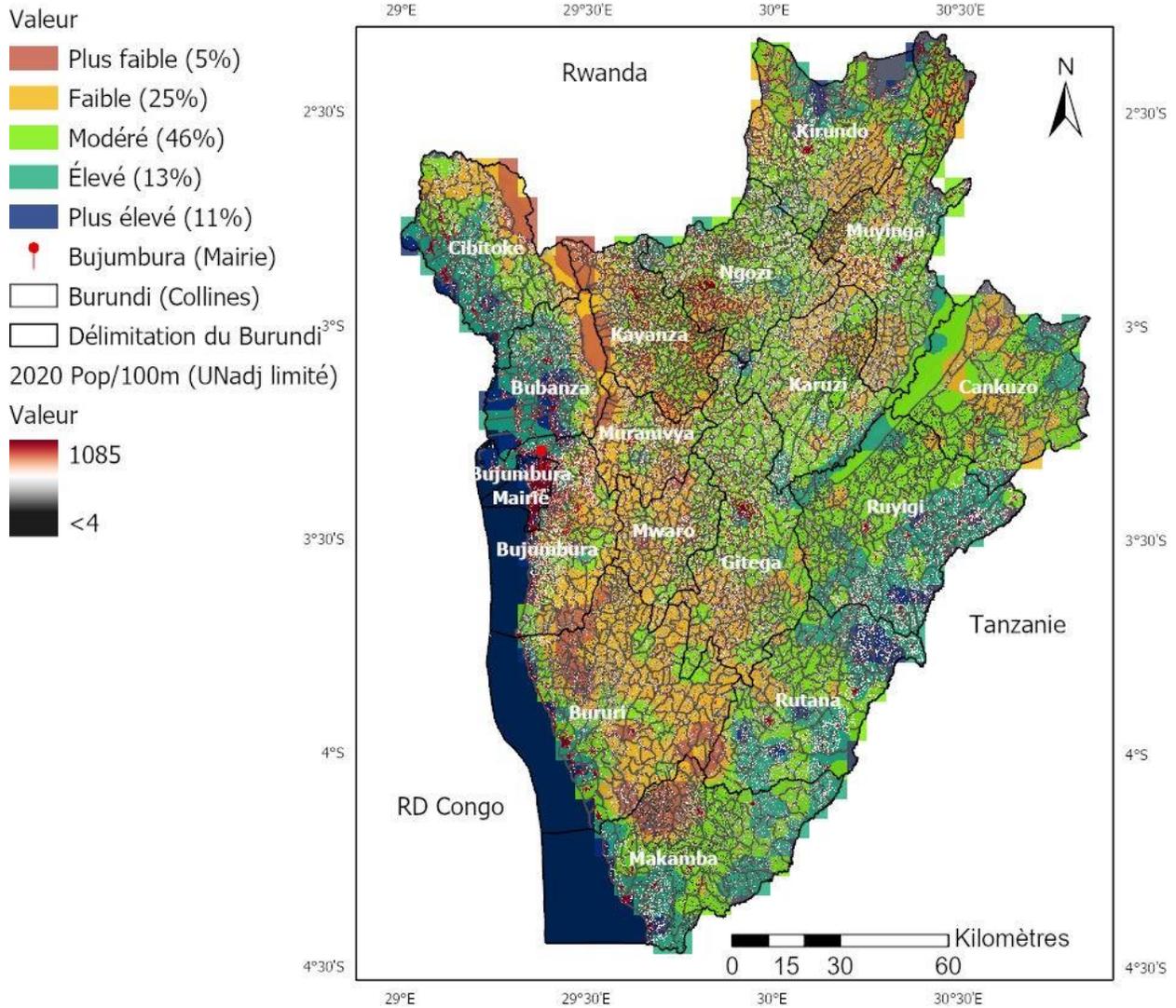
Les résultats de l'approche d'évaluation spatiale multicritères (SMCE) ont mis en évidence que le paysage et la population du Burundi sont très sensibles aux risques d'inondations fluviales et pluviales. Dans l'ensemble, les zones frontalières ouest et est du pays sont les zones sensibles identifiées pour les risques d'inondations induits par les précipitations et les rivières. À l'échelle nationale, 11% du paysage burundais a été classé dans la zone à risque 'le plus élevé' du modèle, 13% dans les zones à risque d'inondation 'élevé', 46% à risque 'modéré', 25% comme 'faible' et seulement 5% de la masse continentale totale du pays a été classée parmi les zones à risque d'inondation 'les plus faibles' (Graphique 15). La tendance actuelle et à long terme des risques d'inondation sera influencée par la dégradation des terres, la déforestation et les augmentations anticipées des précipitations extrêmes dues au changement climatique. Les impacts actuels des inondations au Burundi sont dévastateurs. Par exemple, entre novembre 2015 et janvier 2016 (en deux mois), de fortes pluies et des inondations ont détruit 5 068 maisons, affectant 30 408 personnes ²⁵.

L'exposition de la population et des infrastructures au risque d'inondation est la plus élevée dans plusieurs zones urbaines, y compris, mais sans s'y limiter, la ville de Bujumbura, la province de Bujumbura (par exemple, Mushasha), la province de Bubanza (par exemple, Ruyange, Gifurwe), la province de Cibitoke (par exemple, Buganda) et la province de Makamba (par exemple, Mukungu) parmi beaucoup d'autres. Le risque d'inondation urbaine est principalement dû à la présence accrue de surfaces imperméables et des localités surpeuplées, souvent sans systèmes d'infrastructures appropriées pour les eaux pluviales. Les inondations urbaines coûtent la vie à des personnes, menacent leurs sources de revenus et endommagent les propriétés privées et les infrastructures publiques dans de nombreux pays en développement ²⁶⁻²⁹. En outre, l'exposition croissante des terres agricoles au risque d'inondation dans les zones rurales pourrait augmenter le risque d'insécurité alimentaire et les menaces à la "souveraineté alimentaire" (en référence à l'incapacité des communautés à produire ce qu'elles mangent et à manger ce qu'elles produisent).

Les inondations, au Burundi, contribuent de manière significative au déplacement forcé interne de milliers de personnes depuis le début de 2020 et peuvent exacerber la pauvreté préexistante et les problèmes de santé publique ³⁰. Récemment, "dans la ville de Bujumbura, les inondations fluviales ont déplacé 27 000 personnes (ECHO 22/04/2020). À Bujumbura, la rivière Rusizi a débordé, provoquant l'inondation de 7 600 foyers (OIM 22/04/2020). Dans la commune Mutimbuzi, dans la province Bujumbura, la rivière a inondé six quartiers de la ville de Gatumba, dont Kinyinya 1 et 2, Muyange 2, Mushasha 1 et 2 et Gaharawe, déplaçant jusqu'à 40 000 personnes selon les estimations disponibles (OIM 22/04/2020)" ³⁰. De même, le niveau d'eau du lac Tanganyika est en hausse depuis février 2021 ³¹. Par conséquent, selon UNOCHA, en avril 2021, plus de 8 000 familles (47 362 personnes) touchées par les inondations dans seulement quatre provinces (Bujumbura, Mairie de Bujumbura, Rumonge, et Makamba), entraînant le déplacement de 2 000 personnes dans les communautés au bord du lac, notamment Bugarama, Kanyenkoko, Muhuta, Nyanza-Lac, Gatumba, Rukaramu, Kibenga, Gisyo et Kabondo ³¹. Les endroits mentionnés ci-dessus se trouvent tous dans des zones à risque d'inondation allant de 'plus élevé' à 'élevé'

identifiées par notre modèle. Nous ne disposons pas d'une carte complète de l'étendue des inondations de toutes les zones précédemment affectées au Burundi, mais des échantillons de cartes publiées par différents groupes valident l'exactitude des localisations de nos zones sensibles à l'inondation (voir Annexes 1-3, Banque mondiale, 2021- Rapport Technique 2⁴).

Carte des risques d'inondations & d'exposition de la population

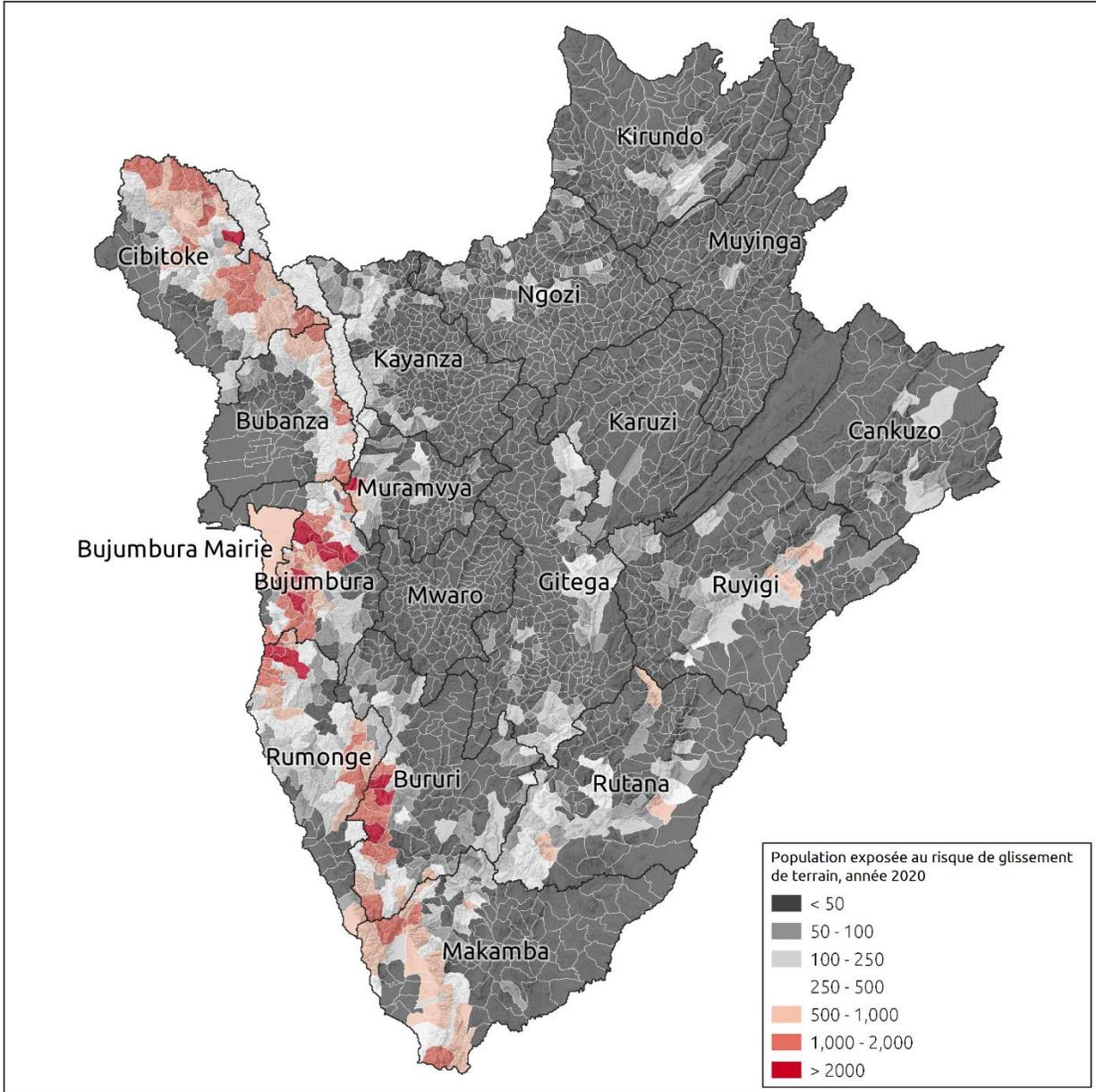


Graphique 15. Exposition de la population aux zones inondables. La carte présente les zones sensibles nationales à l'exposition des paysages et des populations au risque d'inondation (données : Annexe 4)

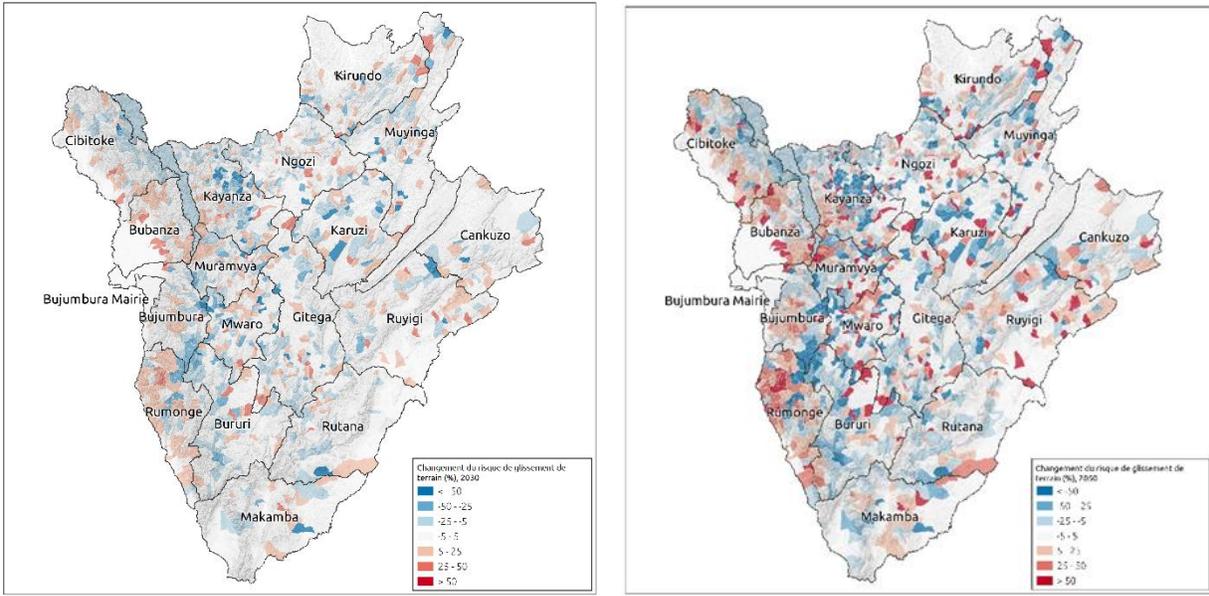
Glissements de terrain

Le résultat de notre analyse montre qu'une partie importante de la population et des collines du Burundi est vulnérable aux glissements de terrain et aux risques de ruissellement (Graphique 16)³. Le risque de

glissements de terrain accentue la vulnérabilité des personnes, de l'agriculture et la vulnérabilité des réseaux de transport aux impacts du changement climatique. Pour les futurs risques de glissements de terrain, les Graphiques 17 (a et b) montrent en rouge, les collines à haut risque de glissements de terrain et d'écoulement d'ici 2030 et 2050, respectivement. Par exemple, la Mairie de Bujumbura, Bujumbura, Cibitoke et Rumonge ont le score de risque de glissement de terrain le plus élevé, et ils ont également des scores élevés pour les potentielles SFN (Tableau 1). Du point de vue de la réduction des risques climatiques, cela signifie qu'il existe une forte opportunité pour les pratiques de gestion des terres dans ces endroits de contribuer de manière significative à l'atténuation de ces risques.



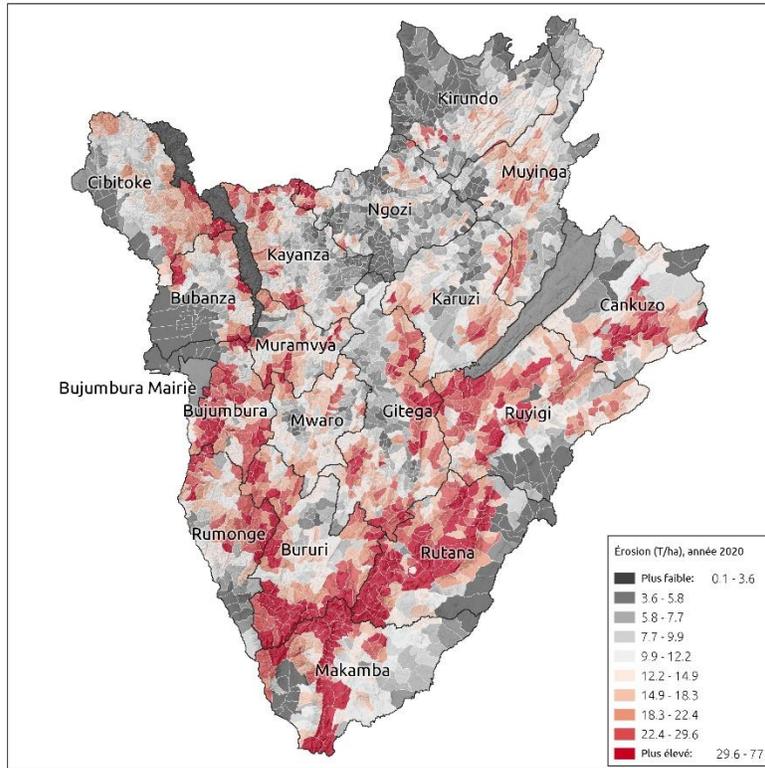
Graphique 16. Population (totale) exposée au risque de glissements de terrain par colline pour le scénario de référence (2020)



Graphique 17 a & b. Tendances des risques de glissements de terrain et d'écoulement par colline, représentées par une variation relative de 2020 à 2030 (a, à gauche) et à 2050 (b, à droite)

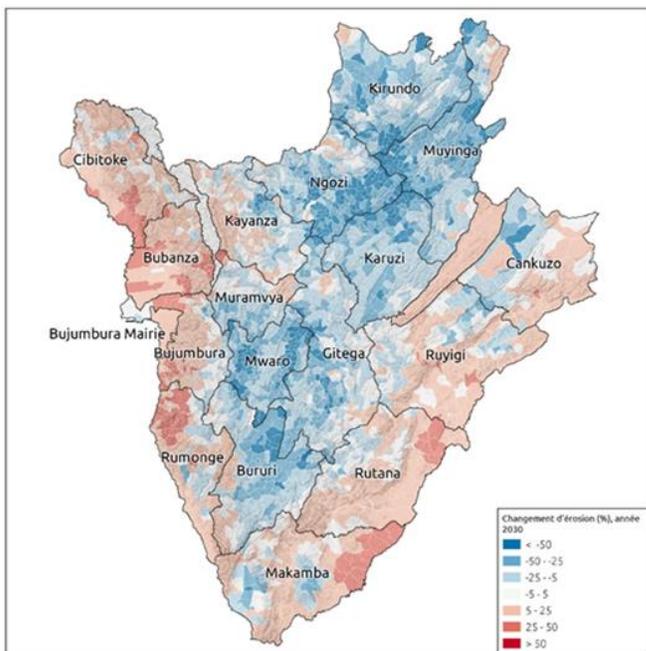
Érosion des Sols

Les résultats de la hiérarchisation montrent un chevauchement assez important au Burundi entre les communes et les collines qui connaissent des risques d'érosion des sols et de glissements de terrain aux taux les plus élevés. Le Graphique 18 montre le résultat de l'érosion des sols du Burundi produit par le modèle INVEST-SDR au niveau des collines. Si les tendances d'érosion des sols détectées se poursuivent, l'exportation de sédiments pourrait augmenter de 69% en 2030 par rapport à 2020 et éventuellement dépasser 200 % en 2050 (Graphique 19 a et b). Comme pour les glissements de terrain, la Mairie de Bujumbura, Bujumbura, Cibitoke et Rumonge ont les taux d'érosion les plus élevés et pourraient également bénéficier de beaucoup d'interventions ciblées fondées sur la nature pour atténuer la perte de sols (Tableau 1).

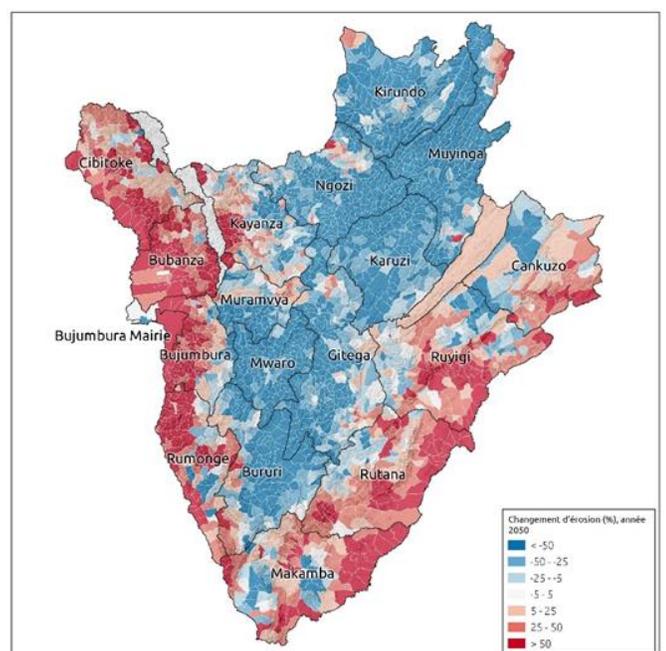


Graphique 18. Résultat de l'érosion des sols produit par le modèle InVEST-SDR pour la couverture du sol de référence (2020), par colline

a)



b)



Graphique 19. Tendances de l'érosion des sols produites par le modèle InVEST-SDR par colline, représentées sous forme de variation relative de 2020 à 2030 (a, à gauche) et à 2050 (b, à droite).

