

Plan d'Investissement Stratégique: Rapport

Développement d'actions d'atténuation des inondations
dans deux zones urbaines du Burundi

Statut du projet : Draft V1

30 août 2023

Préparé pour :

Groupe de la Banque mondiale



www.jbaconsulting.com

En partenariat avec



Statut du document

Référence/Date de la révision	Projet V1 / août 2023
Amendements	N/A
Délivré à :	Nicholas James Callender
Préparé par	Paul Sayers BEng PhD CEng MICE
Autorisé par	Mark Lawless BSc MSc PhD CEnv CSci MCIWEM C.WEM
Chef de projet JBA	Jo Read MEng CEng MIMechE
Adresse	JBA Consulting Wallingford, Pipe House, Lupton Road, Wallingford, OX10 9BS

Contrat

Ce rapport décrit les travaux commandés par le Groupe de la Banque mondiale ("GBM"), par une instruction datée du 14 mars 2022. Le représentant du client pour ce contrat était Nicholas James Callender du GBM.

Objectif et clause de non-responsabilité

Jeremy Benn Associates Limited ("JBA") a préparé ce rapport à l'usage exclusif du GBM et de ses agents désignés, conformément à l'accord en vertu duquel nos services ont été fournis.

JBA n'est pas responsable de l'utilisation de ce rapport, sauf à l'égard du GBM.

Aucune autre garantie, expresse ou implicite, n'est donnée quant aux conseils professionnels contenus dans ce rapport ou à tout autre service fourni par JBA. Ce rapport ne peut être invoqué par une autre partie sans l'accord écrit préalable et explicite de JBA.

Les conclusions et recommandations contenues dans ce rapport sont basées sur des informations fournies par d'autres et sur l'hypothèse que toutes les informations pertinentes ont été fournies par les parties auxquelles elles ont été demandées et que ces informations sont exactes. Les informations obtenues par JBA n'ont pas été vérifiées de manière indépendante par JBA, sauf indication contraire dans le rapport.

La méthodologie adoptée et les sources d'information utilisées par JBA pour fournir ses services sont décrites dans le présent rapport. Les travaux décrits dans le présent rapport ont été entrepris entre mars 2022 et mars 2023 et sont basés sur les conditions rencontrées et les informations disponibles au cours de ladite période. La portée du

présent rapport et des services est par conséquent limitée dans les faits par ces circonstances.

Certaines déclarations contenues dans le rapport qui ne sont pas des faits historiques peuvent constituer des estimations, des projections ou d'autres déclarations prospectives et, même si elles sont basées sur des hypothèses raisonnables à la date du rapport, ces déclarations prospectives impliquent par nature des risques et des incertitudes qui pourraient faire en sorte que les résultats réels diffèrent matériellement des résultats prévus. En particulier, JBA ne garantit pas les estimations ou projections contenues dans ce rapport.

Lorsque des investigations sur le terrain ont été effectuées, elles ont été limitées au niveau de détail requis pour répondre aux objectifs déclarés des services. Les résultats des mesures effectuées peuvent varier dans l'espace ou dans le temps et d'autres mesures de confirmation doivent être effectuées après tout retard significatif dans la publication du présent rapport.

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier le Comité technique du projet, dirigé par M. Benoît Harerimana, Chef de service Planification Stratégique, Ministère des Finances, du Budget et de la Planification Economique, pour son soutien et ses conseils dans le cadre de ce projet.

Droit d'auteur

Jeremy Benn Associates Limited 2023

Empreinte carbone

JBA s'engage à promouvoir le développement durable et a intégré les dix principes du Pacte mondial des Nations unies dans sa culture et ses activités. Nous avons pour objectif, à l'échelle du groupe, d'être une entreprise dont les émissions de carbone sont nulles.

Résumé

Le Plan d'Investissement Stratégique (PIS) présente les arguments en faveur de l'investissement dans la gestion des risques d'inondation à Bujumbura et Gatumba, au Burundi, et identifie la stratégie préférée pour six sous-bassins versants. Le PIS ne cherche pas à fournir des plans détaillés ou des détails de conception technique (car ceux-ci seront développés dans des activités de suivi) mais définit l'orientation stratégique, y compris l'identification des actions "à faible regret" pour une mise en œuvre rapide. Celles-ci comprennent des interventions physiques ainsi que des activités de renforcement des capacités et de planification nécessaires pour faire avancer la stratégie afin de soutenir la résilience à long terme face aux inondations.