Tableau 1. Scores moyens par province pour l'indice multirisque et l'indice potentiel des solutions fondées sur la nature (SFN)

Nom de la Province	Indice Multirisque MOYENNE	Indice de potentiel SFN MOYENNE
Mairie de Bujumbura	0,48	0,48
Rumonge	0,48	0,42
Bujumbura	0,44	0,39
Bubanza	0,42	0,36
Cibitoke	0,42	0,45
Makamba	0,33	0,30
Rutana	0,30	0,22
Ruyigi	0,28	0,21
Bururi	0,28	0,29
Cankuzo	0,27	0,18
Kayanza	0,27	0,22
Muramvya	0,27	0,23
Gitega	0,23	0,20
Kirundo	0,22	0,21
Ngozi	0,21	0,20
Karuzi	0,20	0,18
Muyinga	0,19	0,16
Mwaro	0,19	0,16

Remarque : Dans la deuxième colonne, les valeurs les plus élevées représentent les provinces présentant un risque de glissements de terrain et d'érosion des sols plus élevé. Dans la troisième colonne, les valeurs les plus élevées correspondent aux provinces où une SFN a le potentiel le plus important pour compenser ces risques.

RÉSULTATS : IMPACTS SECTORIELS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE AU BURUNDI

Nous résumons dans cette section les principaux impacts sectoriels à partir des impacts combinés du changement climatique et des risques de dégradation des terres au Burundi. Dans l'ensemble, les risques liés au climat constituent des menaces existentielles pour de multiples secteurs au Burundi, notamment l'agriculture, l'élevage, pêche et pisciculture, les écosystèmes, l'environnement, la santé, la foresterie, l'énergie, les infrastructures, les établissements humains et la gestion des ressources hydriques. (Tableau

2 pour plus de détails). Le Graphique 26 ci-dessous montre les risques climatiques potentiels aux zones sensibles multiples auxquels sont confrontés divers secteurs transversaux au Burundi.

Tableau 2. Impacts multisectoriels du changement climatique au Burundi

Secteur	Impacts climatiques anticipés ^{3,4,32-35}
 Agriculture et élevage	<ul style="list-style-type: none"> - Baisse de rendement des cultures pluviales, en l'absence d'améliorations technologiques - Réduction de la disponibilité de l'eau pour la croissance des plantes - Augmentation de l'érosion des sols conduisant à la dégradation des terres agricoles - Augmentation de l'incidence des ravageurs et des maladies affectant les cultures et le bétail
 Eau	<ul style="list-style-type: none"> - Des crues pluviales et fluviales intenses, provoquant des inondations dans les bas-fonds, les marais et exceptionnellement dans le bassin du lac Tanganyika - Augmentation de la sédimentation provoquant une baisse de la qualité de l'eau - Augmentation de la demande sur les ressources hydriques, épuisant les eaux de surface et les nappes phréatiques - Augmentation de la salinité des ressources hydriques souterraines à proximité des lacs
 Santé	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation de la malnutrition due à une alimentation déséquilibrée - Augmentation de la prévalence des maladies à transmission vectorielle telles que le paludisme - Augmentation du nombre de personnes à risque de stress thermique et de son état connexe, les personnes âgées, les malades chroniques et les enfants étant particulièrement vulnérables - Augmentation de la prévalence des maladies d'origine hydrique transmissibles et non transmissibles comme le choléra, la dysenterie etc.
 Infrastructures	<ul style="list-style-type: none"> - Des inondations pluviales et fluviales extrêmes causant des dommages aux infrastructures publiques telles que les routes, les ponts, les hôpitaux, les réseaux électriques, les écoles et les marchés etc. - Destruction de propriétés privées telles que les maisons, les hôtels, etc. - Augmentation des déplacements forcés de personnes, affectant particulièrement celles des collines les plus vulnérables



Forêts

- Augmentation de la déforestation provoquée par les besoins économiques et domestiques des ménages ainsi que l'abattage d'arbres pour le bois de chauffage, le bois de service et bois d'œuvre
- Dégradation des terres due à l'augmentation des températures
- Perte de la biodiversité, y compris les plantes et les animaux
- Augmentation de la prévalence de conflits autour des ressources forestières
- Augmentation des perturbations forestières telles que les épidémies d'insectes, les espèces envahissantes, les feux de brousse et les vents violents



Pêche

- Réduction de la productivité des rendements piscicoles dans les lacs et les systèmes fluviaux
- Augmentation de la pollution de l'écosystème marin
- La surpêche entraînant l'épuisement des ressources halieutiques
- Perte de stock halieutique due au caractère migrateur de certains poissons
- Dégradation des zones de frayère



Énergie

- Diminution de la production hydroélectrique
- Augmentation de la demande d'utilisations énergétiques à des fins domestiques et industrielles
- Envasement des barrages hydroélectriques

Cependant ces effets seront modérés per les initiatives encours ainsi que la mise en œuvre accélérée de la CDN et différentes politiques nationales encours qui retracent les actions d'atténuation et d'adaptation aux changements climatiques.-

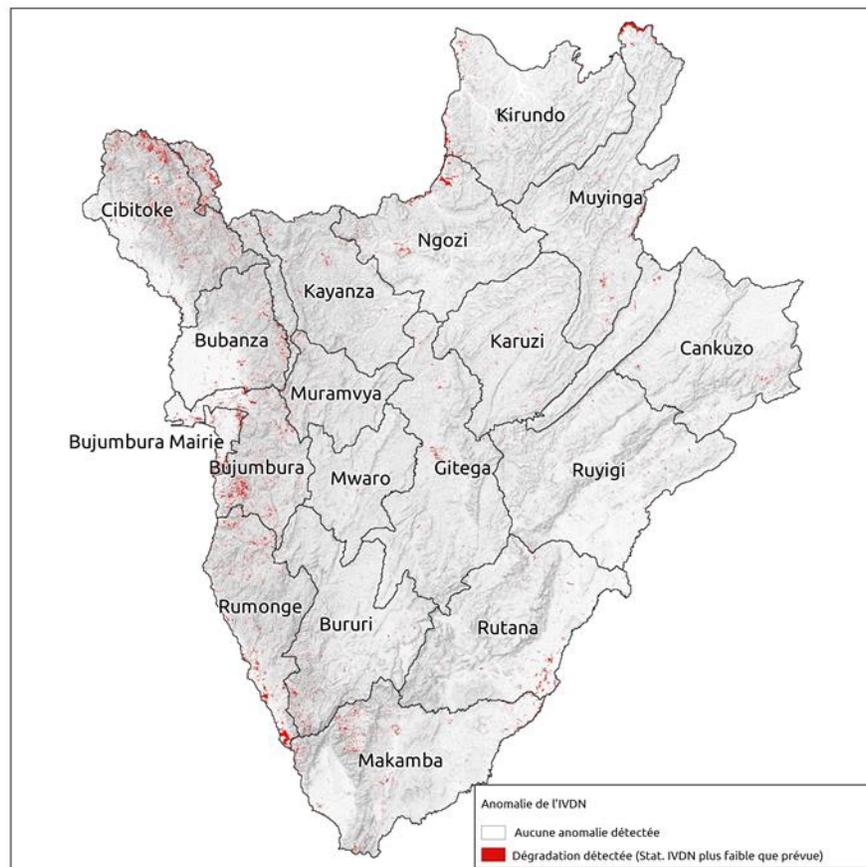
Secteur Environnemental et Forestier

L'environnement est un secteur transversal, incluant la terre, l'eau, la forêt, l'urbanisme et encore le transport. Cependant, cette sous-section se focalise uniquement sur le gain ou la perte de végétation en tant qu'indicateur environnemental de la restauration ou de la dégradation des terres au Burundi. Nous avons d'abord appris de l'Analyse Environnementale Pays du Burundi (2017) que chaque année, le Burundi perd près de 38 millions de tonnes de sol et 4% de son produit intérieur brut (PIB) à cause de la dégradation des terres³³.

Notre analyse des tendances récentes de la dégradation des terres (2017-2020) montre que plus de 33 000 hectares supplémentaires de terres ont connu une dégradation aiguë depuis lors (1,2% de la superficie terrestre du Burundi), dont 10 800 ha de terres productives (1% de toutes les terres productives). Cette dégradation est concentrée dans 188 collines. Au Graphique 20, les zones en rouge sont celles avec une incidence plus élevée de dégradation récente que la moyenne sur 20 ans et sont concentrées principalement le long des frontières ouest et nord du pays. Notez que par "dégradation aiguë", nous

entendons des taux bien supérieurs à la moyenne nationale. Sur la base de tendances historiques plus longues (2000-2021), des points de dégradation ont été détectés dans 330 000 hectares du total de 25 000 km² analysés (12,85% du pays).

L'augmentation des températures contribue également à la dégradation des terres au Burundi. En outre, les taux de déforestation augmentent en raison de la forte dépendance des ménages aux produits forestiers pour le bois de chauffage, le bois de service et d'œuvre^{32,33}. Le manque de diversification économique et la forte dépendance aux ressources naturelles augmentent l'incidence des conflits autour des ressources forestières au Burundi. Les écosystèmes dégradés subissent des pertes de la biodiversité, y compris les plantes et les animaux, et la perte de services écosystémiques essentiels tels que la pollinisation, la purification de l'eau, la filtration de l'air et la séquestration du carbone. En outre, l'augmentation des perturbations forestières peut contribuer aux épidémies d'insectes, à l'introduction d'espèces envahissantes et à l'incidence de graves feux de brousse³².



Graphique 20. Résultats de l'analyse des tendances récentes de la dégradation des terres

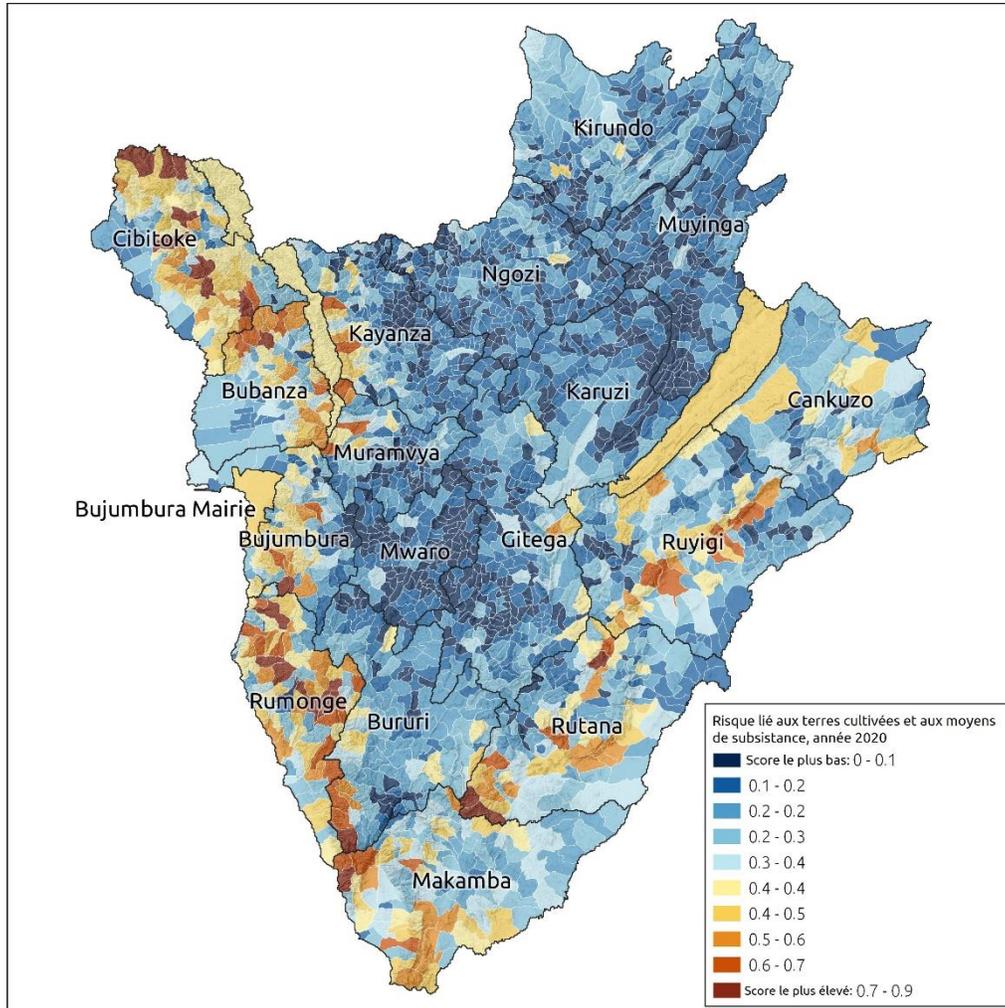
Secteur Agricole

La plupart des Burundais dépendent de l'agriculture pour leur subsistance. Le changement climatique constitue une menace existentielle pour le secteur agricole au Burundi. Malgré l'incertitude entourant l'évolution des précipitations à travers le Burundi dans les modèles CORDEX, il existe un accord entre les modèles selon lequel les températures augmenteront, impliquant des taux d'évapotranspiration élevés qui réduiraient l'eau disponible pour la croissance des plantes³⁶. Malgré le désaccord entre les modèles CSIRO et MIROC concernant la variation des précipitations, Baramburiye et *al.* (2012). cependant, les initiatives en cours d'intensifications de la production à travers les centres de rayonnement permettront de réduire les impacts et permettent une augmentation de la production.

Les résultats des modèles des risques d'érosion et de glissements de terrain ont été superposés avec des données sur la localisation des terres cultivées pour estimer le risque relatif de ces risques pour le secteur agricole. L'érosion accrue des sols et les glissements de terrain graves dégraderont les terres agricoles et réduiront le rendement des cultures ainsi que la production agricole globale et la productivité agricole. En outre, à mesure que le réchauffement climatique augmente, l'augmentation des incidences de ravageurs et de maladies affectera les cultures et le bétail au Burundi³².

Notre analyse révèle que les activités agricoles dans les collines situées dans les communes de Makamba, Bubanza, Mairie de Bujumbura, Bujumbura, Cibitoke et Rumonge sont relativement plus à risque que de nombreuses autres collines du pays. Les mêmes collines disposent de meilleures opportunités d'impliquer le secteur agricole en matière d'utilisation de solutions fondées sur la nature (SFN) pour atténuer la dégradation et l'érosion des sols qui menacent la sécurité alimentaire et les moyens de subsistance. Le Graphique 21 montre les collines avec la plus grande superficie de terres cultivées à risque d'érosion et de glissements de terrain, et où ces risques ont le plus augmenté au cours de la période de 20 ans³.

Les résultats multirisques au niveau des provinces (glissements de terrain et érosion) (au Tableau 1 ci-dessus), ainsi que les scores au niveau des collines (à l'Annexe 6.1., Banque mondiale, 2021 - Rapport Technique 1³) sont fournis pour appuyer la hiérarchisation des localités où des activités de SFN et de gestion du paysage pour lutter contre la dégradation des terres, la perte de terres et les glissements de terrain devraient être mises en œuvre. Les SFN pour la mise en place de pratiques agricoles et de gestion des cultures intelligentes face au climat au Burundi peuvent inclure l'agriculture de conservation, l'agroforesterie, l'intégration agrosylvo-zootéchnique, la revégétalisation des pentes dénudées et le long des corridors riverains, et la protection des écosystèmes naturels existants en bon état.



Graphique 21. Indice de risque pour l'alimentation et les moyens de subsistance, montrant les collines avec la plus grande superficie de terres cultivées à risque d'érosion et de glissements de terrain, et également où ces risques ont le plus augmenté au cours de la période de 20 ans.

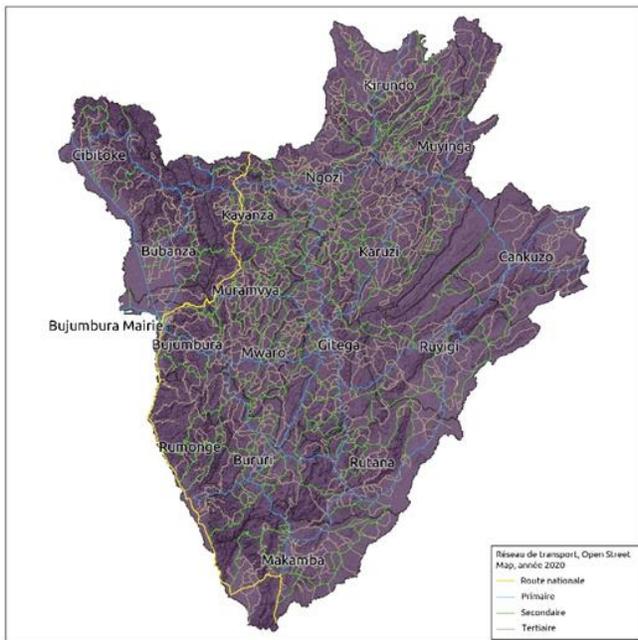
Secteur des Infrastructures

Le secteur des infrastructures du Burundi reste très vulnérable aux impacts du changement climatique, en particulier les inondations et les glissements de terrain causés par des précipitations intenses. Les données probantes révèlent que les inondations et glissements de terrain pluviaux et fluviaux ont causé des dommages aux infrastructures publiques telles que les routes, les ponts, les hôpitaux, les réseaux électriques, les écoles et les marchés^{3,4}. De même, ces risques constituent des menaces imminentes pour les propriétés privées telles que les maisons, les hôtels et les véhicules. Il ne fait aucun doute que les impacts du changement climatique affecteront les infrastructures publiques et privées du Burundi et augmenteront les déplacements forcés de sous-groupes démographiques vulnérables, en particulier celles

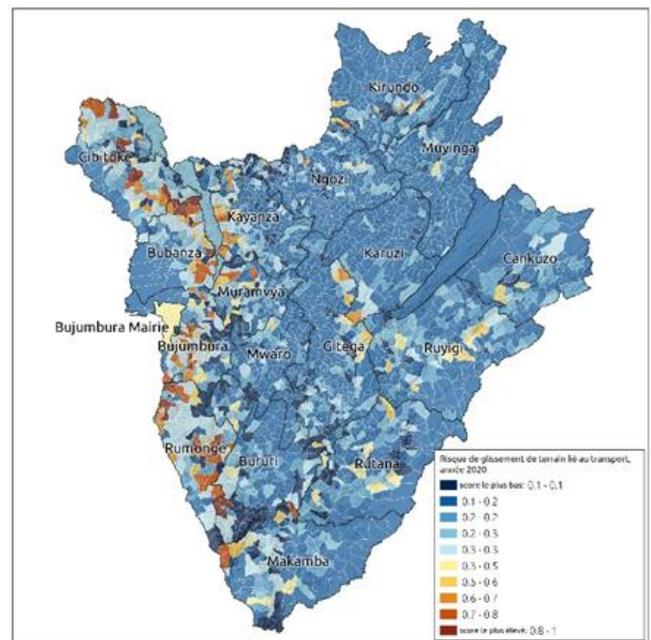
des collines les plus pauvres avec une capacité d'adaptation ou des ressources limitées pour résister aux chocs^{2,30}.

Selon notre analyse, les collines des provinces Bubanza, Mairie de Bujumbura, Bujumbura, Cibitoke et Rumonge ont la plus forte densité de routes à risque de glissements de terrain. De même, ces collines ont également un fort potentiel de solutions fondées sur la nature. Par conséquent, l'implication du secteur des transports (routes) dans la conception et la coordination des activités de gestion des paysages de SFN permettra d'atténuer ces risques. Le Graphique 22b montre les collines où la plupart des routes sont exposées à des risques de glissements de terrain et d'écoulement et où ces risques ont augmenté au cours des 20 dernières années. La destruction des infrastructures par les événements climatiques extrêmes freine le développement économique du Burundi.

a)



b)



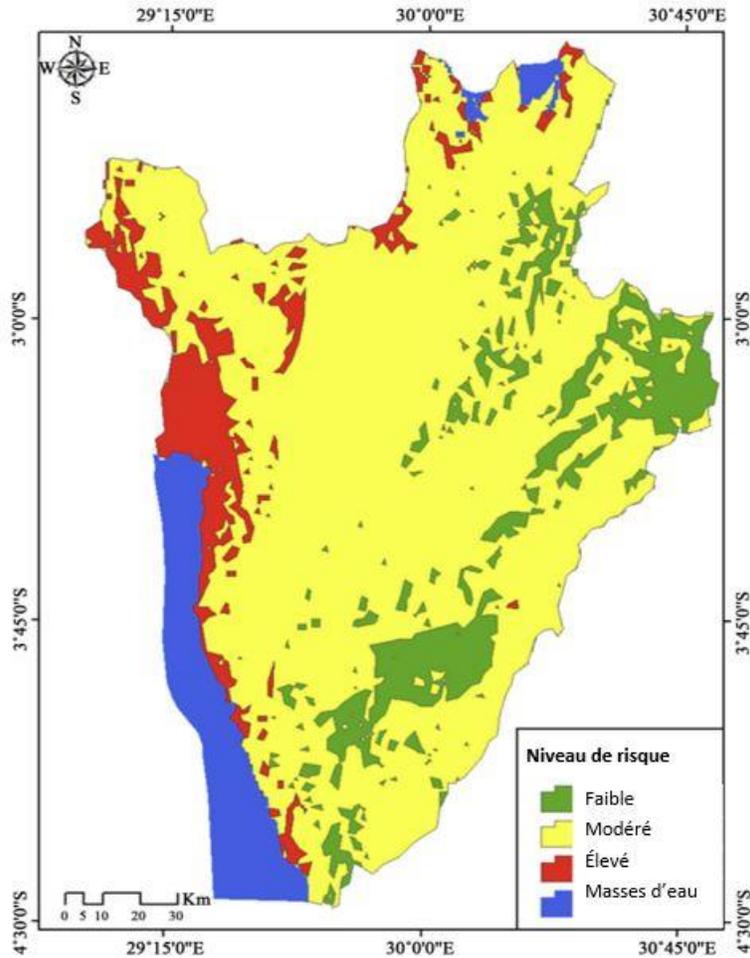
Graphique 22. Réseau de transport (a, à gauche) et réseaux de transport menacés par les glissements de terrain (b, à droite). La carte montre les collines où la plupart des routes sont soumises à des risques de glissements de terrain et d'écoulement, et où ces risques ont augmenté au cours des 20 dernières années

Secteur de la Santé

L'impact du changement climatique sur la santé et les maladies infectieuses est un sujet de préoccupation au Burundi. Selon la Banque africaine de développement³², le changement climatique accentuera la malnutrition en raison d'une alimentation déséquilibrée, contribuera à la prévalence des maladies à transmission vectorielle telles que le paludisme, augmentera la prévalence des maladies d'origine hydrique

transmissibles et non transmissibles telles le choléra, la dysenterie et augmentera le nombre de personnes à risque de stress thermique et de ses affections connexes, les personnes âgées, les malades chroniques et les enfants sont particulièrement vulnérables.

La littérature académique suggère que la transmission du paludisme au Burundi augmente avec des températures plus élevées, en particulier des températures nocturnes (minimum) plus élevées^{35,37-39}. Par exemple, Hassaan et *al.* (2017) 39 ont évalué le risque de paludisme au Burundi dans le cadre du changement climatique à l'aide du modèle SIG ([Graphique 23](#)). Alors que l'analyse des derniers modèles climatiques montre un degré élevé d'incertitude dans les variations projetées des précipitations, l'accord sur les variations des températures quotidiennes maximales et minimales (nuit) annuelles suggère que le changement climatique pourrait entraîner une augmentation de la transmission du paludisme à travers le Burundi⁴.



Graphique 23. Carte des risques de paludisme dans le cadre du changement climatique à l'aide d'un modèle basé sur le SIG. Source : Hassaan et al., 2017³⁹

De plus, l'accord entre les modèles sur les variations de température de plus de 2°C, même dans le scénario RCP 4.5, pour 2040–2060 attire l'attention sur l'impact potentiel des chaleurs extrêmes. Dans une étude portant sur l'exposition à la température apparente (qui prend en compte l'humidité et la vitesse du vent ainsi que la température), sous RCP 8.5, le Burundi passera de 0 jour de stress thermique par an à 5 à 10 jours de stress thermique par mois en août/septembre en 2070-2099, l'Est du pays étant probablement le plus touché⁴⁰. Cette étude a utilisé les simulations à 0,25°C du Modèle Communautaire du Système Terrestre. Des données probantes ont également montré que la dégradation des bassins versants sources augmente le risque de maladies diarrhéiques chez les enfants (Herrera et al. 2017)⁴¹, ce qui souligne le rôle de la gestion du paysage et des solutions fondées sur la nature pour soutenir un approvisionnement en eau potable sain en milieu rural.

Secteur de l'Énergie

Le secteur énergétique du Burundi contribue au réchauffement climatique et reste vulnérable aux impacts extrêmes et graves du changement climatique tels que les inondations, les vents violents, les glissements de terrain, etc. L'une des principales sources d'énergie au Burundi est l'hydroélectricité, et la variable climatique clé qui stimule la production hydroélectrique est le total des précipitations. Alors que cette étude montre un accord limité entre les modèles, une étude de Manirakiza *et al.* (2021)⁴², utilisant également des simulations CORDEX, suggère des baisses de production de 11% et de 16% d'ici 2050 sur le bassin versant de Rwegura sous RCP 4.5 et RCP 8.5 respectivement. De plus, une érosion accrue telle que prédite par notre analyse pourrait avoir de graves conséquences sur la production énergétique, en réduisant la capacité de stockage et la productivité des réservoirs hydroélectriques⁴³. Ces réductions de productivité doivent être prises en compte parallèlement à l'augmentation prévue de la demande en énergie. Dans l'ensemble, les utilisations énergétiques du Burundi à des fins domestiques et industrielles sont en croissance et devraient augmenter avec le temps. Si la résilience du secteur aux effets extrêmes du changement climatique n'est pas renforcée, le développement socio-économique du Burundi régressera en l'absence d'un approvisionnement énergétique approprié, notamment pour le développement industriel.

L'énergie éolienne a été explorée comme une possibilité de production d'énergie afin de répondre aux besoins nationaux croissants de l'offre et de la demande. Une tendance à la hausse des vitesses du vent a été détectée ces dernières années, mais les vitesses moyennes du vent ne sont prometteuses que pour la production d'électricité à petite échelle⁴⁴. Cette tendance à la hausse de la vitesse du vent devrait se poursuivre dans le futur, mais les projections ne placent pas la vitesse du vent aux 7 mètres par seconde (m/s) requis pour la production d'énergie éolienne à grande échelle jusqu'à la fin du siècle⁴⁴.

Secteur de l'Eau et de la Pêche

Le lac Tanganyika est également menacé par les défis environnementaux mondiaux et locaux, notamment le changement climatique, la pollution de l'eau et la surpêche³⁴. Le réchauffement différentiel de la surface du lac par rapport aux profondeurs a conduit à un gradient de densité accru avec un potentiel réduit de mélange vertical. Cela limite les flux de nutriments vers la zone phototrophe⁴⁵, ce qui a un impact sur la productivité du lac et réduit potentiellement les rendements piscicoles. De plus, les inondations dues aux niveaux d'eau exceptionnellement élevés du lac Tanganyika en 2021 suggèrent que des travaux supplémentaires devraient être effectués pour évaluer l'impact projeté du changement climatique sur les niveaux du lac (Graphique 24). Les niveaux du lac ont une réponse retardée par rapport aux précipitations et sont mieux corrélés avec une moyenne mobile sur cinq ans des précipitations du bassin versant²².

Les aléas climatiques tels que les fortes précipitations provoquant des inondations pluviales et l'augmentation de la vitesse du vent entraînant une sédimentation croissante contribuent tous à la baisse de la qualité des masses d'eau de surface au Burundi. La pollution de l'eau et la sédimentation nuisent gravement aux utilisateurs d'eau et aux espèces marines. Par exemple, les rendements de la pêche et la productivité économique du secteur diminueront, tandis que de nombreuses espèces de poissons sont susceptibles de migrer en raison du réchauffement accru. Dans l'ensemble, l'utilisation croissante de l'eau par la population pour l'agriculture et l'approvisionnement énergétique pourrait probablement épuiser les aquifères souterrains du Burundi si des mesures d'efficacité dans l'utilisation de l'eau ne sont pas encouragées³².



Graphique 24. Inondations augmentant les eaux du lac Tanganyika. Crédit photo : AP, provenant de Republic News ⁴⁶. Note : « Les récentes inondations dues à la montée des eaux du lac Tanganyika au port de Bujumbura au Burundi ont touché 8 000 familles avec environ 2 000 personnes déplacées dans les communautés au bord du lac, notamment Bugarama, Kanyenkoko, Muhuta, Nyanza-Lac, Gatumba, Rukaramu, Kibenga, Gisyo et Kabondo dans la province de Bujumbura, à environ 12 km de la ville » ⁴⁷.

Fragilité, Conflits et Violence (FCV)

Au Burundi, les impacts historiques des conflits ont exacerbé les vulnérabilités socio-économiques, physiques et environnementales, rendant la population plus susceptible d'être touchée par les aléas climatiques et les impacts du changement climatique. Dans le cas le plus récent, le déplacement forcé était principalement dû à un conflit, mais ces dernières années ont montré que le déplacement est fortement motivé par les impacts des catastrophes climatiques, la dépendance aux ressources naturelles et la fragilité environnementale. Sur la base des entretiens et de l'analyse documentaire, il est devenu clair que la terre joue un rôle essentiel dans la vie de nombreux Burundais. Alors que la rareté des terres est déjà à l'origine de certains conflits intracommunautaires, notre rapport suggère que les conflits fonciers resteront ou pourraient même augmenter à l'avenir, car les terres arables deviennent improductives en raison des impacts du changement climatique. Les projections climatiques indiquent que des températures plus élevées à l'avenir entraîneront une évaporation accrue affectant la productivité agricole. En supposant que la disponibilité des terres reste la même (actif immobilisé), l'expansion agricole est irréaliste car les impacts du changement climatique s'intensifient au Burundi. Par conséquent, on s'attend à ce que la terre reste une source continue de conflit au Burundi, en particulier de conflits fonciers intracommunautaires. Cela est dû au fait que le risque de catastrophe est un facteur d'aléas multiplié par la vulnérabilité et l'exposition, donc les populations ayant des niveaux élevés de vulnérabilités préexistantes de différents types sont plus susceptibles d'être affectées par les aléas que d'autres. Cependant les efforts encours en matière de mise en commun des terres et la mise en œuvre de la politique nationale de villagisation pourront réduire ces conflits.

Toutes les personnes interrogées consultées par le Climate Center ont qualifié la ville de Bujumbura de foyer de conflit et de violence liés aux propriétés foncières. Bujumbura a été décrite comme la zone ayant la plus forte intensité de conflit ainsi que la plus forte densité démographique, exacerbant ainsi la vulnérabilité des citoyens aux aléas climatiques. Nous avons en outre identifié des zones sensibles touchées par le conflit dans les provinces de Cibitoke, Rumonge, Buzanza, Bujumbura et dans les provinces le long des régions frontalières avec la RDC ([Graphique 25](#)). Même si nous ne pouvons pas conclure que ces conflits sont uniquement liés au climat, les données probantes suggèrent que les impacts liés aux aléas climatiques pourraient être un multiplicateur de menaces pouvant créer ou exacerber les conflits existants au Burundi, y compris, mais sans s'y limiter, la violence liée à la rareté des ressources naturelles telles que l'eau, les stocks halieutiques et les terres arables, en particulier les conflits intracommunautaires.

Plusieurs collines des zones à risque climatique abritent également des personnes déplacées à l'intérieur du pays (PDI) et des réfugiés, ce qui souligne la complexité de ces localités avec des zones sensibles à risques multiples et la vulnérabilité globale à laquelle les personnes sont confrontées en tant que conséquence indirecte et directe de la variabilité climatique et des impacts du changement climatique. Ce déplacement a un impact sur l'environnement, car ils dépendent fortement des ressources naturelles pour répondre à leurs besoins de survie. Par exemple, ils abattent des arbres pour le bois de chauffage et pour

construire des abris ; ces activités, à leur tour, ont un impact sur le sol. Il est important de souligner qu'une analyse plus approfondie de l'impact des conflits et des déplacements sur l'utilisation des ressources naturelles et les coûts environnementaux pour la société est recommandée.

RÉSULTATS : ZONES SENSIBLES À RISQUES MULTIPLES

En mettant ensemble tous les résultats de l'étude, l'agrégation finale des résultats affiche des zones sensibles critiques de vulnérabilité climatique à l'échelle nationale au Burundi. Comme indiqué précédemment, un indice INFORM amélioré a été utilisé pour identifier les zones sensibles à risques multiples climatiques et à la fragilité au Burundi – où les besoins d'investissement pour atteindre la résilience climatique sont les plus importants. Sur la base de l'indice INFORM, compte tenu des aléas, de l'exposition, de la vulnérabilité et de la capacité d'adaptation, notre étude a identifié 347 collines considérées comme étant 'très hautement' vulnérables (c'est-à-dire un score de risque de 6,5 à 7,52), tandis que 1 780 autres collines sont 'très' vulnérables aux aléas climatiques (score de risque de 5,0 à 6,40). Dans l'ensemble, la moitié du Burundi est soit 'très hautement' ou 'très' vulnérable aux aléas climatiques. Seule une petite partie du pays, à savoir 489 collines, a une classe de vulnérabilité moyenne. La répartition spatiale de la vulnérabilité est homogène – les localités du Nord et de l'Ouest du pays sont extrêmement vulnérables, tandis que les parties Sud-Est et Est ont une classe de vulnérabilité inférieure. Il n'y a pas de collines qui sont dans les classes de vulnérabilité faible ou très faible (Graphique 26 et Tableau 4). Nous avons ajouté les 347 collines les plus vulnérables dans l'Annexe 8 ci-dessous.

Les collines 'très hautement' vulnérables sont celles qui nécessiteraient l'attention la plus imminente de la part des autorités gouvernementales et des décideurs politiques. Les provinces de Kirungu, Cibitoke et Gitega sont celles qui abritent le plus grand nombre de collines à très haut risque : Kirundo 91, Cibitoke 42 et Gitega 31 collines. Les cinq collines les plus vulnérables au Burundi sont – selon le score INFORM sont indiquées dans le tableau 3 :

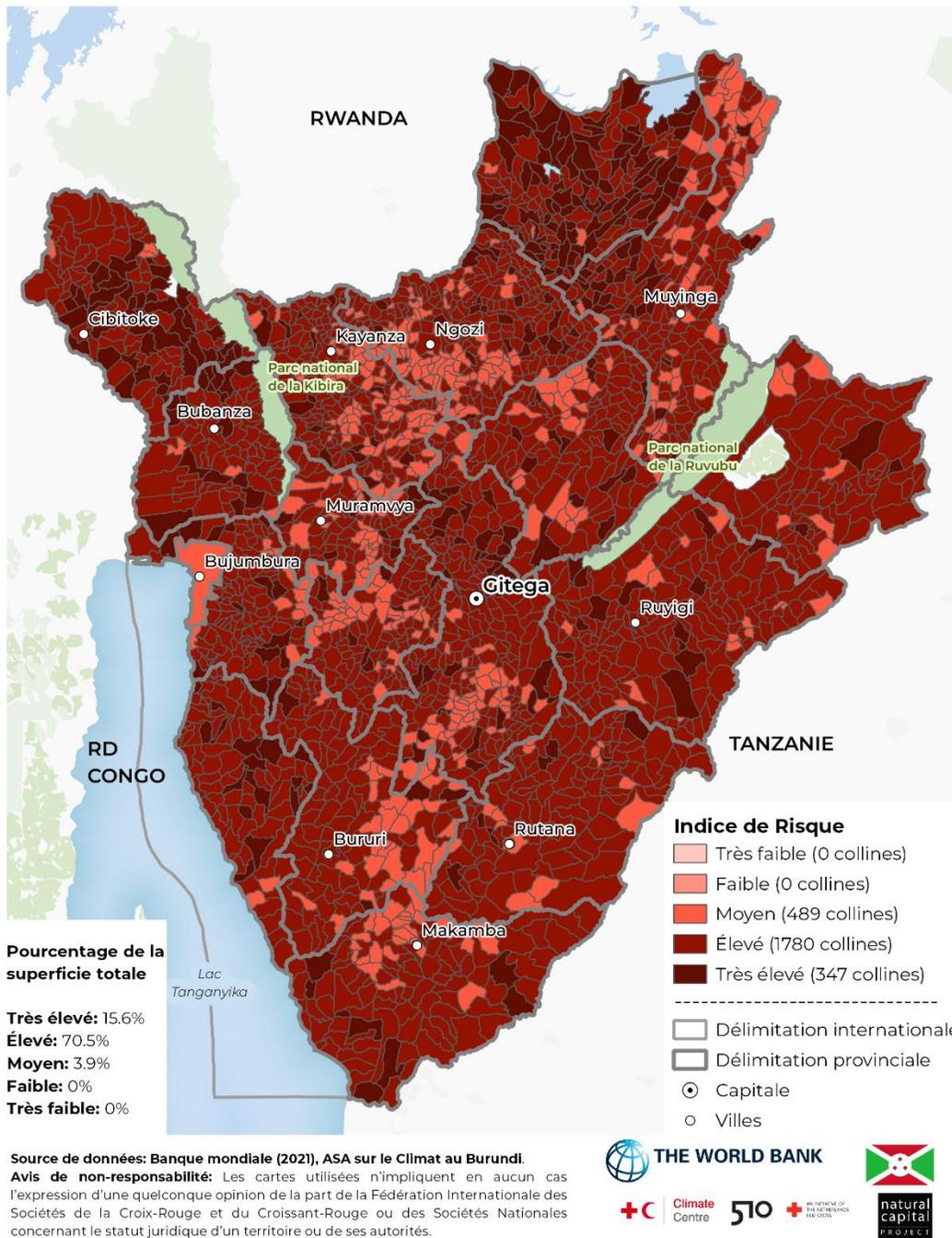
Tableau 3 : Collines très hautement vulnérable au Burundi

N°	Colline	Commune	Province	Score
1	Gasenyi,	Bweru	Ruyigi	7,52
2	Gisenyi	Buhiga	Karuzi	7,47
3	Bukinanyana	Bukinanyana	Cibitoke	7.41
4	Ndava	Buraza	Gitega	7.4
5	Rutyazo	Bukinanyana	Cibitoke	7.36

Tableau 4. Nombre de collines par classe par dimension

Classe	Risque	Vulnérabilité	Manque de capacité d'adaptation	Aléa & Exposition
Très élevé	347	1296	2367	178
Élevé	1780	1200	216	888
Moyen	489	120	27	749
Faible	0	0	5	801
Très faible	0	0	1	0

INDICE DE RISQUE COMPOSITE INFORM BURUNDI



Graphique 255. Score de risque composite final – à l'aide de l'indice de risque INFORM

Indicateurs multiples d'aléas et d'exposition.

L'exposition au changement climatique selon **Adger (2006)**, est définie comme étant la nature et le degré auquel un système ressent un stress environnemental ou socio-politique ; la sensibilité comme le degré auquel un système est affecté ou modifié par les perturbations ; et la capacité d'adaptation comme l'habilité d'un système à évoluer afin d'évaluer le niveau de vulnérabilité et la capacité d'adaptation à ces changements climatiques.

La **vulnérabilité** est fonction de la nature, de l'ampleur et du rythme de la variation du climat (alias l'exposition) à laquelle le système considéré est exposé et de la sensibilité de ce système à cette variation du climat.

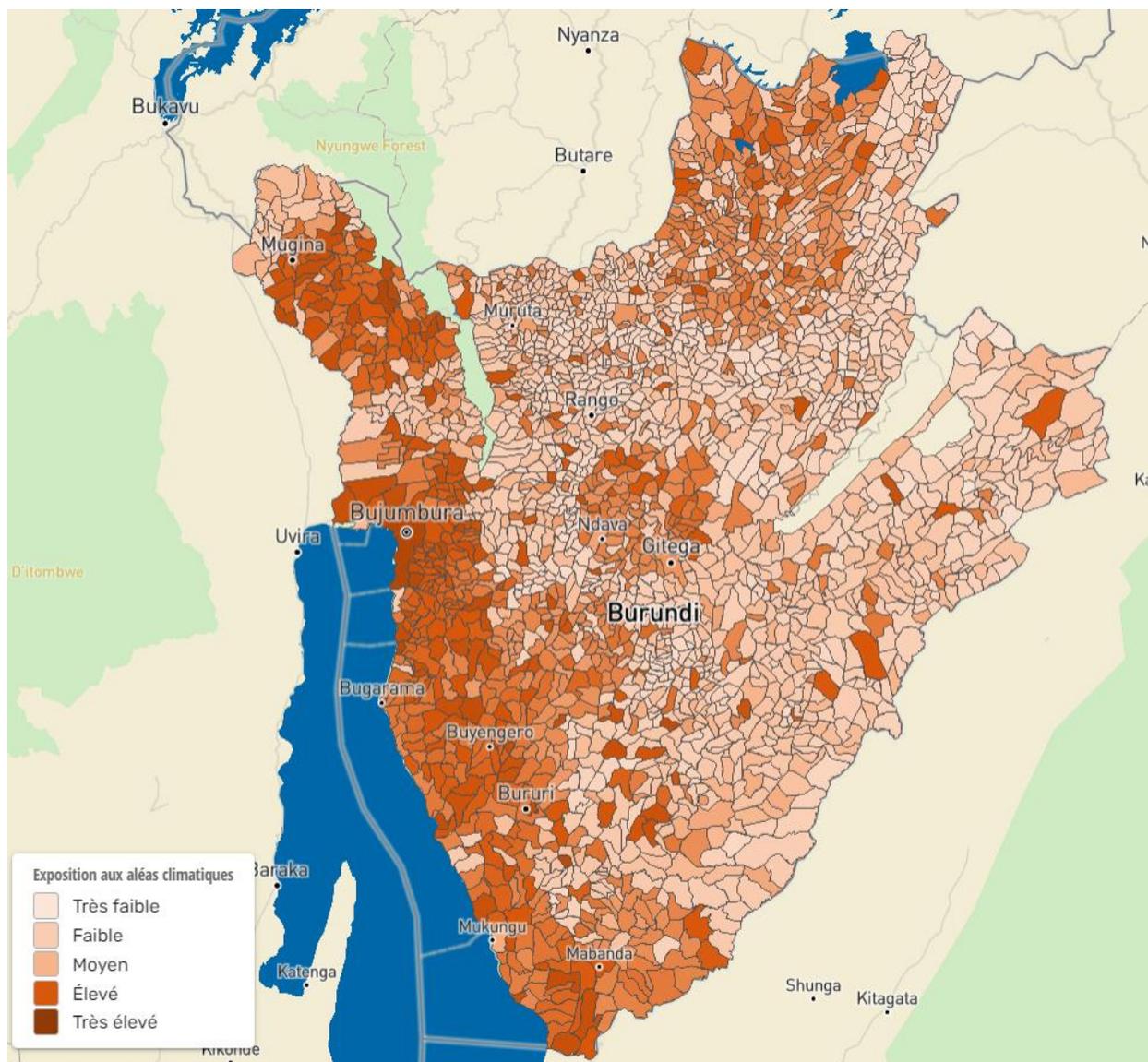
L'analyse des aléas et de l'exposition pour le Burundi a classé les 2 616 collines dans les classes suivantes :

- **Très élevé** : 178 collines.
- **Élevé** : 888 collines.
- **Moyen** : 749 collines.
- **Faible** : 801 collines.