Contenu

Résumé	iii
1 Introduction	11
1.1 Aperçu du rapport	12
2 Développement de la stratégie : principes directeurs	13
2.1 Des choix en connaissance de cause	13
2.2 Une perspective basée sur les systèmes et une réponse basée sur un portefeuille	16
2.3 Une perspective à court et à long terme	18
3 Unités d'investissement basées sur les bassins versants et stratégies alternatives	21
3.1 Une vue d'ensemble des défis par bassin versant	21
3.2 Stratégies alternatives	40
4 Approche pour faire un choix	43
4.1 Hypothèses d'évaluation	43
4.2 Critères d'évaluation	50
5 Sélection des stratégies privilégiées	56
5.1 Urgence	56
5.2 Résultats à long terme	56
5.3 Alignement	62
5.4 Bassins versants prioritaires	63
6 Actions de la prochaine étape	66
6.1 Thème 1 - Planification : Développer des stratégies de captage détaillées et des conceptions pour des actions à faible regret	66
6.2 Thème n° 2 - Infrastructures physiques à faibles regrets dans les bassins versants prioritaires	83
6.3 Thème n° 3 - Faisabilité : Élaborer une stratégie détaillée en matière d'infrastructures critiques et concevoir des actions à faibles regrets.	86

6.4 Thème 4 - Renforcer les capacités pour mieux gérer les risques d'inondation

88

A	Portefeuille de mesures : actions individuelles	XCII
B	Cartes des bassins versants - dangers et risques actuels	XCIII
C	Annexe : Liste des données probantes sur l'évaluation des coûts	XCIV

Liste des figures

Figure 1-1: Zone d'étude et six sous-bassins versants	11
Figure 2-1: Comprendre le risque d'inondation avec et sans action	13
Figure 2-2: Une approche de la gestion des risques d'inondation basée sur un portefeuille	17
Figure 3-1: Zone d'étude et six unités d'investissement par bassin versant (UIBV)	21
Figure 3-2: Dommages annuels prévus (DAP/EAD): Aujourd'hui et à l'avenir, en supposant qu'il n'y ait plus d'investissement dans la gestion des inondations (dommages directs aux habitations et aux bâtiments non résidentiels, en dollars US)	22
Figure 3-3: La Grande Ruzizi orientale traverse la réserve naturelle de Gatumba.	23
Figure 3-4: Risque actuel - Dommages annuels prévus par source d'inondation, tous les bassins versants	25
Figure 3-5: Nombre annuel de ménages exposés aux inondations : Aujourd'hui et à l'avenir, en supposant qu'il n'y ait pas d'investissement supplémentaire dans la gestion des inondations	26
Figure 3-6: Ménages exposés aux inondations et socialement vulnérables (%) - Aujourd'hui (toutes sources confondues)	26
Figure 3-7: Risque d'inondation - actuel et futur (dommages annuels attendus, directs)	27
Figure 3-8: Ntakangwa - Défis posés par les débris anthropogéniques et les blocages	28
Figure 3-9: Ntakangwa - Défis posés par les changements morphologiques	29
Figure 3-10: Ntakangwa - Les digues de retenue et la digue de la rivière locale montrent des signes de détérioration.	30
Figure 3-11: Ntakangwa - Le ruissellement rapide des eaux de pluie et la propagation des écoulements de surface provoquent des perturbations généralisées	30
Figure 3-12: Ntakangwa - Les inondations fluviales et les débris posent un problème important dans la zone animée de Buyenze	31
Figure 3-13: Ntakangwa - Les inondations fluviales et les débris posent un problème important dans la zone animée de Buyenze	32
Figure 3-14: Ntakangwa - L'avenue de la plage longe la rive du lac	32
Figure 3-15: Bassin versant de la Muha - Densité de risque actuelle et future dans l'hypothèse d'un maintien de l'approche de gestion actuelle	33