Ces chiffres permettent de conclure qu'environ 40% des collines du Burundi est exposé aux risques. La plupart des collines très exposées sont situées le long du lac Tanganyika (Graphique 27). Les collines les plus exposées à une combinaison d'aléas multiples au Burundi sont – selon le score de risque et d'exposition INFORM :

1. Mairie de Bujumbura - 8,13
2. Bukinanyana, Bukinanyana (Province de Cibitoke) - 8,05
3. Nyamaboko, Kanyosha (Province de Bujumbura) - 7,76
4. Gitaza, Muhuta (Province de Rumonge) - 7,72
5. Gasenyi, Bururi (Province de Bururi) - 7,7

* La vulnérabilité mesure l'exposition, la sensibilité et la capacité du pays à faire face aux effets négatifs du changement climatique en tenant compte de la vulnérabilité dans six secteurs vitaux : alimentation, eau, services écosystémiques, santé, habitat humain et infrastructures.



Graphique 266. Score composite d'aléa et d'exposition

Indicateurs de vulnérabilité

Nous avons utilisé les bases de données sur les collines de l'OCHA. Comme de nombreuses organisations ont des versions différentes de cette base de données, les chiffres ne correspondent pas. Cependant, aucune colline n'a été exclue. Ce qui s'est probablement passé, c'est que dans la base de données de l'OCHA, certaines collines ont été fusionnées ou divisées, donnant un nombre différent. Comme il n'y a pas de base de données standardisée, il n'y a pas d'autre option.

Il n'y a qu'une seule colline dans la catégorie "très faible" dans la dimension de la vulnérabilité. Toutes les autres dimensions d'INFORM, ainsi que le score global d'INFORM ont zéro colline dans la catégorie "très faible".

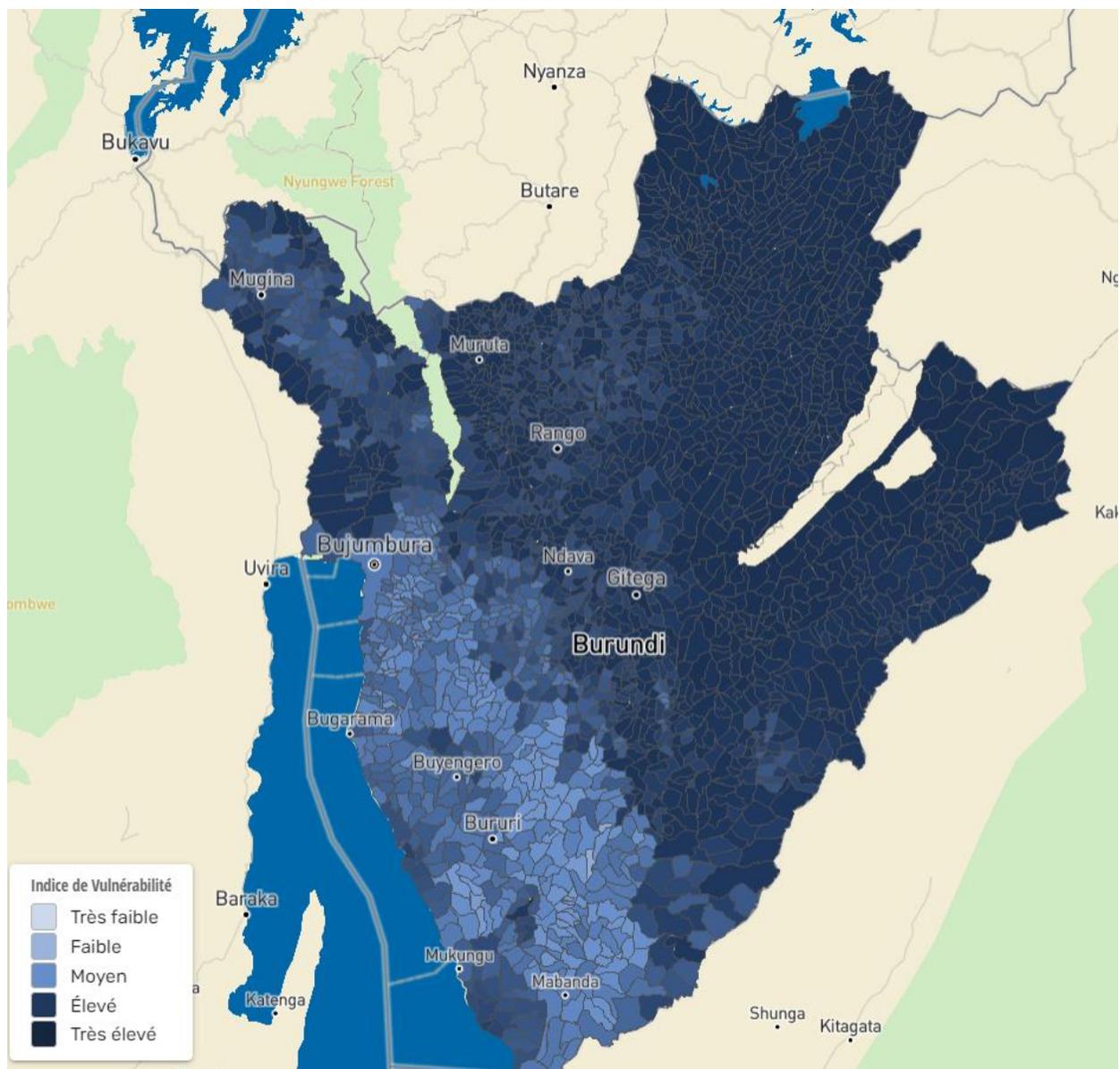
L'analyse de la vulnérabilité pour le Burundi a classé les 2 616 collines dans les classes de vulnérabilité suivantes :

- **Très élevé:** 1 296 collines
- **Élevé:** 1 200 collines
- **Moyen:** 120 collines

Ces chiffres sont extrêmement élevés – la moitié du Burundi est très hautement vulnérable, tandis que l'autre moitié est très vulnérable. Seule une petite partie du pays, à savoir 120 collines, a une classe de vulnérabilité moyenne. (Graphique 28). Il n'y a pas de collines dans les classes de vulnérabilité faible ou très faible.

Les cinq collines les plus vulnérables au Burundi sont :

1. Centre Urbain, Cankuzo (Province de Cankuzo) - 7,9
2. Muramvya, Butihinda (Province de Muyinga) - 7,88
3. Kibimba, Mishiha (Province de Cankuzo) - 7,84
4. Maramvya, Gitaramuka (Province de Karuzi) - 7,84
5. Rusagara, Kigamba (Province de Cankuzo) - 7,82



Graphique 277. Score Composite de Vulnérabilité[‡]

[‡] Au moment de l'analyse, les données actualisées relatives à l'indicateur sur l'insécurité alimentaire n'étaient pas à la disposition de l'équipe.

Manque de capacité d'adaptation

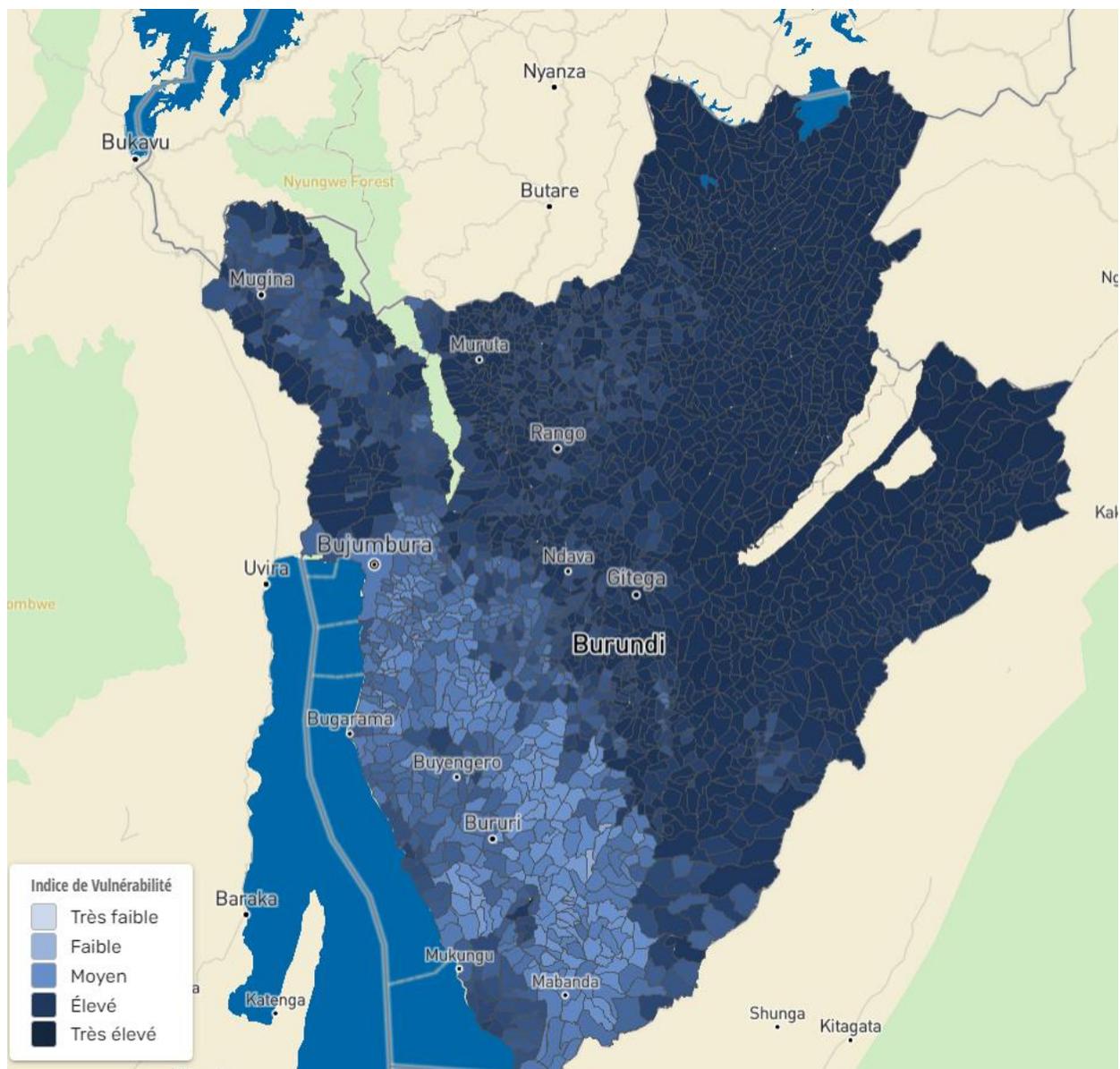
Le manque de capacité d'adaptation pour le Burundi a classé les 2 616 collines dans les classes suivantes :

- **Très élevé:** 2 367 collines.
- **Élevé:** 216 collines.
- **Moyenne:** 27 collines.
- **Faible:** 5 collines.

La majeure partie du Burundi affiche un manque très élevé de capacité d'adaptation – 2 367 collines

(Graphique 29). Cela signifie que la plupart du pays n'est pas en mesure de fournir une réponse d'urgence ou un rétablissement à la population. Les 5 collines ayant la plus faible capacité d'adaptation au Burundi sont – selon le score de manque de capacité d'adaptation d'INFORM :

1. Musenga, Mwakiro (Province de Muyinga) - 9,58
2. Kivumu, Butezi (Province Ruyigi) - 8,82
3. Nyarumanga, Matongo (Province Kayanza) - 8,69
4. Nyamugongo, Mpinga-Kayove (Province Rutana) - 8,65
5. Kagege, Vugizo (Province de Makamba) - 8,62



Graphique 288. Score Composite de Manque de Capacité d'Adaptation

RECOMMANDATIONS

Au Niveau des Politiques

Des actions prioritaires et clés ont été envisagées par la CDN pour faire face aux changements climatiques. Néanmoins, des recommandations de l'étude des Services d'Analyse et de Conseil (ASA) sur le climat et la fragilité climatique du Burundi accompagnent la CDN que nous présentons en deux catégories principales :

- Un environnement favorable se focalise sur le renforcement institutionnel et le renforcement des capacités des institutions et de la population du Burundi à comprendre les risques liés au changement climatique et à concevoir des mesures pour soutenir le développement résilient au changement climatique tel qu'envisagé par le Gouvernement du Burundi et clairement énoncé dans sa CDN 2020.
- Les investissements sectoriels appellent à des planifications sectorielles et intersectorielles en vue du renforcement de la résilience climatique.

Une approche intersectorielle nécessitera l'intégration des stratégies d'adaptation et d'atténuation du changement climatique dans toutes les politiques et plans sectoriels au Burundi.

Environnement Propice

- Renforcer les capacités des institutions concernées au Burundi, telles que les institutions en charge de la veille et du suivi climatique, ce qui est une condition préalable pour mener à bien les étapes de collecte de données, d'hierarchisation et de planification qui seront nécessaires pour concevoir des programmes de résilience climatique efficaces.
- Travailler en collaboration avec les communautés pour piloter la planification de l'adaptation sur le terrain.
- Investir dans la recherche et le développement sur le climat au Burundi, ce qui nécessite l'utilisation des plus récents appareils technologiques, des méthodes scientifiques robustes et des logiciels/outils innovants pour collecter régulièrement des données sur les risques et les analyser pour éclairer les processus de prise de décision politique.
- Établir une base de données nationale pour le suivi des impacts climatiques/catastrophes au niveau des collines, autour du lac Tanganyika et au niveau provincial au Burundi.
- Promouvoir le partage des connaissances entre les différentes communes qui conçoivent des programmes afin de développer une base de connaissances partagées et de rationaliser les futurs efforts de planification.

Au niveau Sectoriel :

Secteur Environnemental et Forestier

- Investir dans des solutions fondées sur la nature (SFN) en vue d'atténuer les risques d'érosion et de glissements de terrain sur la population, les aliments/les moyens de subsistance et les

infrastructures de transport. L'engagement des parties prenantes sera crucial lors de la phase de conception pour s'assurer que les activités SFN proposées et modélisées soient adaptées au contexte local et qu'elles soient susceptibles d'être pérennisées à long terme.

- Créer des conditions favorables à des activités génératrices de revenus dans les zones rurales en restaurant les paysages des collines dégradées, en améliorant la productivité avec des pratiques intelligentes face au climat et en diversifiant les revenus pour atténuer les déplacements internes dus aux aléas climatiques.
- Améliorer la surveillance de l'environnement en temps réel pour un développement durable
- Développer le système national de gestion et de surveillance des forêts

Secteur agricole

- Investir dans des pratiques agricoles intelligentes face aux changements climatiques pour augmenter durablement la production et la productivité agricoles ;
- Adapter et renforcer la résilience au changement climatique des systèmes agricoles et de sécurité alimentaire au Burundi.
- Développer un système de suivi épidémiologique et d'alerte précoce des maladies et ravageurs des cultures et du bétail.

Secteur des Infrastructures

- Tenir compte des risques climatiques de divers aléas dans la planification des infrastructures dès la conception, la mise en œuvre et à l'étape de l'évaluation des projets de développement d'infrastructures ;
- Intégrer une solution fondée sur la nature (SFN) pour développer un projet d'infrastructures résilients aux changements climatiques au Burundi ;
- Mettre en place et appliquer les schémas directeurs national et provinciaux d'aménagement du territoire ;
- Mettre en place un cadre burundais géodésique (réseau de stations GNSS permanentes).

Secteur de la Santé

- Améliorer la résilience des Burundais face aux maladies telles que le paludisme, les maladies transmissibles et non transmissibles d'origine hydrique, les maladies dues au déséquilibre alimentaire ;
- Entreprendre une modélisation supplémentaire pour comprendre la manière dont d'autres maladies transmises par les moustiques pourraient augmenter la transmissivité sous l'effet du changement climatique.

Secteur de l'Énergie

- Intégrer des scénarios climatiques dans la planification à long terme des infrastructures énergétiques
- Promouvoir une utilisation efficace de l'énergie et investir dans des sources d'énergie renouvelable telles que l'énergie solaire, l'énergie éolienne et l'hydroélectricité.

Gestion des risques urbains/de catastrophe

- Se focaliser sur l'amélioration de la planification urbaine : reconstruire avec des matériaux résistants au climat et renforcer les logements et les abris existants particulièrement en ce qui concerne les mesures d'atténuation et d'adaptation relatives aux déplacements internes dus aux extrêmes climatiques.
- Envisager des solutions résilientes au climat et élaborer des plans d'urgence au niveau communautaire dans les projets futurs et en cours sur l'amélioration des infrastructures (telles que l'électrification) où les risques de glissements de terrain et d'inondation sont élevés.
- Mettre en œuvre des mesures pour renforcer les maisons et mieux reconstruire avec des matériaux résilients au climat ;
- Éviter de construire des maisons dans des zones dangereuses, par exemple, là où les inondations sont déjà un risque et devraient s'aggraver (Cibitoke, Bubanza et Bujumbura).

Secteur de l'Eau et de la Pêche

- Surveiller et gérer la qualité et la quantité de l'eau du lac Tanganyika et les masses d'eau souterraine et de surface à travers tout le pays en tant que ressources pour l'avenir
- Investir dans la mise en œuvre du plan de gestion intégrée du littoral du lac Tanganyika Investir dans des solutions fondées sur la nature dans des zones de sources d'eau pour contrôler l'érosion et d'autres risques de pollution des masses d'eau
- Créer des zones tampons riveraines autour des rivières et des lacs pour réduire les risques de pollution
- Faire le suivi des schémas migratoires des pêches, évaluer les stocks et promouvoir l'exploitation durable des ressources halieutiques

Fragilité, Conflits et Violence (FCV)

- Promouvoir une programmation sensible aux conflits dans le contexte de l'adaptation aux changements climatiques, en tenant compte des impacts des conflits historiques et de la probabilité de conflits futurs qui peuvent être exacerbés par les impacts climatiques.
- Mettre en œuvre des mesures d'engagement communautaire – en particulier pour les jeunes – afin d'atténuer le risque accru des poches de fragilité dans les zones non planifiées autour des établissements urbains.

- Créer des emplois verts pour fournir des moyens de subsistance durables, en partie pour réduire les déplacements internes induits par les changements climatiques en raison de sécheresses récurrentes, d'inondations intenses et de glissements de terrain graves
- Mener une étude ciblée sur la dépendance aux ressources naturelles et le risque de conflit fonciers au Burundi.

Secteur hydrométéorologique (climat)

- Améliorer le système de suivi des aléas climatiques visant le renforcement du Système d'Alerte Précoce
- Renforcement des capacités en matière de surveillance et de prévision des aléas climatiques

Tableau de synthèse des activités prioritaires proposées par la CDN 2020 et des ajouts proposés par ce rapport

Activités prioritaires de la CDN	Les ajouts proposés par le travail
Secteur Environnement et Forestier : <ul style="list-style-type: none"> - .Développer la foresterie rurale - développement de la filière bambou au Burundi pour protéger les rives des rivières - .Réhabiliter les milieux dégradés dans le Mumirwa et le Bugesera - Projet de réhabilitation des milieux dégradés dans le bassin du Congo et le Bugesera 	<ul style="list-style-type: none"> - Investir dans des solutions fondées sur la nature (SFN) en vue d'atténuer les risques d'érosion et de glissements de terrain sur la population, les aliments/les moyens de subsistance et les infrastructures de transport. L'engagement des parties prenantes sera crucial lors de la phase de conception pour s'assurer que les activités SFN proposées et modélisées soient adaptées au contexte local et qu'elles soient susceptibles d'être pérennisées à long terme. - Créer des conditions favorables à des activités génératrices de revenus dans les zones rurales en restaurant les paysages des collines dégradées, en améliorant la productivité avec des pratiques intelligentes face au climat et en diversifiant les revenus pour atténuer les déplacements internes dus aux aléas climatiques.

<p>Secteur Agricole :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Développement de la culture du Moringa - Un suivi- évaluation continue pour la mise en œuvre des projets /programmes /mesures conçus pour atténuer les émissions et les absorptions ultérieures dues aux perturbations naturelles sur les terres exploitées est fait. - Amélioration de la composition des aliments pour le bétail en adoptant les systèmes d'intégration agro sylvo zootechniques 	<ul style="list-style-type: none"> - Investir dans des pratiques agricoles intelligentes face aux changements climatiques pour augmenter durablement la production et la productivité agricoles ; - Adapter et renforcer la résilience au changement climatique des systèmes agricoles et de sécurité alimentaire au Burundi.
<p>Secteur des infrastructures(le secteur n'est pas pris en considération dans le CDN)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Tenir compte des risques climatiques de divers aléas dans la planification des infrastructures dès la conception, la mise en œuvre et à l'étape de l'évaluation des projets de développement d'infrastructures ; - Intégrer une solution fondée sur la nature (SFN) pour développer un projet d'infrastructures résilients aux changements climatiques au Burundi ; - Mettre en place et appliquer les schémas directeurs national et provinciaux d'aménagement du territoire ; - Mettre en place un cadre burundais géodésique (réseau de stations GNSS permanentes).
<p>-Secteur de la Santé : Installer aux 455 établissements de santé et scolaire de l'énergie solaire</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Développer un système de suivi épidémiologique et d'alerte précoce des maladies et ravageurs des cultures et du bétail liées au climat

<p>Secteur de l'énergie :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Accroître la capacité de production de l'énergie hydroélectrique - Accroître la capacité de production de l'énergie par le système photovoltaïque - Promouvoir l'utilisation des digesteurs à biogaz dans les écoles à internat pour compenser l'utilisation du bois pour la cuisson 	<ul style="list-style-type: none"> - Intégrer des scénarios climatiques dans la planification à long terme des infrastructures énergétiques
<p>Secteur des risques urbains/de catastrophe (Le secteur n'est pas pris en considération dans le CDN)</p>	
<p>Secteur de l'eau et de la pêche</p> <ul style="list-style-type: none"> - Maitrise de l'eau en vue de l'accroissance de la production de l'agriculture et de l'élevage - Renforcement des capacités des ressources humaines dans le domaine de l'eau 	<ul style="list-style-type: none"> - Investir dans la mise en œuvre du plan de gestion intégrée du littoral du lac Tanganyika Investir dans des solutions fondées sur la nature dans des zones de sources d'eau pour contrôler l'érosion et d'autres risques de pollution des masses d'eau - Créer des zones tampons riveraines autour des rivières et des lacs pour réduire les risques de pollution - Faire le suivi des schémas migratoires des pêches, évaluer les stocks et promouvoir l'exploitation durable des ressources halieutiques
<p>Fragilité, conflits et violence(FCV) (Le secteur n'est pas pris en considération dans le CDN)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Promouvoir une programmation sensible aux conflits dans le contexte de l'adaptation aux changements climatiques, en tenant compte des impacts des conflits historiques et de la probabilité de conflits futurs qui peuvent être exacerbés par les impacts climatiques.