Figure 3-16: Ntahangwa - Les inondations fluviales et les débris posent un problème important dans la zone animée de Buyenze	34
Figure 3-17: Bassin versant de la Muha - Dommages annuels prévus actuels et futurs dans l'hypothèse d'un maintien de l'approche de gestion actuelle	35
Figure 3-18: Aujourd'hui : nombre annuel de services d'infrastructure inondés	36
Figure 3-19: Aujourd'hui : le développement ad hoc se poursuit dans les plaines inondables fonctionnelles de la rivière et du lac Kizingwe	36
Figure 3-20: Topographie de l'arrière-pays - le R.N.3 a fourni une limite approximative entre les hautes terres et les basses terres dans les UIBV de Muha, Kanyosha et Mugere.	38
Figure 3-21: Développement résidentiel : Projections actuelles et futures	39
Figure 3-22: Delta de la rivière Mugere : L'opportunité de maintenir l'espace pour la rivière demeure, mais pourrait être perdue dans les années à venir si le développement n'est pas bien planifié.	40
Figure 3-23: Stratégies alternatives	42
Figure 4-1: Buyenze, Ntahangwa : Modélisation des risques pluviaux	45
Figure 4-2: Critères d'évaluation	50
Figure 5-1: L'investissement réel de la stratégie privilégiée varie selon les bassins versants	64
Figure 6-1: Ntahangwa - Ventilation indicative des investissements en infrastructures	68
Figure 6-2: Schéma stratégique de Ntahangwa	69
Figure 6-3: Mutimbuzi - Désagrégation indicative des investissements en infrastructures	71
Figure 6-4: Schéma de la stratégie de Mutimbuzi	72
Figure 6-5: Ruzizi - Désagrégation indicative des investissements en infrastructures	74
Figure 6-6: Ruzizi - Aperçu de la stratégie	75
Figure 6-7: Kanyosha - Désagrégation indicative des investissements en infrastructures	77
Figure 6-8: Kanyosha - Aperçu de la stratégie	78
Figure 6-9: Mugere - Désagrégation indicative des investissements en infrastructures	79
Figure 6-10: Mugere - Aperçu de la stratégie	80
Figure 6-11: Priorité 2 - Muha - Ventilation indicative des investissements dans les	

infrastructures	81
Figure 6-12: Priorité 5 - Muha - Aperçu de la stratégie	82
Figure 6-13: Investissement réel des activités à faible regret dans les bassins versants	83

Liste des tableaux

Tableau 2-1: Événements d'aléas combinés	14
Tableau 2-2: Vulnérabilité sociale - Indicateur du type de logement	15
Tableau 4-1: Taux unitaires "répercutés" par mesure de gestion des risques d'inondation	48
Tableau 4-2 Capacité de mise en œuvre - Modérateurs de la réduction des risques obtenue	54
Tableau 5-1: Paramètres d'urgence par UIBV	56
Tableau 5-2 Résultats à long terme : Ruzizi	57
Tableau 5-3 Résultats à long terme : Mutimbuzi	58
Tableau 5-4 Résultats à long terme : Ntahangwa	59
Tableau 5-5 Résultats à long terme : Muha	60
Tableau 5-6 Résultats à long terme : Kanyosha et Kizingwe	61
Tableau 5-7 Résultats à long terme : Mugere	61
Tableau 5-8 Résultats à long terme : Classement relatif des bassins versants	62
Tableau 5-9 Alignement - Contribution potentielle de la gestion des inondations à des objectifs économiques, sociaux et environnementaux plus larges	63
Tableau 5-10: Hiérarchisation par bassin versant : Un résumé	64

Abréviations

PDA	Probabilité de Dépassement Annuel
ICE	Infrastructures Critiques Exposées à un risque de 1 sur 100 ans
UIBV	Unités d'Investissement par Bassin Versant
RDC	République démocratique du Congo
DAP	Dommages Annuels Prévus
NAPMv	Nombre Annuel Prévu de Ménages Socialement Vulnérables Exp.
NAPPV	Nombre Annuel Prévu de Personnes les plus Socialement Vulnérables Exp.
TRIE	Taux de Rentabilité Interne Economique
SPAP	Systèmes de Prévision et d'Alerte Précoce
GdB	Gouvernement du Burundi
ALT	Autorité du Lac Tanganyika
SBN	Solutions Basées sur la Nature
VAN	Valeur Actuelle Nette
VA	Valeur Actuelle
PIS	Plan d'Investissement Stratégique
NdP	Norme de Protection
TTA	Test du Taux d'Actualisation
GBM	Groupe de la Banque mondiale