	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre en œuvre des mesures d'engagement communautaire – en particulier pour les jeunes – afin d'atténuer le risque accru des poches de fragilité dans les zones non planifiées autour des établissements urbains. - Créer des emplois verts pour fournir des moyens de subsistance durables, en partie pour réduire les déplacements internes induits par les changements climatiques en raison de sécheresses récurrentes, d'inondations intenses et de glissements de terrain graves - Mener une étude ciblée sur la dépendance aux ressources naturelles et le risque de conflit fonciers au Burundi.
<p>Secteur hydrométéorologique (climat) (Le secteur n'est pas pris en considération dans le CDN)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Améliorer le système de suivi des aléas climatiques visant le renforcement du Système d'Alerte Précoce -Renforcement des capacités en matière de surveillance et de prévision des aléas climatiques

CONCLUSION

Le changement climatique fait peser des menaces existentielles sur de multiples secteurs au Burundi, notamment l'agriculture, l'environnement, les écosystèmes, la santé, la foresterie, l'énergie, les infrastructures, les établissements humains et la gestion des ressources en eau.

Le Burundi a connu une tendance générale au réchauffement des températures annuelles moyennes depuis 1979, avec une tendance de 0,31°C [0,18-0,41°C] par décennie et, par conséquent, les températures nocturnes les plus froides ont diminué tandis que les températures diurnes les plus chaudes ont augmenté. Les précipitations dans tous les bassins versant du Burundi ont été dominées par la variabilité naturelle. Malgré l'incertitude des modèles, il existe un schéma constant d'humidification dans la région Nord et d'assèchement dans la région Sud du Burundi. Par rapport à l'Est, la partie Ouest du Burundi est plus fortement exposée aux précipitations extrêmes, aux inondations pluviales et fluviales, au nombre maximal de jours secs consécutifs, à une pente instable entraînant des glissements de terrain, à un risque accru d'érosion des sols et à un risque accru de paludisme. Les impacts du changement climatique, y compris les inondations et les glissements de terrain, contribuent de manière significative au déplacement forcé interne de milliers de personnes au Burundi.

Dans l'ensemble, des investissements dans la résilience climatique sont nécessaires de toute urgence pour réduire les niveaux élevés de risque et de vulnérabilité du Burundi aux aléas climatiques, à savoir l'augmentation des températures, les précipitations intenses, les inondations fréquentes, les sécheresses graves, les glissements de terrain, les vents violents et les incendies ainsi que le stress thermique affectant les populations, les infrastructures, la biodiversité et divers services et fonctions écosystémiques productifs. Par conséquent, le Gouvernement du Burundi et la Banque mondiale travailleront main dans la main pour développer de nouveaux projets en vue de mettre en œuvre des actions et des options d'investissement recommandées au Burundi.

- Les recommandations de l'étude comprennent, sans s'y limiter, (a) investir dans la recherche et le développement climatiques au Burundi, (b) investir dans des pratiques agricoles intelligentes face au climat, (c) Adapter et renforcer la résilience au changement climatique des systèmes agricoles et de sécurité alimentaire au Burundi (d) développer un système de suivi épidémiologique et d'alerte précoce des maladies et ravageurs des cultures et du bétail (e) évaluer l'efficacité d'une série d'interventions SFN proposées dans des collines spécifiques prioritaires afin de renforcer la réduction des risques climatiques, (f) surveiller et gérer la qualité et la quantité de l'eau du lac Tanganyika et les masses d'eau souterraine et de surface à travers tout le pays en tant que ressources pour l'avenir, (g) mettre en œuvre des mesures visant à renforcer la résilience urbaine – reconstruire les maisons et les infrastructures publiques avec des matériaux mieux résilients au climat, (h) identifier des solutions et développer des plans d'urgence au niveau communautaire aujourd'hui et à l'avenir, en particulier lorsque les risques de glissements de terrain et d'inondation sont élevés, (i) la prise en compte du risque climatique dans la planification des infrastructures dès

la conception à la mise en œuvre, aux étapes d'évaluation des projets de développement d'infrastructures,(j) mettre en place et appliquer les schémas directeurs national et provinciaux d'aménagement du territoire (k) mettre en place un cadre burundais géodésique (réseau de stations GNSS permanentes) (l) créer des emplois verts pour fournir des moyens de subsistance durables, en partie pour atténuer les déplacements internes induits par le climat en raison des sécheresses récurrentes, d'inondations intenses et de glissements de terrain graves, (m) Améliorer la surveillance de l'environnement en temps réel pour un développement durable et développer le système national de gestion et de surveillance des forêts, (n) améliorer le système de suivi des aléas climatiques visant le renforcement du Système d'Alerte Précoce, (o) Renforcement des capacités en matière de surveillance et de prévision des aléas climatiques.

RESSOURCES NUMÉRIQUES INTERACTIVES

1. L'accès à la carte narrative https://angelinarc.github.io/Burundi_hotspots/
2. Les e-books numériques :
 - a. Version française <https://spatialagent.org/BurundiClimateLandscapeFr/>
 - b. Version anglaise : <https://spatialagent.org/BurundiClimateLandscapeEn/>
3. Ressources de connaissances : <https://spatialagent.org/Burundi/filter.html>

DOCUMENTATION ADDITIONNELLE

Annexe 1. Stations synoptiques utilisées dans l'analyse des tendances des précipitations, des températures maximales et minimales

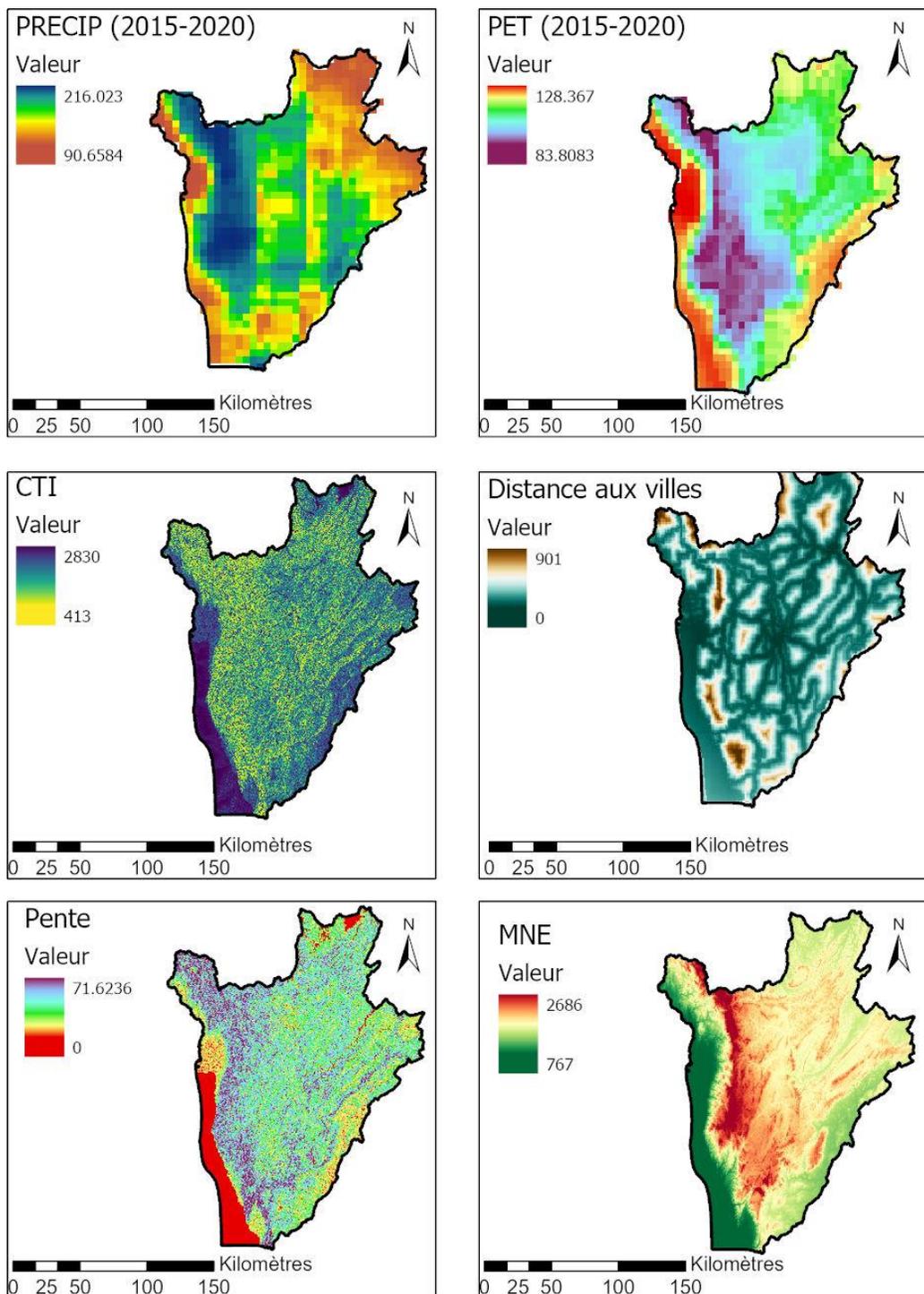
STATIONS	LON	LAT	PR	Tmaxi	Tmin
BUJUMBURA (Aéroport)	29,32	-3,32	1991-2020	1991-2020	1991-2020
CANKUZO (Projet)	30,38	-3,28	1991-2020	1991-2020	--
GIGOZI	29,68	-3,57	--	1991-2020	1991-2020
GITEGA (Aérodrome)	29,92	-3,42	1991-2020	1991-2020	1991-2020
KARUZI	30,17	-3,10	1991-2020	1991-2020	1991-2020
KINYINYA	30,33	-3,65	1991-2020	--	1991-2020
KIRUNDO (Projet)	30,12	-2,58	1991-2020	1991-2020	1991-2020
MAKAMBA	29,82	-4,13	1991-2020	--	--
MURIZA	30,08	-3,53	1991-2020	--	--
MUSASA	30,10	-4,00	1991-2020	1991-2020	1991-2020
MUYINGA	30,35	-2,85	1991-2020	--	--
NYAMUSWAGA	30,03	-2,88	1991-2020	1991-2020	1991-2020
RUVYIRONZA	30,25	-3,48	1991-2016	--	--
RWEGURA	29,52	-2,92	1991-2020	--	--
TORA	29,53	-3,73	1991-2016	--	--
RWEZA	29,6	-4,1	1991-2016	--	--

Annexe 2. Liste des simulations CORDEX et GCMS à échelle réduite pour RCP 4.5 et RCP 8.5

	<i>MCM</i>	<i>RÉALISATION</i>	<i>MCR.VERSION</i>	<i>RCP45</i>	<i>RCP85</i>
1	CanESM2	r1i1p1	CanRCM4.r2	✓	✓
2	CanESM2	r1i1p1	RCA4.v1	✓	✓
3	CNRM-CM5	r1i1p1	CCLM4-8-17.v1	✓	✓
4	CNRM-CM5	r1i1p1	RCA4.v1	✓	✓
5	CSIRO-Mk3-6-0	r1i1p1	RCA4.v1	✓	✓
6	EC-EARTH	r12i1p1	CCLM4-8-17.v1	✓	✓
7	EC-EARTH	r12i1p1	REMO2009.v1	✓	✓
8	EC-EARTH	r12i1p1	RCA4.v1	✓	✓
9	EC-EARTH	r1i1p1	RACMO22T.v1	✓	✓
10	EC-EARTH	r3i1p1	HIRHAM5.v2	✓	✓
11	IPSL-CM5A-LR	r1i1p1	REMO2009.v1	x	✓
12	IPSL-CM5A-MR	r1i1p1	RCA4.v1	✓	✓

13	MIROC5	r1i1p1	REMO2009.v1	x	✓
14	MIROC5	r1i1p1	RCA4.v1	✓	✓
15	HadGEM2-ES	r1i1p1	RACMO22T.v2	✓	✓
16	HadGEM2-ES	r1i1p1	RCA4.v1	✓	✓
17	HadGEM2-ES	r1i1p1	REMO2009.v1	x	✓
18	HadGEM2-ES	r1i1p1	CCLM4-8-17.v1	✓	✓
19	MPI-ESM-LR	r1i1p1	RCA4.v1	✓	✓
20	MPI-ESM-LR	r1i1p1	REMO2009.v1	✓	✓
21	MPI-ESM-LR	r1i1p1	CCLM4-8-17.v1	✓	✓
22	NorESM1-M	r1i1p1	RCA4.v1	✓	✓
23	NorESM1-M	r1i1p1	HIRHAM5.v1	✓	✓
24	GFDL-ESM2M	r1i1p1	RCA4.v1	✓	✓

Annexe 3. Facteurs conditionnant les risques d'inondation pour la cartographie des risques d'inondation au Burundi



Annexe 4. Description des données et sources utilisées pour la modélisation des risques d'inondation à l'aide d'une approche d'évaluation spatiale multicritères

Couches de Modèles	Source	Résolution	Format	Référence
Indice de Végétation par Différence Normalisée (IVDN)	Dérivé de Landsat 7 et 8 de 2000 à 2020	30m (30 arc second)	Raster	49
Modèle Numérique d'Élévation (MNE)	SRTM DEM, 2000	30m (30 arc second)	Raster	50
Indice Topographique Composé (ITC)	U.S. Geological Survey (USGS)	30m (30 arc second)	Raster	51
Évapotranspiration Potentielle	TerraClimate	~4-km	Raster	52
Précipitations	CHIRPS	0.05°x0.05°	Raster	10
Population	WorldPop, 2020	100m	Raster	53
Accessibilité (distance jusqu'aux villes)	Weiss et al. (2018)	1 × 1 km	Raster	54

Annexe 5. Gravité du risque d'inondation et niveaux de vulnérabilité pour les principaux facteurs conditionnant le risque d'inondation

Niveau d'Exposition & de Vulnérabilité	Gravité de Risque				
	Très faible	Faible	Modéré	Élevé	Très Elevé
Indice de Risque	1	2	3	4	5
IVDN (indice)	>0,637	0,637-0,527	0,527-0,416	0,416-0,305	<0,305
Élévation (m)	<1155	1155-1543	1543-1931	1931-2319	>2319
Précipitations (mm)	<115,7	115,7-140,8	140,8-165,9	165,9-191,0	>191,0
Évapotranspiration Potentielle (mm)	>119,5	119,5-110,5	110,5-101,6	101,6-92,7	<92,7
Pente (%)	<15	15,2-30,4	30,4-45-6	45,6-60,8	>60,8
Indice Topographique Composé (ITC)	<902,4	902,4-1391,8	1391,8-1881,2	1881,2-2370,6	>2370,6
Temps de Voyage (minutes)/	<211,4	211,4-422,8	422,8-634,2	634,2-845,6	>845,6
Accès à la mobilité					
Populations (personnes/100m)	<168	168-335	335-502	502-669	>836

Annexe 6. Sources de données utilisées à la Banque mondiale, 2021 - Rapport Technique 1³ dirigé par Vogl et al.

Type de données	Description	Date	Résolution	Format de fichier	Source	Lien de la source	Utilisé pour
Général							
DEM	Modèle Numérique d'Élevation	2000	30m	Raster	Mission de topographie radar de la navette de la NASA (SRTM)	http://dwtkns.com/srtm30m/	Modélisation SDR, SWY et glissements de terrain
DEM	Modèle Numérique d'Élevation	2000	90m	Raster	WWF Hydrosheds, Hydrological Cond. DEM	https://www.hydrosheds.org/	Modélisation SDR, SWY et glissements de terrain
Couverture du sol & Utilisation du Sol (LULC)	LULC dérivé des images Landsat 7 & 8	2000-2020	30m	Raster	US Geological Survey (USGS)	https://earthexplorer.usgs.gov/	Modélisation SDR, SWY et glissements de terrain
Précipitations	Précipitations quotidiennes	1995-2020	5Km	Raster	CHIRPS: Estimations des précipitations à partir des pluviomètres et des observations par satellite	https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps	Modélisation SDR, SWY et glissements de terrain
Entités Administratives	Délimitation des Collines	2015	Admin level 3	shapefile	Princeton University	https://maps.princeton.edu/catalog/stanford-sq099nt6064	Modélisation SDR, SWY et glissements de terrain
Érosion (SDR)							
Érodabilité du sol	Coefficient d'érodabilité USLE_K du sol dérivé des propriétés physiques	2020	250m	Raster	Soil Grids	https://www.isric.org/explore/soilgrids	Modélisation SDR
Érosivité des précipitations	Érosivité EI_30 des précipitations moyennes annuelles	5-52 years to date	1km	Raster	Rainfall Erosivity of the World	https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/global-rainfall-erosivity	Modélisation SDR
USLE_C	Facteur de couverture végétale, par type d'utilisation du sol/type de couverture du sol	2000-2020	30m	Raster	Culture/facteur de couverture USLE_C, obtenu à partir de la base de données des paramètres biophysiques de NatCAP Invest	https://naturalcapitalproject.stanford.edu/sites/g/files/sbiybj9321ff/sediment_db_0311.xlsx	Modélisation SDR
USLE_P	Facteur de pratique de gestion, par type d'utilisation/de couverture des sols	2020	30m	Table	Coefficients moyens de pratiques productives USLE_P, attribués selon les directives de l'USDA	https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79706928/PDF	Modélisation SDR
Risque de glissements de terrain							
Pente de terrain	Dérivé de DEM	2000	30m	Raster	Mission de topographie radar de la navette de la NASA (SRTM)	http://dwtkns.com/srtm30m/	Modélisation des glissements de terrain

Épaisseur du profil de sol affectée par la résistance à la traction des racines	Profondeur du profil de sol à l'horizon R	2020	250	Raster	Soil Grids	https://www.isric.org/explore/soilgrids	Modélisation des glissements de terrain
Saturation attendue du profil de sol	Teneur en eau, % du profil de sol pendant la saison des pluies attendu, basé sur la surface du débit de base de la modélisation SWY, la surface annuelle EI_30 et les propriétés physiques du sol.	2020	250	Raster	Soil Grids	https://www.isric.org/explore/soilgrids	Modélisation des glissements de terrain
Angle de friction interne de sol	Paramètre de résistance au cisaillement du sol, dérivé des propriétés physiques du sol en utilisant plusieurs sources pour les valeurs de référence basées sur les groupes de texture	2020	250	Raster	Soil Grids	https://www.isric.org/explore/soilgrids	Modélisation des glissements de terrain
Densité apparente du sol		2020	250	Raster	Soil Grids	https://www.isric.org/explore/soilgrids	Modélisation des glissements de terrain
Sol (texture + cohésion des racines)	Force de cisaillement de la biomasse racinaire dans le profil de sol, ajustée à 5 kPa sur la base de plusieurs sources pour les valeurs de référence pour les zones avec une couverture végétale de forêts ouvertes utilisant des surfaces LULC	2020	30m	Raster	-	-	Modélisation des glissements de terrain
Zones de libération pour la modélisation de la trajectoire du processus gravitationnel	Zones de pentes instables (FS<1) issues de la modélisation des glissements de terrain à l'aide de l'approche de modélisation de pente infinie du facteur de sécurité	2020	30m	Raster	-	-	Modélisation des glissements de terrain
Rendement Saisonnier en Eau							
Précipitations	Précipitations moyennes par mois, 2000-2020	2000-2020	5km	Rasters mensuels	CHIRPS: Estimations des précipitations à partir de pluviomètres et d'observations par satellite	https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps	Modélisation SWY
Évapotranspiration de référence	Référence moyenne ET par mois, 2000-2020	2000-2020	5km	Rasters mensuels	TerraClimate: ensemble de données sur le climat mensuel et le bilan hydrique climatique pour les surfaces terrestres mondiales.	http://www.climatologylab.org/terraclimate.html	Modélisation SWY
Groupe hydrologique des sols	Dérivé des propriétés physiques du sol, selon les recommandations de l'USDA.	2020	250m	Raster	Soil Grids	https://www.isric.org/explore/soilgrids	Modélisation SWY
Zones climatiques	Statistiques sur les précipitations calculées au niveau de la commune	2000-2020	30m	Raster	CHIRPS: Estimations des précipitations à partir de pluviomètres et d'observations par satellite	https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps	Modélisation SWY

Événements pluvieux	Événements pluvieux moyens par mois, par zone climatique	2000-2020	5km	.csv table	CHIRPS: Estimations des précipitations à partir de pluviomètres et d'observations par satellite	https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps	Modélisation SWY
Kc	Coefficient d'utilisation de l'eau par type de couverture/utilisation du sol	2000-2020	500m	.csv table	MOD16A2 v006 MODIS/Terra Net Evapotranspiration 8-Day L4 Global 500 m	https://lpdaac.usgs.gov/products/mod16a2v006/	Modélisation SWY
CN	numéro de couverture de ruissellement par type d'utilisation /de couverture du sol et par groupe de sol.	2020	30m	.csv table	USDA National Engineering Handbook, Chapitre 9 Complexes hydrologiques de couverture de sol	https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=17758.wba	Modélisation SWY
Risques Sectoriels							
Production Agricole	Couvertures agricoles dérivées de la classification par imagerie satellitaire	2020	30m	Raster	Classification des images satellite Landsat 7 & 8	-	Avantages de l'analyse SFN
Transport	1er, 2e et 3e réseau routier	2020	30m	Raster	OpenStreetMap	-	Avantages de l'analyse SFN

Annexe 7. Indicateurs relatifs aux dimensions du risque : vulnérabilité, exposition aux risques et manque de capacité d'adaptation.