1 Introduction

Le Plan d'Investissement Stratégique (PIS) se concentre sur la gestion des risques d'inondation à Bujumbura et Gatumba, au Burundi (Figure 1-1). Une série de mesures non structurelles et structurelles sont rassemblées dans une série de stratégies alternatives et l'approche stratégique préférée est identifiée pour six sous-bassins versants à travers la zone d'étude. Le PIS cherche à soutenir le dialogue continu entre le Groupe de la Banque Mondiale (GBM) et le Gouvernement du Burundi (GdB) dans la détermination des investissements les plus efficaces pour atteindre un niveau approprié de résilience aux inondations. Dans ce contexte, le PIS ne cherche pas à fournir des plans détaillés ou des détails de conception technique (car ceux-ci seront développés dans des activités de suivi), mais définit l'orientation stratégique, en identifiant des actions ciblées "à faible regret" pour une mise en œuvre rapide, ainsi que les activités de renforcement des capacités et de planification nécessaires pour faire avancer la stratégie.



Figure 1-1: Zone d'étude et six sous-bassins versants

1.1 Aperçu du rapport

Le rapport est structuré comme suit :

Chapitre 2 (Élaboration de la stratégie - principes directeurs) : il définit la base de l'élaboration du PIS.

Chapitre 3 (Unités d'investissement par bassin versant et stratégies alternatives) : il présente les caractéristiques et les défis de chacun des six sous-bassins versants.

Chapitre 4 (Approche du choix) : il examine les hypothèses d'évaluation et les critères de décision.

Chapitre 5 (Sélection des stratégies privilégiées) : Il présente les six stratégies alternatives envisagées (plus une base de référence contrefactuelle). La performance de chaque alternative est évaluée en fonction d'une série de critères et la stratégie préférée est identifiée pour chaque bassin versant.

Chapitre 6 (Actions de la prochaine étape) : Les résultats du chapitre 5 sont utilisés pour identifier les investissements prioritaires dans la zone d'étude, y compris l'identification des interventions physiques peu coûteuses, les priorités en matière de renforcement des capacités et les bassins versants prioritaires pour la poursuite des activités de planification et de conception.

Annexe A (Portefeuille de mesures : actions individuelles) : Présente les mesures individuelles considérées comme faisant partie de l'approche intégrée de la gestion des risques d'inondation et la façon dont elles ont été représentées dans l'évaluation du point de vue de la modélisation et de l'évaluation des coûts. Toutes les mesures individuelles contribuent, dans une mesure plus ou moins grande, à chaque stratégie alternative examinée au chapitre 5.

Annexe B (cartes des bassins versants - dangers et risques actuels) : Cette annexe comprend des cartes indiquant les dangers et les risques d'inondation actuels, avec les données de danger sous-jacentes à la couche de risque. Les cartes sont également fournies dans l'annexe numérique.

Annexe C (Liste des éléments d'évaluation des coûts) : Elle présente les données (internationales et locales) utilisées pour étayer l'évaluation stratégique de haut niveau des coûts de chaque mesure alternative.

2 Développement de la stratégie : principes directeurs

Trois principes sous-tendent l'élaboration du PIS : (i) des choix fondés sur les risques; (ii) une perspective des systèmes et (iii) une perspective à court et à long terme. La signification de ces principes et la manière dont ils influencent le PIS sont brièvement examinées ci-dessous.

2.1 Des choix en connaissance de cause

Un choix tenant compte du risque reconnaît le "risque" comme une fonction de l'aléa, de l'exposition et de la vulnérabilité et développe une stratégie qui cible de manière proactive les efforts vers les endroits qui en ont le plus besoin (plutôt que de répondre de manière réactive aux inondations lorsqu'elles se produisent). Le risque n'est pas statique, mais évolue en fonction de facteurs largement extérieurs à la gestion des inondations, tels que les changements climatiques et socio-économiques, ainsi que des mesures prises pour réduire le risque (Figure 2-1). Comprendre le coût d'une action visant à réduire le risque et la réduction associée qu'elle apporte (par rapport à l'absence d'action) est un élément central de l'argumentaire en faveur de l'investissement.

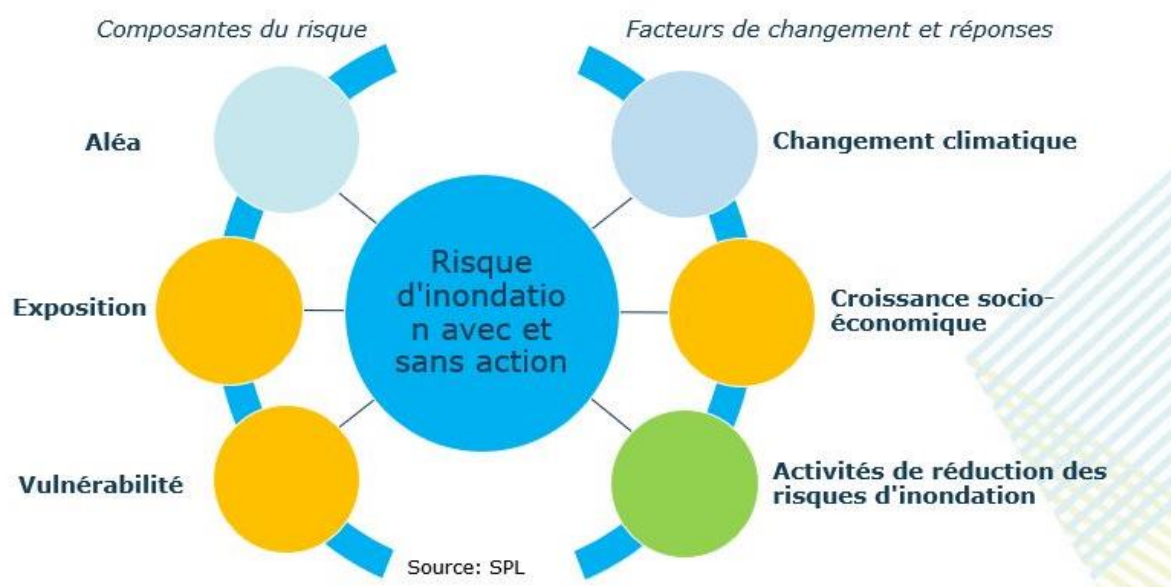


Figure 2-1: Comprendre le risque d'inondation avec et sans action

L'approche fondée sur les risques permet de regrouper les nombreux défis liés aux inondations au Burundi dans un cadre commun :

Les inondations sont basées sur des sources multiples de risque d'inondation :

Bujumbura et Gatumba subissent des inondations provenant de trois sources principales : Le lac Tanganyika ; diverses rivières ; et des inondations pluviales (eaux de surface) de courte durée causées par des pluies intenses. La performance des stratégies alternatives est évaluée dans le contexte des douze aléas combinés (comme détaillé dans le rapport sur les aléas¹) pour capturer l'influence de ces sources multiples (Tableau 2-1).

Tableau 2-1: Événements d'aléas combinés

Période de retour (années)					
Numéro de l'événement	Niveau du lac	Débits des cours d'eau		Pluies	Période de retour combinée
		Rivière Ruzizi	Autres rivières		
1	1 sur 5	1 sur 5	1 en 1	1 en 1	1 sur 5
2	1 sur 25	1 sur 25	1 en 1	1 en 1	1 sur 25
3	1 sur 50	1 sur 50	1 en 1	1 en 1	1 sur 50
4	1 sur 100	1 sur 100	1 en 1	1 en 1	1 sur 100
5	1 en 1	1 sur 5	1 sur 5	1 en 1	1 sur 5
6	1 sur 2	1 sur 25	1 sur 25	1 sur 2	1 sur 25
7	1 sur 5	1 sur 50	1 sur 50	1 sur 5	1 sur 50
8	1 sur 10	1 sur 100	1 sur 100	1 sur 10	1 sur 200
9	1 en 1	1 en 1	1 en 1	1 sur 5	1 sur 5
10	1 sur 2	1 sur 2	1 sur 2	1 sur 25	1 sur 25
11	1 sur 5	1 sur 5	1 sur 5	1 sur 50	1 sur 50
12	1 sur 10	1 sur 10	1 sur 10	1 sur 100	1 sur 200