VULNÉRABILITÉ

Indicateur	Source	Granulosité
Indice de Pauvreté Multidimensionnelle	Oxford Poverty and Human Development Initiative	Province
Taux de Mortalité due au Paludisme	WHO Global Health Observatory Data Repository	Colline
Insécurité alimentaire (%)	PAM	Province
Conflit historique	UCDP	Colline
Personnes nécessiteuses (%)	OCHA	Province
Personnes âgées (> 60) pour 10 000 personnes	Facebook	Colline
Enfants de – 5 ans pour 10 000 personnes	Facebook	Colline
Femmes enceintes pour 10 000 personnes	WorldPop	Colline
Nombre de PDI	Matrice de Suivi des Déplacements	Colline

EXPOSITION AUX RISQUES

Exposition aux inondations	UNEP/GRID-Europe	Commune
Exposition aux sécheresses	UNEP/GRID-Europe	Commune
Exposition aux glissements de terrain	Équipe de Consultants de la Banque mondiale	Colline
Risque de conflit	ACLED , Analyse documentaire, et entrevues avec des experts	Colline

MANQUE DE CAPACITÉ D'ADAPTATION

Nombre de Formations Sanitaires/10,000	Global Health sites Mapping Project	Colline
Présence d'Écoles /10,000	OSM	Colline
Accès à l'électricité	Earth Observation Group	Colline
Accessibilité	Malaria Atlas	Colline

Annexe 8. 347 collines les plus vulnérables aux changements climatiques et à la fragilité au Burundi

No.	Province	Commune	Colline	SCORE DE L'INDICE DE RISQUE INFORM
1.	Ruyigi	Bweru	Gasenyi	7,52
2.	Karuzi	Buhiga	Gisenyi	7,47
3.	Cibitoke	Bukinanyana	Bukinanyana	7,41
4.	Gitega	Buraza	Ndava	7,40
5.	Cibitoke	Bukinanyana	Rurtyazo	7,36
6.	Kirundo	Gitobe	Cumba	7,33
7.	Cankuzo	Mishiha	Kibimba	7,27
8.	Cibitoke	Rugombo	Cibitoke	7,21
9.	Kirundo	Kirundo	Cumva	7,20
10.	Kirundo	Busoni	Buringa	7,20
11.	Kirundo	Kirundo	Kavomo	7,19
12.	Ruyigi	Bweru	Gatwaro	7,18
13.	Ngozi	Tangara	Cumba	7,17
14.	Kirundo	Busoni	Burara	7,16
15.	Kirundo	Vumbi	Vumbi	7,15
16.	Bururi	Bururi	Gasenyi	7,12
17.	Kirundo	Kirundo	Cewe	7,11
18.	Cibitoke	Mabayi	Kabere	7,10
19.	Rutana	Rutana	Musenyi	7,09
20.	Kirundo	Bwambarangwe	Budahunga	7,09
21.	Rumonge	Burambi	Gisenyi	7,08
22.	Gitega	Mutaho	Muyange	7,08

23.	Rutana	Musongati	Kamaramagambo	7,08
24.	Muyinga	Gashoho	Muyange	7,08
25.	Cibitoke	Bukinanyana	Gakomero	7,06
26.	Muyinga	Gasorwe	Buringa	7,04
27.	Kirundo	Busoni	Sigu	7,04
28.	Gitega	Mutaho	Nkongwe	7,00
29.	Kayanza	Butaganzwa	Bumba	6,99
30.	Ngozi	Kiremba	Ruvumu	6,99
31.	Kirundo	Ntega	Kigaga	6,99
32.	Cibitoke	Bukinanyana	Nyanwumba	6,99
33.	Ruyigi	Kinyinya	Kinyinya	6,98
34.	Ngozi	Busiga	Kididiri	6,98
35.	Kayanza	Matongo	Kinyovu	6,98
36.	Gitega	Itaba	Kirambi	6,96
37.	Kayanza	Matongo	Kivumu	6,95
38.	Kayanza	Kabarore	Gikingo	6,95
39.	Cibitoke	Rugombo	Ruvumera	6,94
40.	Muyinga	Butihinda	Rushombo	6,94
41.	Cibitoke	Bukinanyana	Nderama	6,94
42.	Cibitoke	Rugombo	Kagazi	6,94
43.	Muramvya	Muramvya	Kirama	6,93
44.	Bubanza	Bubanza	Buhororo	6,92
45.	Ngozi	Gashikanwa	Gatare	6,92
46.	Kirundo	Bugabira	Kiri	6,92
47.	Rumonge	Buyengero	Rubirizi	6,91

48.	Cibitoke	Bukinanyana	Kibati	6,91
49.	Muramvya	Rutegama	Cumba	6,89
50.	Muyinga	Muyinga	Murama	6,89
51.	Cibitoke	Mabayi	Gahoma	6,89
52.	Gitega	Ryansoro	Ndava	6,88
53.	Cibitoke	Rugombo	Karamira	6,88
54.	Ngozi	Nyamurenza	Gikingo	6,88
55.	Karuzi	Mutumba	Kigoma	6,88
56.	Muyinga	Mwakiro	Mukungu	6,88
57.	Cibitoke	Buganda	Ruhagarika	6,88
58.	Bubanza	Bubanza	Muhenga	6,87
59.	Gitega	Gitega	Higiro	6,87
60.	Cibitoke	Murwi	Ngoma	6,86
61.	Ruyigi	Butaganzwa	Nyamugari	6,86
62.	Ruyigi	Ruyigi	Kigamba	6,86
63.	Kirundo	Vumbi	Gahe	6,86
64.	Kirundo	Kirundo	Nyabibugu	6,86
65.	Bubanza	Gihanga	Buramata	6,85
66.	Bubanza	Bubanza	Gitanga	6,85
67.	Cibitoke	Murwi	Butega	6,85
68.	Kirundo	Ntega	Susa	6,85
69.	Kirundo	Busoni	Higiro	6,85
70.	Kirundo	Gitobe	Gihinga	6,85
71.	Kirundo	Kirundo	Runyonza	6,85
72.	Kirundo	Ntega	Murungurira	6,84

73.	Mwaro	Rusaka	Gasenyi	6,83
74.	Ruyigi	Ruyigi	Bunogera	6,82
75.	Kirundo	Bwambarangwe	Mukenke	6,82
76.	Mwaro	Rusaka	Mahonda	6,81
77.	Cibitoke	Mabayi	Mayuki	6,81
78.	Kirundo	Kirundo	Centre-Urbain	6,81
79.	Kirundo	Busoni	Kigoma	6,81
80.	Cibitoke	Murwi	Mushanga	6,80
81.	Rumonge	Burambi	Maramvya	6,79
82.	Muramvya	Mbuye	Kabuye	6,79
83.	Ngozi	Nyamurenza	Kigina	6,79
84.	Bubanza	Rugazi	Rugazi	6,78
85.	Gitega	Gitega	Mirama	6,78
86.	Rutana	Giharo	Gitanga	6,78
87.	Muyinga	Gashoho	Gisebeyi	6,78
88.	Rumonge	Muhuta	Gitaza	6,78
89.	Bubanza	Rugazi	Kayange	6,77
90.	Ruyigi	Butaganzwa	Gikwiye	6,77
91.	Kirundo	Ntega	Rushubije	6,77
92.	Kirundo	Kirundo	Karamagi	6,77
93.	Muyinga	Gasorwe	Jani	6,77
94.	Kayanza	Gahombo	Gasave	6,76
95.	Muyinga	Mwakiro	Rurtyazo	6,76
96.	Makamba	Vugizo	Kagege	6,75
97.	Bubanza	Mpanda	Gifunwe	6,75

98.	Cibitoke	Mugina	Marumpu	6,75
99.	Kirundo	Ntega	Bugorora	6,75
100.	Ngozi	Kiremba	Ruhata	6,74
101.	Kirundo	Ntega	Gisitwe	6,74
102.	Makamba	Nyanza-Lac	Mukimba	6,73
103.	Bubanza	Musigati	Ntamba	6,73
104.	Cibitoke	Rugombo	Munyika	6,73
105.	Kayanza	Rango	Gatare	6,73
106.	Gitega	Itaba	Kibogoye	6,73
107.	Karuzi	Shombo	Kiyange	6,73
108.	Karuzi	Nyabikere	Masama	6,73
109.	Gitega	Ryansoro	Kibaya	6,72
110.	Ngozi	Ruhororo	Gitaramuka	6,72
111.	Muyinga	Gasorwe	Karira	6,72
112.	Cibitoke	Buganda	Kaburantwa	6,72
113.	Bujumbura	Mukike	Nyarumanga	6,71
114.	Cibitoke	Buganda	Muremera	6,71
115.	Muramvya	Mbuye	Rwuya	6,71
116.	Cankuzo	Cendajuru	Kibande	6,71
117.	Rumonge	Buyengero	Kirama	6,70
118.	Bururi	Rutovu	Munyinya	6,70
119.	Karuzi	Bugenyuzi	Munyinya	6,70
120.	Kirundo	Kirundo	Rugero	6,70
121.	Cibitoke	Bukinanyana	Nyamyeha	6,69
122.	Muramvya	Mbuye	Kigina	6,69

123.	Kirundo	Gitobe	Marengo	6,69
124.	Cibitoke	Bukinyana	Nyarubugu	6,69
125.	Bujumbura	Isare	Kibuye	6,68
126.	Cibitoke	Mugina	Mwarangao	6,68
127.	Muramvya	Mbuye	Murehe	6,68
128.	Kirundo	Kirundo	Mataka	6,68
129.	Kirundo	Gitobe	Burwana	6,67
130.	Bubanza	Gihanga	Buringa	6,67
131.	Makamba	Mabanda	Musenyi	6,66
132.	Ngozi	Kirembo	Gahororo	6,66
133.	Kayanza	Kabarore	Tondero	6,66
134.	Makamba	Nyanza-Lac	Ruvumera	6,65
135.	Gitega	Bugendana	Carire	6,65
136.	Kirundo	Ntega	Rukore	6,65
137.	Bubanza	Musigati	Rugeyo	6,65
138.	Cibitoke	Murwi	Kivumvu	6,64
139.	Gitega	Giheta	Kibande	6,64
140.	Ruyigi	Kinyinya	Musumba	6,64
141.	Karuzi	Bugenyuzi	Muramba	6,64
142.	Kirundo	Ntega	Gihome	6,64
143.	Mwaro	Kayokwe	Maramvya	6,63
144.	Mwaro	Nyabihanga	Muyange	6,63
145.	Gitega	Ryansoro	Murama	6,63
146.	Karuzi	Bugenyuzi	Rwimbogo	6,63
147.	Kirundo	Kirundo	Mwenya	6,63

148.	Kirundo	Gitobe	Butahana	6,63
149.	Muyinga	Butihinda	Rabiro	6,63
150.	Rumonge	Buyengero	Mujigo	6,62
151.	Gitega	Buraza	Gicumbi	6,62
152.	Gitega	Itaba	Mugitega	6,62
153.	Karuzi	Nyabikere	Nyenzi	6,62
154.	Kirundo	Vumbi	Rugeri	6,62
155.	Karuzi	Buhiga	Ruyaga	6,62
156.	Rumonge	Buyengero	Banda	6,61
157.	Bujumbura	Mukike	Ruhororo	6,61
158.	Muramvya	Muramvya	Gatwaro	6,61
159.	Bubanza	Bubanza	Muhanza	6,61
160.	Makamba	Kayogoro	Sampeke	6,61
161.	Ngozi	Nyamurenza	Shoza	6,61
162.	Kirundo	Vumbi	Nyagatovu	6,61
163.	Kirundo	Gitobe	Rungazi	6,61
164.	Makamba	Nyanza-Lac	Mukerezi	6,61
165.	Bujumbura	Isare	Rutegama	6,60
166.	Bujumbura	Mutimbuzi	Rubirizi	6,60
167.	Kayanza	Butaganzwa	Ninga	6,60
168.	Ruyigi	Butaganzwa	Rugongo	6,60
169.	Ruyigi	Nyabitsinda	Mago	6,60
170.	Rumonge	Rumonge	Rumonge	6,60
171.	Makamba	Nyanza-Lac	Muyange	6,59
172.	Gitega	Giheta	Gasunu	6,59

173.	Muyinga	Gashoho	Nkohwa	6,59
174.	Kirundo	Gitobe	Gasuga	6,59
175.	Muyinga	Butihinda	Masaka	6,59
176.	Kirundo	Busoni	Rutabo	6,59
177.	Kirundo	Busoni	Nyagisozi	6,59
178.	Gitega	Gishubi	Yanza	6,58
179.	Cibitoke	Buganda	Nimba	6,58
180.	Cibitoke	Murwi	Kabuye	6,58
181.	Cibitoke	Bukinanyana	Bihembe	6,58
182.	Gitega	Giheta	Kaguhu	6,58
183.	Rutana	Gitanga	Gisenyi	6,58
184.	Karuzi	Gihogazi	Nyamiyaga	6,58
185.	Ngozi	Marangara	Kigoma	6,58
186.	Kirundo	Vumbi	Gasura	6,58
187.	Ruyigi	Butezi	Muyange	6,58
188.	Gitega	Bugendana	Bitare	6,57
189.	Karuzi	Gitaramuka	Nyarutovu	6,57
190.	Muyinga	Gashoho	Bwisha	6,57
191.	Kirundo	Ntega	Runyankezi	6,57
192.	Kirundo	Vumbi	Gashingwa	6,57
193.	Kirundo	Vumbi	Kirima	6,57
194.	Kirundo	Vumbi	Rwamikore	6,57
195.	Kirundo	Kirundo	Gikuyo	6,57
196.	Kirundo	Kirundo	Kinyangurube	6,57
197.	Kirundo	Vumbi	Kabirizi	6,57

198.	Muyinga	Butihinda	Gahehe	6,57
199.	Muyinga	Gashoho	Buvumbi	6,57
200.	Kirundo	Busoni	Nyabugeni	6,57
201.	Bujumbura	Mukike	Rukina	6,56
202.	Gitega	Giheta	Gishuha	6,56
203.	Ngozi	Kirembe	Ruhama	6,56
204.	Kirundo	Vumbi	Butsimba	6,56
205.	Kirundo	Vumbi	Canika	6,56
206.	Kirundo	Bwambarangwe	Kibonobono	6,56
207.	Kirundo	Busoni	Nyakizu	6,56
208.	Kirundo	Busoni	Buhimba	6,56
209.	Kirundo	Bugabira	Rugasa	6,56
210.	Rutana	Mpinga-Kayove	Gihinga	6,55
211.	Muyinga	Gasorwe	Kaguhu	6,55
212.	Kirundo	Vumbi	Kiraro	6,55
213.	Kirundo	Vumbi	Rwimanzovu	6,55
214.	Kirundo	Busoni	Kibonde	6,55
215.	Kirundo	Bwambarangwe	Mutarishwa	6,55
216.	Kirundo	Busoni	Kumana	6,55
217.	Kirundo	Busoni	Gatete	6,55
218.	Bujumbura	Mutimbuzi	Maramvya	6,54
219.	Cibitoke	Buganda	Mwunguzi	6,54
220.	Kayanza	Matongo	Murambi	6,54
221.	Gitega	Bugendana	Mirama	6,54
222.	Kirundo	Vumbi	Kabuye-Gitanga	6,54

223.	Muyinga	Gashoho	Minwa	6,54
224.	Kirundo	Ntega	Mugendo	6,54
225.	Cibitoke	Mabayi	Rutorero	6,54
226.	Makamba	Kayogoro	Mayange	6,54
227.	Bubanza	Bubanza	Karenzi	6,53
228.	Bujumbura	Mubimbi	Kiziba	6,53
229.	Bubanza	Musigati	Rushiha	6,53
230.	Kayanza	Butaganzwa	Muremera	6,53
231.	Gitega	Bukirasazi	Kibuye	6,53
232.	Karuzi	Gihogazi	Kibezi	6,53
233.	Kirundo	Kirundo	Ceru	6,53
234.	Kirundo	Bugabira	Gaturanda	6,53
235.	Bubanza	Bubanza	Zina	6,52
236.	Cibitoke	Murwi	Mahande	6,52
237.	Gitega	Giheta	Gisarara	6,52
238.	Ngozi	Tangara	Musakazi	6,52
239.	Ngozi	Kiremba	Kivoga	6,52
240.	Kirundo	Bugabira	Gitwe	6,52
241.	Kirundo	Kirundo	Yaranda	6,52
242.	Kirundo	Bugabira	Nyamabuye	6,52
243.	Kirundo	Kirundo	Bugera	6,52
244.	Bujumbura	Kabezi	Migera	6,52
245.	Rumonge	Burambi	Gishiha	6,51
246.	Bujumbura	Mugongomanga	Centre-Urbain	6,51
247.	Bubanza	Bubanza	Mugimbu	6,51

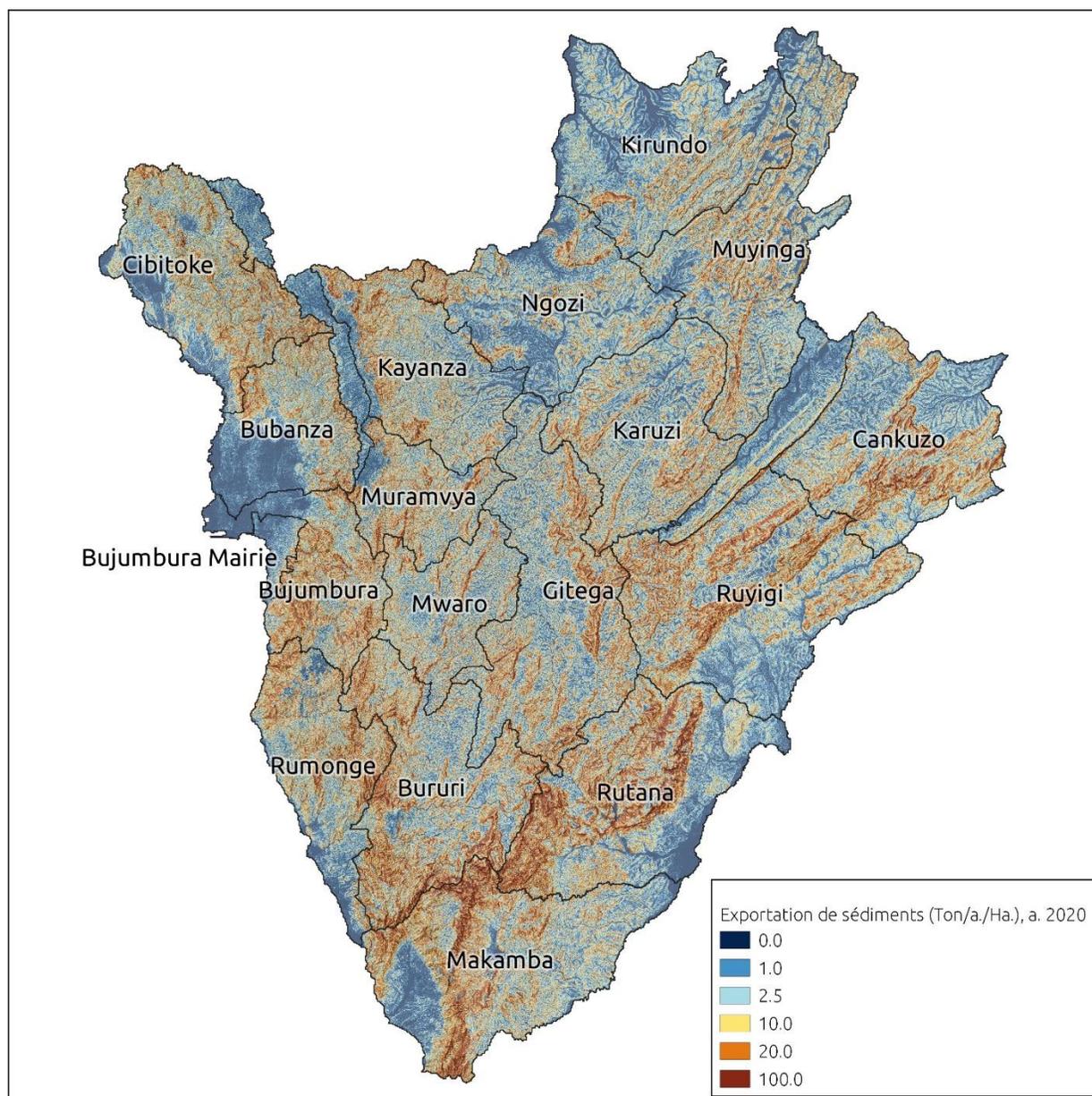
248.	Kayanza	Kabarore	Nyamisagara	6,51
249.	Gitega	Giheta	Nyarunazi	6,51
250.	Muyinga	Gashoho	Gisanze-Rugerero	6,51
251.	Kirundo	Vumbi	Nyakibanda	6,51
252.	Kirundo	Busoni	Mukerwa	6,51
253.	Kirundo	Busoni	Marembo	6,51
254.	Kayanza	Kabarore	Rukere	6,51
255.	Rumonge	Bugarama	Kagoma	6,50
256.	Bujumbura	Mutimbuzi	Rukaramu	6,50
257.	Bururi	Rutovu	Gihanga	6,50
258.	Mwaro	Gisozi	Gatare	6,50
259.	Cibitoke	Rugombo	Rugeregere	6,50
260.	Ngozi	Tangara	Kigomero	6,50
261.	Kirundo	Vumbi	Bwinyana	6,50
262.	Kirundo	Bugabira	Nyabikenke	6,50
263.	Kirundo	Vumbi	Mbasi	6,50
264.	Karuzi	Gitaramuka	Rubuga	6,49
265.	Kirundo	Vumbi	Rwisuri	6,49
266.	Muyinga	Gashoho	Gisabazuba	6,49
267.	Kirundo	Bugabira	Nyakarama	6,49
268.	Cibitoke	Murwi	Gasheke	6,48
269.	Rutana	Rutana	Maramvya	6,48
270.	Cankuzo	Gisagara	Rabiro	6,48
271.	Kirundo	Ntega	Muyinza	6,48
272.	Kirundo	Gitobe	Gahosha	6,48