1 JBA Consulting, 2023. Baseline Flood Hazard Modelling Report – Development of Actions for Flood Mitigation in Two Urban Areas of Burundi. March 2023

Le risque d'inondation en tant que fonction de l'aléa, de l'exposition et de la vulnérabilité : Les profondeurs d'inondation modélisées associées à chaque événement dangereux sont combinées avec des informations spatiales détaillées sur l'exposition et la vulnérabilité des biens pour estimer le risque d'inondation (comme indiqué dans le rapport sur les risques²). Les interventions visant à gérer les différentes sources de danger d'inondation ainsi que l'exposition et la vulnérabilité influencent le risque évalué.

Reconnaître que tout le monde ne vit pas les inondations de la même manière : Certaines personnes sont plus vulnérables aux inondations que d'autres. De nombreux facteurs influencent la vulnérabilité sociale, mais le plus important est le revenu, la plus grande vulnérabilité sociale étant souvent associée aux communautés les plus pauvres. Le sexe peut également avoir une influence significative, les femmes étant souvent touchées de manière disproportionnée par les inondations. Par conséquent, l'exposition aux risques d'inondation peut exacerber les inégalités existantes entre les hommes et les femmes³. En l'absence de données socio-économiques à haute résolution, il n'a pas été possible d'intégrer une évaluation détaillée de la vulnérabilité sociale. Toutefois, pour donner un aperçu, le type de logement est utilisé comme indicateur de revenu, les personnes vivant dans des constructions de moindre qualité, telles que le bois et la terre battue, étant considérées comme les plus vulnérables sur le plan social (Tableau 2-2). Cette approche indirecte est utilisée pour différencier les résultats des stratégies alternatives pour les personnes les plus vulnérables socialement.

Tableau 2-2: Vulnérabilité sociale - Indicateur du type de logement⁴

Type de mur (H4)	Type de mur	Nombre (AOI)	Ménages les plus vulnérables socialement
1	Bois/terre battue, sans ciment (V)	14,407	Oui
2	Bois/ Terre battue, ciment	3,899	
3	Briques d'adobe	162,145	
4	Briques cuites	62,617	
5	Blocs de ciment / de béton	6,244	
6	Pierres	905	
7	Planches en bois (V)	1,122	Oui

2 JBA Consulting, 2023. Baseline Flood Risk Modelling Report – Development of Actions for Flood Mitigation in Two Urban Areas of Burundi. May 2023

3 Erman, A., De Vries Robbe, S.A., Fabian Thies, S., Kabir, K. and Maruo, M., 2021. Gender dimensions of disaster risk and resilience: Existing evidence. World Bank

4 JBA Consulting, 2023. Baseline Flood Risk Modelling Report – Development of Actions for Flood Mitigation in Two Urban Areas of Burundi. May 2023

Type de mur (H4)	Type de mur	Nombre (AOI)	Ménages les plus vulnérables socialement
8	Plastique/feuille/ Carton (V)	261	Oui
9	Autres (V)	945	Oui
	Total	252,545	17,640 (7%)

Le tableau montre le nombre de maisons par type de bâtiment dans la zone d'intérêt. Les types de logements classés comme vulnérables sont en gras et identifiés par un "V". Dans la zone d'étude, 7 % des maisons sont classées comme vulnérables, mais elles ne sont pas réparties de manière égale dans la zone.