273.	Kirundo	Gitobe	Santunda	6,48
274.	Ngozi	Marangara	Kagot	6,48
275.	Bururi	Mugamba	Kivumu	6,47
276.	Cibitoke	Mabayi	Rugongo	6,47
277.	Gitega	Bugendana	Rushanga	6,47
278.	Muyinga	Gashoho	Kagari	6,47
279.	Muyinga	Gashoho	Bubambira	6,47
280.	Kirundo	Kirundo	Gihosha	6,47
281.	Muyinga	Muyinga	Butihinda	6,47
282.	Muyinga	Gashoho	Nyagatovu	6,47
283.	Kirundo	Gitobe	Mirwa	6,47
284.	Kirundo	Busoni	Mugobe	6,47
285.	Muyinga	Giteranyi	Mihigo	6,47
286.	Kirundo	Bugabira	Kiyonza	6,47
287.	Ngozi	Marangara	Nyamurenge	6,47
288.	Ngozi	Marangara	Nyunzwe	6,47
289.	Cibitoke	Bukinanyana	Rusenda	6,47
290.	Rumonge	Burambi	Murara	6,46
291.	Rumonge	Muhuta	Kinyovu	6,46
292.	Cibitoke	Murwi	Kahirwa	6,46
293.	Gitega	Bugendana	Nyamagana	6,46
294.	Ngozi	Tangara	Mbasi	6,46
295.	Rumonge	Bugarama	Kayombe	6,45
296.	Bujumbura	Mukike	Ruzibazi	6,45
297.	Muramvya	Rutegama	Rutegama	6,45

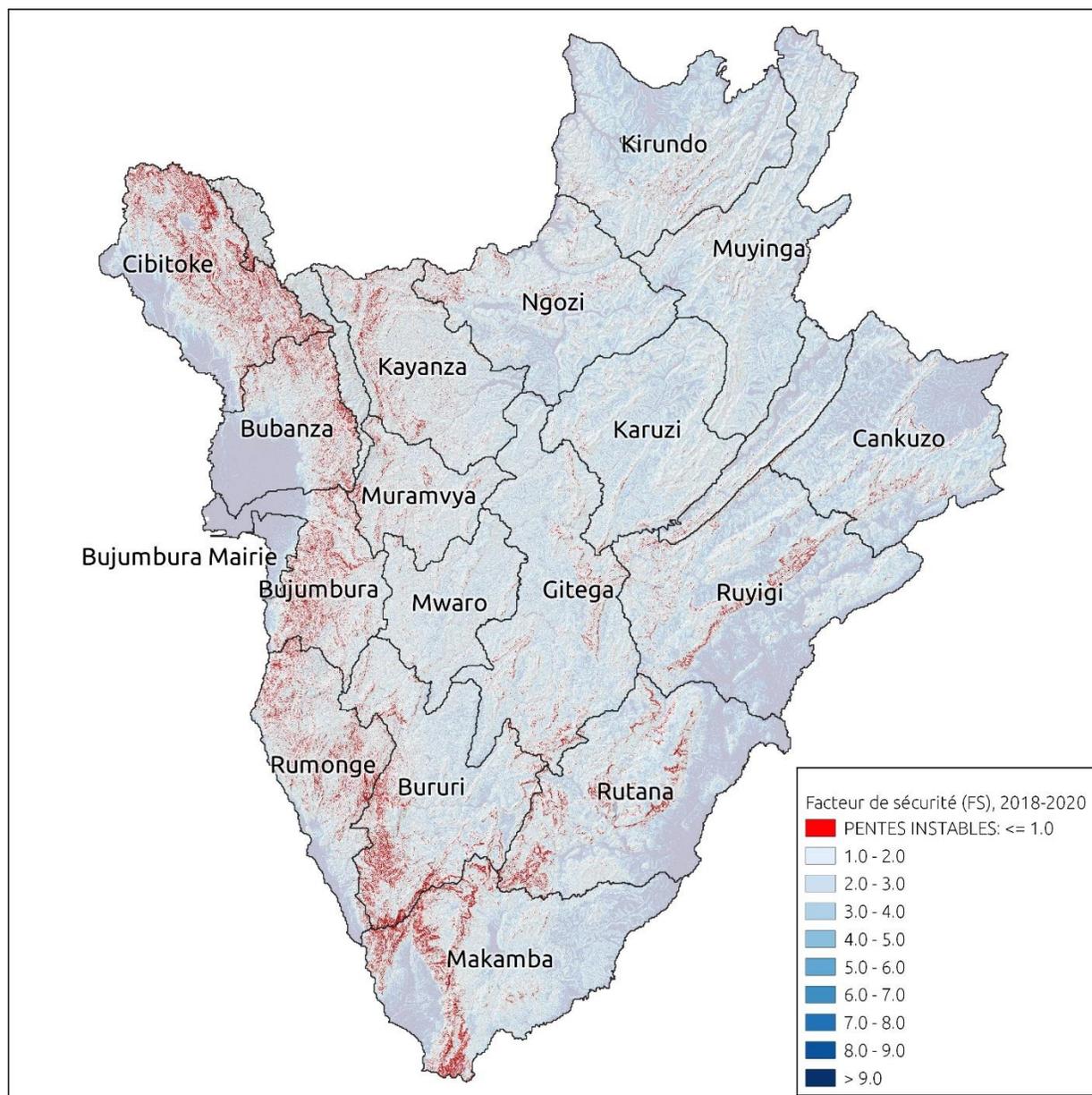
298.	Gitega	Giheta	Gahuga	6,45
299.	Ngozi	Busiga	Bitambwe	6,45
300.	Ngozi	Tangara	Nkanda	6,45
301.	Ngozi	Tangara	Nyarugati	6,45
302.	Kirundo	Gitobe	Tonga	6,45
303.	Muyinga	Butihinda	Zaga	6,45
304.	Gitega	Giheta	Gisuru	6,44
305.	Bubanza	Mpanda	Nyomvyi	6,44
306.	Cibitoke	Buganda	Cunyu	6,44
307.	Cibitoke	Mugina	Bwayi	6,44
308.	Karuzi	Mutumba	Mutara	6,44
309.	Ngozi	Marangara	Muhu	6,44
310.	Kirundo	Busoni	Rurende	6,44
311.	Ruyigi	Butezi	Nkongwe	6,44
312.	Rumonge	Burambi	Gitaramuka	6,43
313.	Mwaro	Ndava	Higiro	6,43
314.	Gitega	Nyanrusange	Muzima	6,43
315.	Bujumbura	Mutimbuzi	Muyange	6,43
316.	Cibitoke	Mabayi	Nyabungere	6,43
317.	Kayanza	Matongo	Gitwe	6,43
318.	Karuzi	Gihogazi	Gasenyi	6,43
319.	Ruyigi	Nyabitsinda	Muramba	6,43
320.	Ngozi	Kirembe	Cayi	6,43
321.	Kirundo	Vumbi	Kigobe	6,43
322.	Muyinga	Gasorwe	Ngogomo	6,43

323.	Muyinga	Gashoho	Musama	6,43
324.	Kirundo	Gitobe	Shore	6,43
325.	Kirundo	Busoni	Gitete	6,43
326.	Rumonge	Burambi	Gitongwe	6,42
327.	Bujumbura	Kanyosha	Ruvumu	6,42
328.	Bujumbura	Mukike	Mutobo	6,42
329.	Cibitoke	Bukinanyana	Gahabura	6,42
330.	Cibitoke	Bukinanyana	Nyangwe	6,42
331.	Gitega	Mutaho	Mwumba	6,42
332.	Muyinga	Gashoho	Gishambusha	6,42
333.	Kirundo	Vumbi	Nyamyumba	6,42
334.	Muyinga	Gasorwe	Karimbi	6,42
335.	Muyinga	Gashoho	Gisanze-Muzingi	6,42
336.	Kirundo	Busoni	Rurira	6,42
337.	Rumonge	Buyengero	Kanyinya	6,41
338.	Bujumbura	Isare	Sagara	6,41
339.	Muramvya	Rutegama	Camumandu	6,41
340.	Gitega	Nyanrusange	Kabimba	6,41
341.	Mwaro	Nyabihanga	Muyebe	6,41
342.	Cibitoke	Bukinanyana	Burimbi	6,41
343.	Kayanza	Rango	Karama	6,41
344.	Kayanza	Kayanza	Kibingo	6,41
345.	Rutana	Musongati	Nyabisindu	6,41
346.	Gitega	Bugendana	Cishwa	6,41
347.	Kirundo	Vumbi	Nyamivuma	6,41

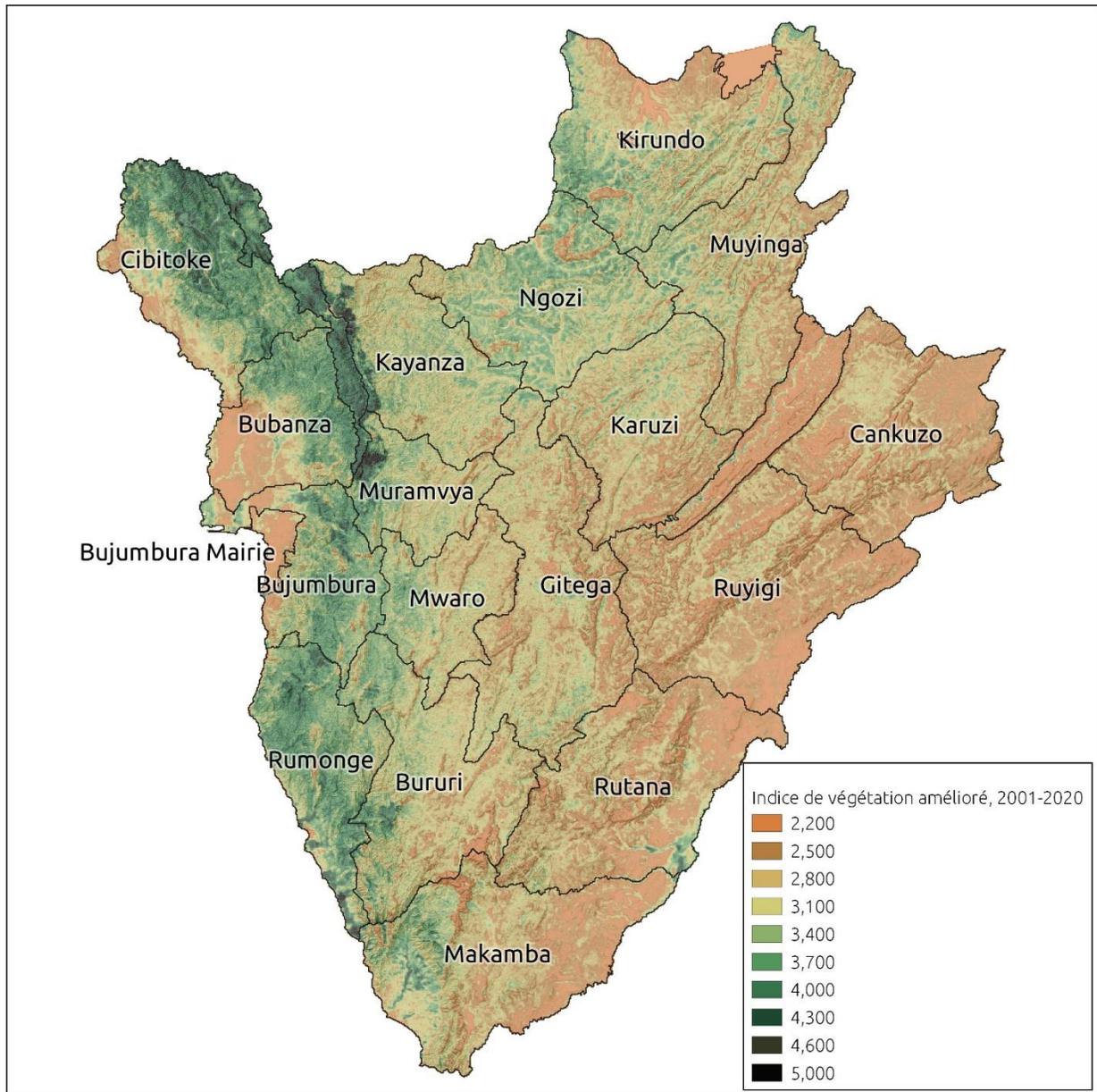
Annexe 9. Carte sur l'exportation des sédiments, année 2020



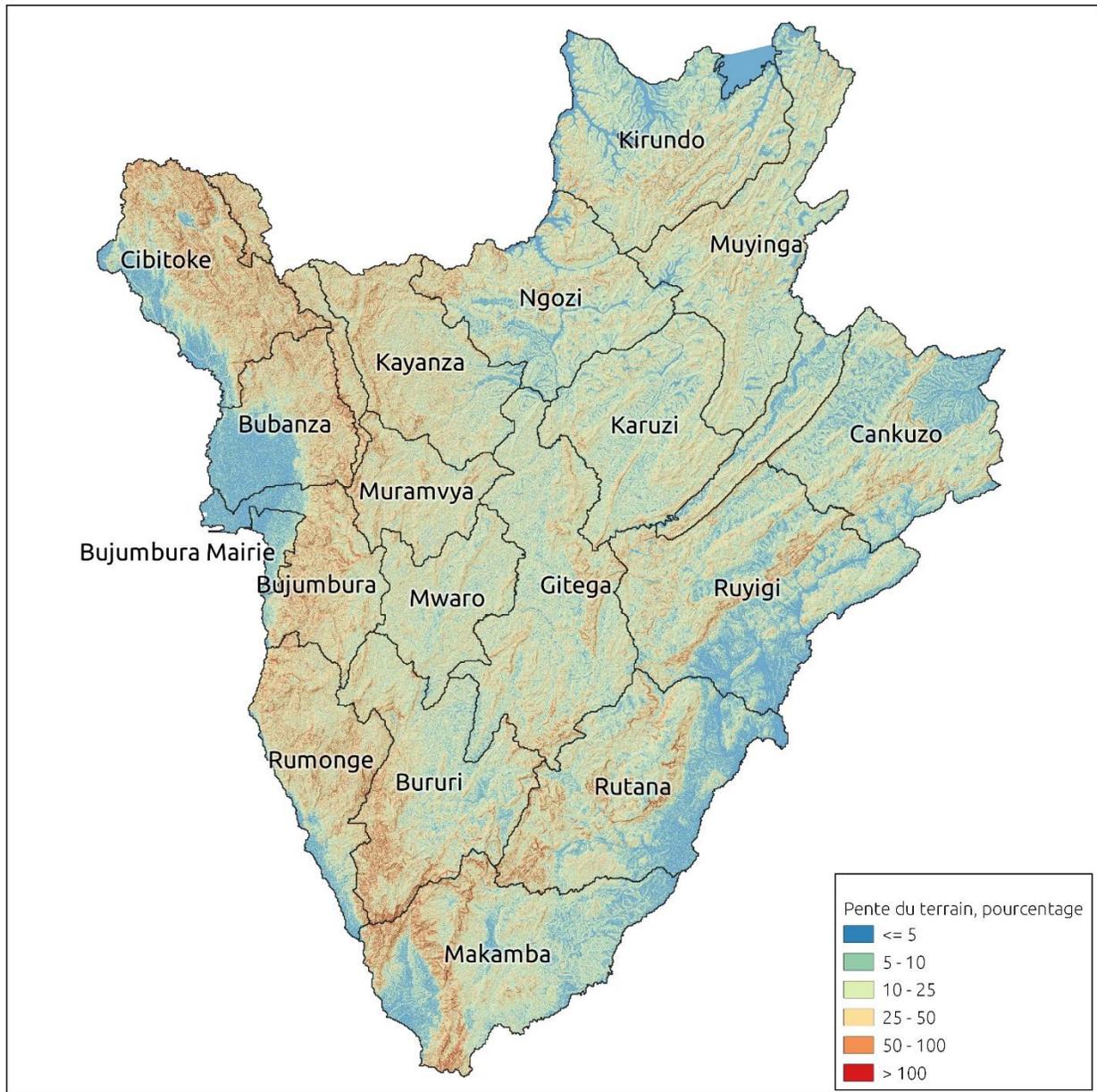
Annexe 10. Carte sur le facteur de sécurité (FS), 2018-2020



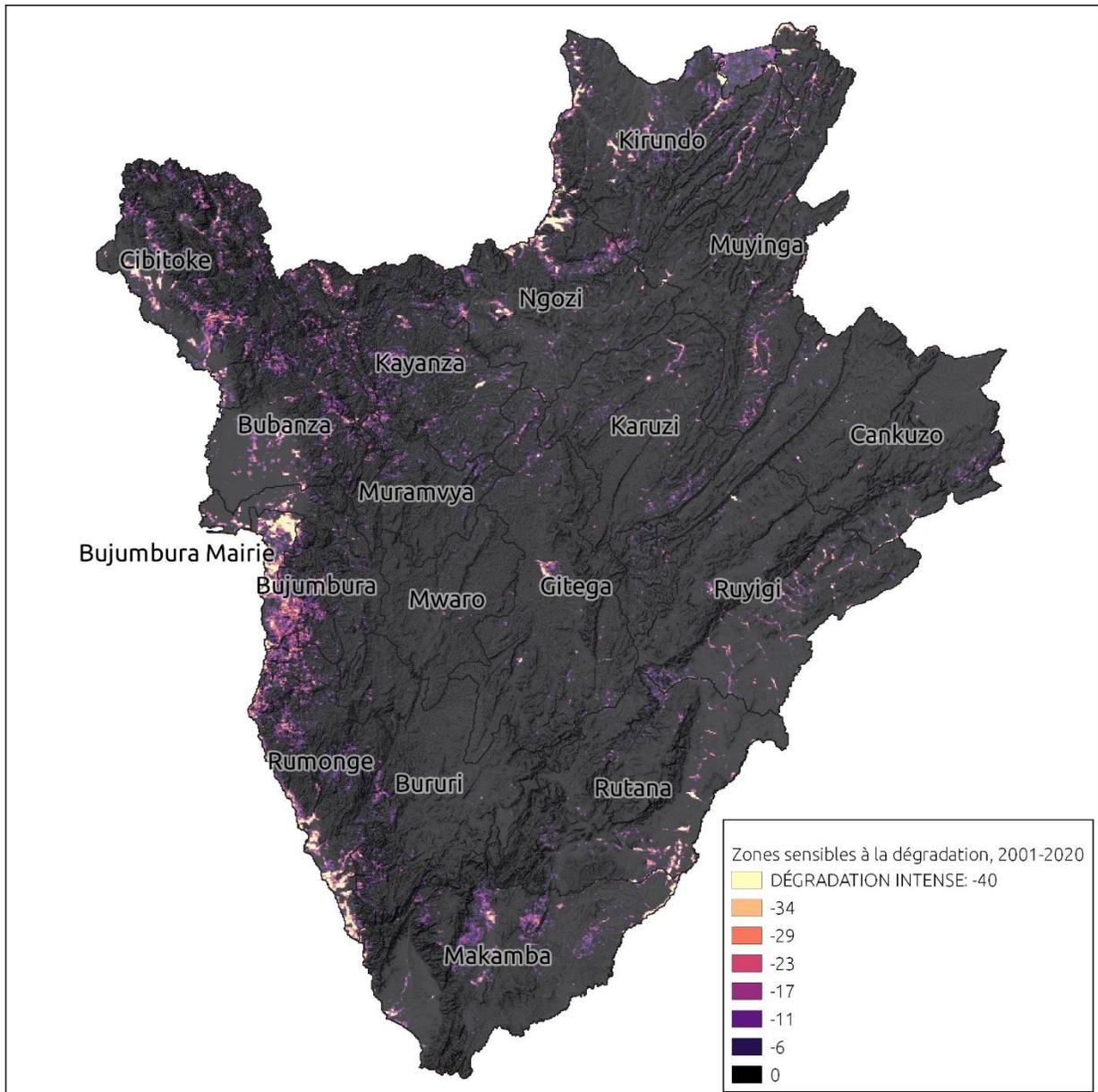
Annexe 11. Carte sur l'indice de végétation amélioré, 2001-2020



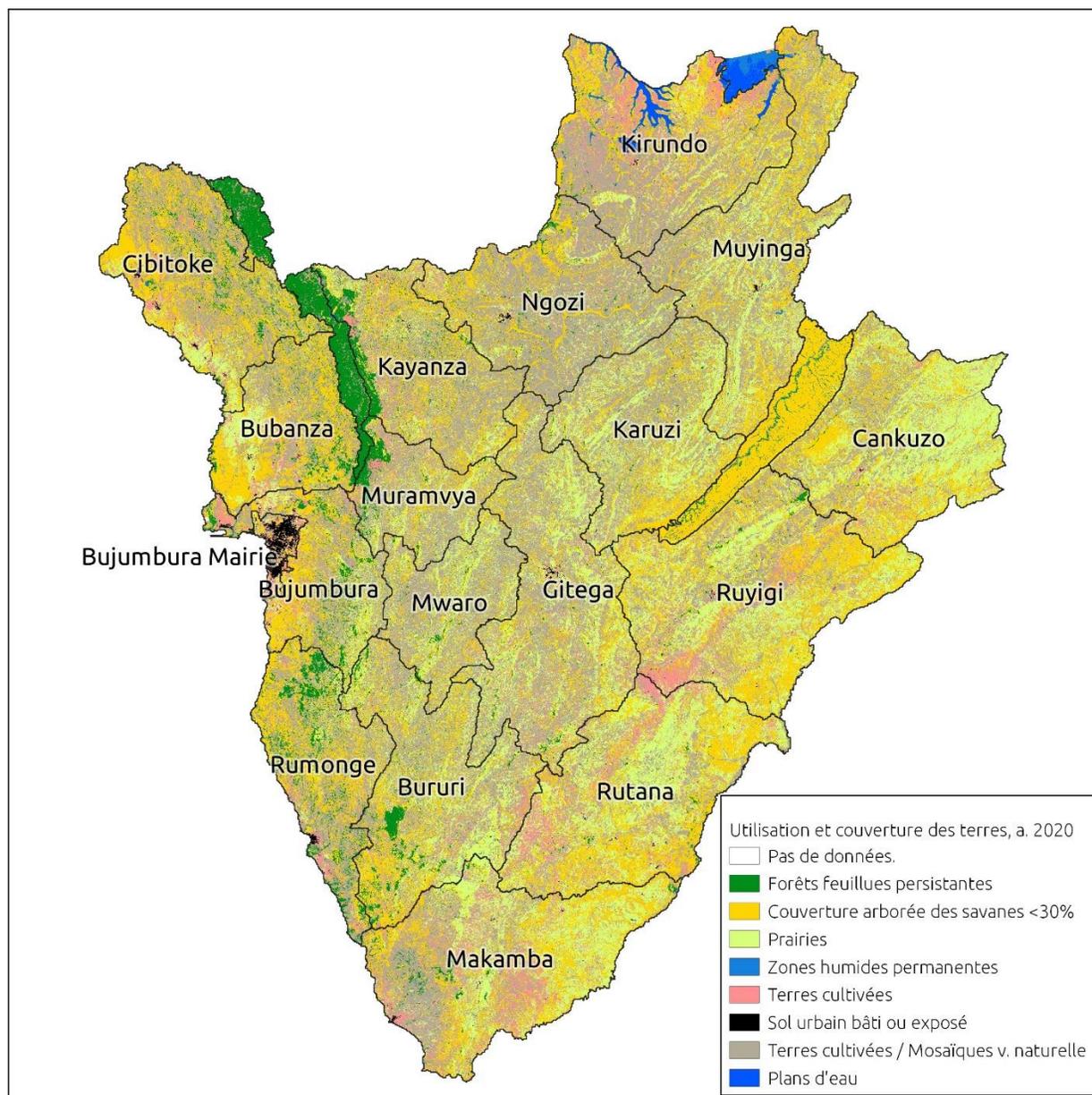
Annexe 12. Carte sur la pente du terrain, pourcentage



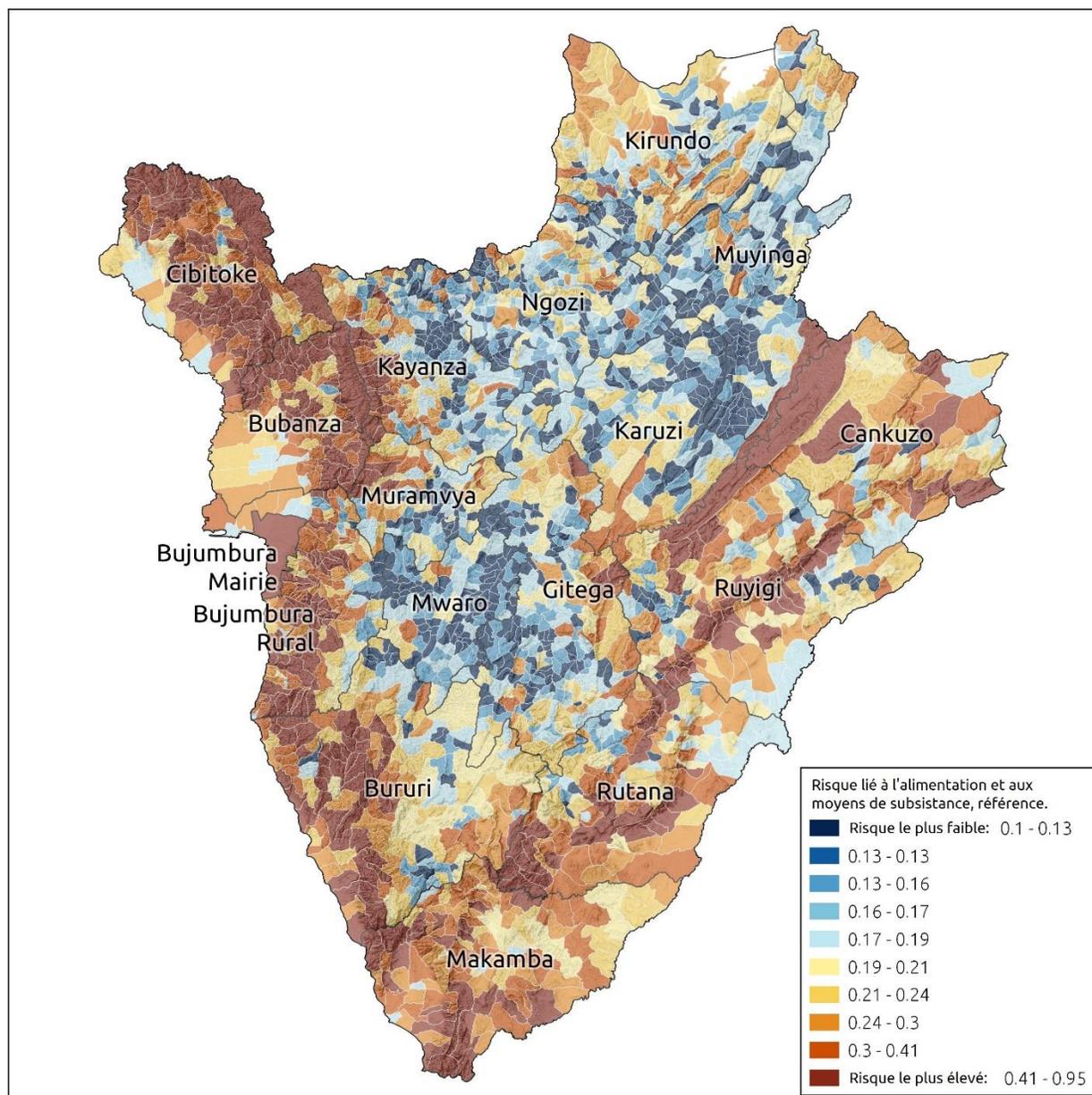
Annexe 13. Carte sur les zones sensibles à la dégradation, 2001-2020



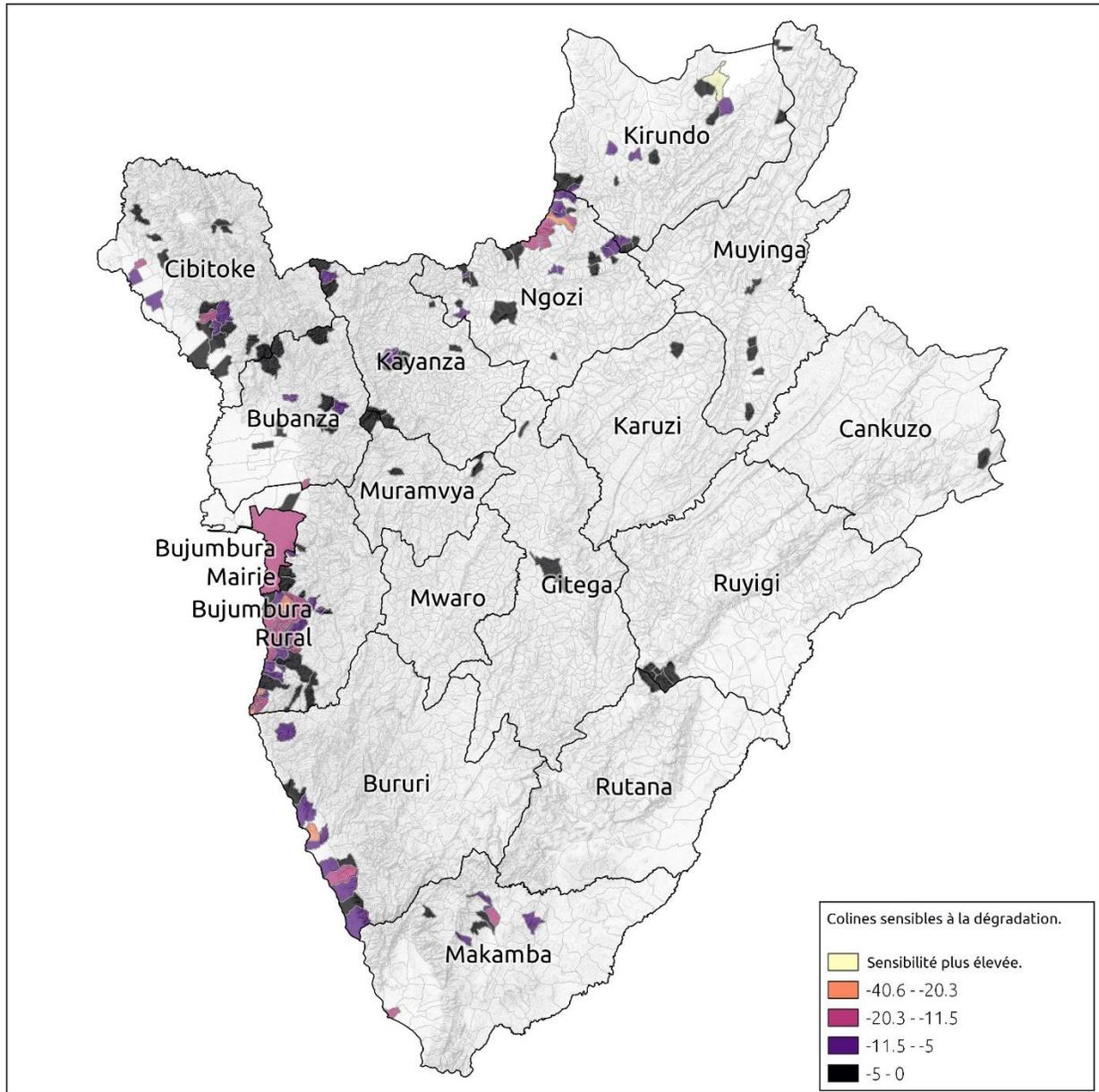
Annexe 14. Carte sur l'utilisation et la couverture des terres, 2020



Annexe 15. Risque lié à l'alimentation et aux moyens de subsistance, Référence



Annexe 16. Carte sur les collines sensibles à la dégradation



REFERENCES

1. OCHA. Aperçu des besoins humanitaires 2014. 20 (2021).
2. NDC Burundi. Republic of Burundi Intended Nationally Determined Contribution (Indc) / Burundi. (2015).
3. World Bank. Diagnosing drivers of climate and environmental fragility in Burundi ' s colline landscapes – TECHNICAL REPORT 1 – Landslide / Soil Erosion Risks and the Potential for Nature- based Solutions. Led by Adrian L. Vogl, Jorge Leon, Nfamara K. Dampha. The team. *World Bank-funded Burundi Clim. fragility Advis. Serv. Anal.* (2021).
4. World Bank. Diagnosing drivers of climate and environmental fragility in Burundi ' s colline landscapes – TECHNICAL REPORT 2. climate and conflict risks. Led by Red Cross Red Crescent Climate Centre, 510 Initiative of the Netherlands Red Cross and Univ. *World Bank-funded Burundi Clim. fragility Advis. Serv. Anal.* (2021).
5. Marin-Ferrer, M. Vernaccini, L. Poljansek, K. *Index for Risk Management INFORM Concept and Methodology Report — Version 2017, EUR 28655. Publications Office of the European Union* vol. 53 (2017).
6. IPCC. *Summary for Policymakers. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tigno.* (2012) doi:10.1017/cbo9781139177245.
7. World Bank. Key Terms | Climate & Disaster Risk Screening Tools. <https://climatescreeningtools.worldbank.org/content/key-terms-0> (2021).
8. Berman, R., Quinn, C. & Paavola, J. The role of institutions in the transformation of coping capacity to sustainable adaptive capacity. *Environ. Dev.* **2**, 86–100 (2012).
9. Weedon, G. P. *et al.* Data methodology applied to ERA-Interim reanalysis data. *Water Resour. Res.* **50**, 7505–7514 (2014).
10. Funk, C. *et al.* The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Sci. Data* 2015 21 **2**, 1–21 (2015).

11. Giorgi, F. & Gutowski, W. J. Regional Dynamical Downscaling and the CORDEX Initiative. *Annu. Rev. Environ. Resour.* **40**, 467–490 (2015).
12. Feizizadeh, B. & Blaschke, T. Land suitability analysis for Tabriz County, Iran: a multi-criteria evaluation approach using GIS. *J. Environ. Plan. Manag.* **56**, 1–23 (2013).
13. Rahmati, O., Zeinivand, H. & Besharat, M. Flood hazard zoning in Yasooj region, Iran, using GIS and multi-criteria decision analysis. *Geomatics, Nat. Hazards Risk* **7**, 1000–1017 (2016).
14. De Brito, M. M., Evers, M. & Delos Santos Almoradie, A. Participatory flood vulnerability assessment: A multi-criteria approach. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **22**, 373–390 (2018).
15. Kowalski, K., Stagl, S., Madlener, R. & Omann, I. Sustainable energy futures: Methodological challenges in combining scenarios and participatory multi-criteria analysis. *Eur. J. Oper. Res.* **197**, 1063–1074 (2009).
16. Sharp, R. *et al.* *InVEST 3.9.0. User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund.* <https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/index.html> (2020).
17. Selby, M. J. (Michael J. & Hodder, A. P. W. Hillslope materials and processes. 451 (1993).
18. Wichmann, V. The Gravitational Process Path (GPP) model (v1.0) - A GIS-based simulation framework for gravitational processes. *Geosci. Model Dev.* **10**, 3309–3327 (2017).
19. FEMA. Building Community Resilience With Nature-Based Solutions: A Guide for Local Communities. 1–30 (2021).
20. IPCC. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. (2012).*
21. Eden, C. Cognitive mapping. *Eur. J. Oper. Res.* **36**, 1–13 (1988).
22. Nicholson, S. E. HISTORICAL AND MODERN FLUCTUATIONS OF LAKES TANGANYIKA AND RUKWA AND THEIR RELATIONSHIP TO RAINFALL

- VARIABILITY. *Clim. Change* 53–71 (1999).
23. Engdaw, M. M., Ballinger, A. P., Hegerl, G. C. & Steiner, A. K. Changes in temperature and heat waves over Africa using observational and reanalysis data sets. *Int. J. Climatol.* 1–16 (2021) doi:10.1002/joc.7295.
 24. Lawin, A. E., Manirakiza, C. & Lamboni, B. Trends and changes detection in rainfall, temperature and wind speed in Burundi. *J. Water Clim. Chang.* **10**, 852–870 (2019).
 25. UN-OCHA. *Burundi: Inter-Agency Monitoring Report, 29 January 2016.* <https://reliefweb.int/report/burundi/burundi-inter-agency-monitoring-report-29-january-2016> (2016) doi:<https://reliefweb.int/report/burundi/burundi-inter-agency-monitoring-report-29-january-2016>.
 26. Nkwunonwo, U. C., Whitworth, M. & Baily, B. A review of the current status of flood modelling for urban flood risk management in the developing countries. *Scientific African* vol. 7 e00269 (2020).
 27. Adelekan, I. O. Vulnerability of poor urban coastal communities to flooding in Lagos, Nigeria. *Environ. Urban.* **22**, 433–450 (2010).
 28. De Brito, M. M., Evers, M. & Delos Santos Almoradie, A. Participatory flood vulnerability assessment: A multi-criteria approach. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **22**, 373–390 (2018).
 29. Dampha, N. K. *Ecosystem Services and Coastal Adaptation to Climate Change : An Interdisciplinary Science-Based Application in The Gambia.* (University of Minnesota, 2020). doi:<https://conservancy.umn.edu/handle/11299/217791>.
 30. UN-OCHA. BURUNDI Floods 2020, Crisis: ACAPS Briefing Note 28 April. 2019–2021 (2020) doi:<https://reliefweb.int/report/burundi/acaps-briefing-note-burundi-floods-28-april-2020>.
 31. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies. Emergency Plan of Action (EPoA) Uganda : Floods and Landslides April 2021. 1–17 (2021) doi:<https://adore.ifrc.org/Download.aspx?FileId=409103>.
 32. AfDB, A. D. B. Climate Change PROFILE Climate Change. *Ministry of Foreign Affairs of the Netherlands* vol. 923 14 (2018).
 33. GoB & World Bank. *Burundi Country Environmental analysis: Understanding the Environment within the Dynamics of a Complex World: Linkages to Fragility,*

Conflict and Climate Change. (2017).

34. Plisnier, P. D., Nshombo, M., Mgana, H. & Ntakimazi, G. Monitoring climate change and anthropogenic pressure at Lake Tanganyika. *J. Great Lakes Res.* **44**, 1194–1208 (2018).
35. Nkurunziza, H. & Pilz, J. Impact of increased temperature on malaria transmission in Burundi. *Int. J. Glob. Warm.* **3**, 77 (2011).
36. BARAMBURIYE, J., KYOTALIMYE, M., THOMAS, T. S. & WAITHAKA, M. West African Agriculture and Climate Change : CLIMATE CHANGE SCENARIOS & THEIR West African Agriculture and Climate Change : 3–4 (2012).
37. Smith, M. W. *et al.* Incorporating hydrology into climate suitability models changes projections of malaria transmission in Africa. *Nat. Commun.* **11**, 1–9 (2020).
38. Nkurunziza, H., Gebhardt, A. & Pilz, J. Bayesian modelling of the effect of climate on malaria in Burundi. *Malar. J.* **9**, 114 (2010).
39. Hassaan, M. A., Abdrabo, M. A. & Masabarakiza, P. GIS-Based Model for Mapping Malaria Risk under Climate Change Case Study: Burundi. *J. Geosci. Environ. Prot.* **05**, 102–117 (2017).
40. Asefi-Najafabady, S., Vandecar, K. L., Seimon, A., Lawrence, P. & Lawrence, D. Climate change, population, and poverty: vulnerability and exposure to heat stress in countries bordering the Great Lakes of Africa. *Clim. Change* **148**, 561–573 (2018).
41. Herrera, D. *et al.* Upstream watershed condition predicts rural children’s health across 35 developing countries. *Nat. Commun.* **8**, (2017).
42. Manirakiza, C., Emmanuel, L. A., Batablinl`e, L. & Niyongendako, M. Hydropower Potential in near Future Climate over Burundi (East Africa) : A Case study of Rwegura Catchment. *J. Energy Res. Rev.* **7**, 51–65 (2021).
43. World Bank. *Extending the Life of Reservoirs Sustainable Sediment Management for Dams and Run-of-River Hydropower led by George W. Annandale, Gregory L. Morris, and Pravin Karki. International Water Power and Dam Construction* vol. 57 (2016).
44. Célestin, M., Emmanuel, L. A., Batablinlè, L. & Marc, N. Spatio-Temporal Analysis of Climate Change Impact on Future Wind Power Potential in Burundi (East

- Africa). *Am. J. Clim. Chang.* **08**, 237–262 (2019).
45. Verburg, P. & Hecky, R. E. The physics of the warming of Lake Tanganyika by climate change. *Limnol. Oceanogr.* **54**, 2418–2430 (2009).
 46. Republic News, C. Burundi: Lake Tanganyika’s water level rises, forcing locals to abandon homes. <https://www.republicworld.com/world-news/africa/burundi-lake-tanganyikas-water-level-rises-forcing-locals-to-abandon-homes.html>.
 47. Africanews. Burundi: Floods from rising Lake Tanganyika affect 8000 families | Africanews. <https://www.africanews.com/2021/05/02/burundi-floods-from-rising-lake-tanganyika-affect-8000-families/> (2021).
 48. ICRC. When Rain Turns To Dust: UNDERSTANDING AND RESPONDING TO THE COMBINED IMPACT OF ARMED CONFLICTS AND THE CLIMATE AND ENVIRONMENT CRISIS ON PEOPLE’S LIVES. (2020).
 49. United States Geological Survey (USGS). EarthExplorer - Home. <https://earthexplorer.usgs.gov/> (2019).
 50. Watkins, D. 30-Meter SRTM Elevation Data Downloader. <http://dwtkns.com/srtm30m/> (2000).
 51. Verdin, K. L. Hydrologic Derivatives for Modeling and Applications (HDMA) database: U.S. Geological Survey data release. <https://www.sciencebase.gov/catalog/item/591f6cf9e4b0ac16dbdde1c5> (2017).
 52. Abatzoglou, J. T., Dobrowski, S. Z., Parks, S. A. & Hegewisch, K. C. TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958-2015. *Sci. Data* **5**, 1–12 (2018).
 53. WorldPop. (www.worldpop.org - School of Geography and Environmental Science, University of Southampton; Department of Geography and Geosciences, University of Louisville; Departement de Geographie, Universite de Namur) and Center for International Earth Science Inf. <https://www.worldpop.org/geodata/listing?id=69> (2020).
 54. Weiss, D. j. *et al.* A global map of travel time to cities to assess inequalities in accessibility in 2015 | Nature. *Nature* **V O L 553**, (2018).