2.2 Une perspective basée sur les systèmes et une réponse basée sur un portefeuille

Les bonnes pratiques en matière de gestion des risques d'inondation considèrent les infrastructures physiques comme faisant partie d'un portefeuille d'actions qui, combinées, permettent de gérer les risques à l'échelle du système (par exemple, à l'échelle d'un bassin versant)⁵. Il s'agit notamment de regrouper les actions visant à gérer les risques d'inondation, l'exposition et la vulnérabilité, par exemple en promouvant des solutions basées sur la nature (SBN) pour ralentir le débit dans la partie supérieure du bassin versant (afin de réduire les débits de pointe dans les tronçons inférieurs), en faisant de la place à la dynamique naturelle des rivières et des lacs dans la mesure du possible, en mettant en œuvre des instruments de planification et de réglementation pour contrôler où et comment les bâtiments sont construits et, si nécessaire, en utilisant des interventions d'infrastructure physique pour contrôler les eaux d'inondation (Figure 2-2). Les systèmes de prévision et d'alerte, les plans d'urgence et les mesures d'anticipation s'ajoutent à ces mesures pour faire face au risque résiduel qui subsistera inévitablement.

⁵ Sayers P B, Galloway Gerry, Penning-Rowsell Edmund, Shen F, Wen K, Chen Y, Le Quesne T (2014). Strategic flood management: ten 'golden rules' to guide a sound approach. Journal: International Journal of River Basin Management. DOI: 10.1080/15715124.2014.902378



[TdR/TTA]

Figure 2-2: Une approche de la gestion des risques d'inondation basée sur un portefeuille

Il est reconnu que le GBM et d'autres ont des initiatives connexes en cours (ou prévues), y compris la restauration des bassins versants et les systèmes d'alerte précoce (mis en évidence en "vert clair" dans la figure). Bien qu'elles n'entrent pas dans le cadre de cette étude, elles sont mentionnées (à un niveau élevé) afin de renforcer leur importance dans le cadre de la stratégie :

1. **Restauration du bassin versant.** L'opportunité de ralentir le débit dans le bassin versant supérieur et d'atténuer les hydrogrammes d'entrée à la limite de la zone d'étude est évaluée (comme détaillé dans le chapitre 5). Un coût indicatif est attribué aux activités de restauration du bassin versant et incorporé dans le PIS avec les bénéfices des inondations. Aucune tentative n'est faite pour évaluer les bénéfices plus larges sur l'environnement ou les moyens de subsistance dans le bassin versant de restauration.
2. **Systèmes de prévision et d'alerte précoce (SPAP).** La réduction potentielle des risques offerte par l'amélioration des SPAP est caractérisée par une hypothèse d' "efficacité" et d' "adoption" (comme détaillé au chapitre 5). Aucune tentative n'est faite pour évaluer le coût car cela fait partie d'une initiative parallèle en cours du GBM pour développer un tel système.

Note : Les mesures individuelles considérées dans le contexte de la zone d'étude sont examinées en détail à l'annexe A.

2.3 Une perspective à court et à long terme

L'adoption d'une perspective stratégique reconnaît la nécessité de faire face aux risques actuels et futurs. L'élaboration d'une stratégie qui répond aux facteurs de changement (et qui, le cas échéant, agit pour influencer le changement) sera donc à l'origine de son succès à long terme. Le contexte de développement dynamique du Burundi rend cette perspective à long terme particulièrement importante.

Les principaux facteurs de changement qui influencent les risques d'inondation et l'élaboration de la stratégie sont les suivants :

1. **Objectifs de développement socio-économique.** Le GdB s'est fixé pour objectif d'être une nation émergente d'ici 2040 et une nation développée d'ici 2060⁶. La gestion appropriée des risques d'inondation sera importante pour la réalisation de cette vision. Cette ambition promeut un processus de développement géré, créant des espaces habitables et résilients aux inondations (avec des espaces verts, du tourisme, des commodités et de la protection). Ces attributs sont utilisés comme des influences douces sur le développement de la stratégie.
2. **Une croissance urbaine rapide et continue.** Les projections démographiques du PNUD suggèrent une croissance rapide dans les années à venir, la population du Burundi augmentant de 88% entre 2022 et 2050 pour la projection médiane⁷. Une grande partie de cette croissance devrait se produire à Bujumbura et à Gatumba. Les projections médianes (88 % d'augmentation) et le 95e centile supérieur (130 % d'augmentation) d'ici les années 2050 sont utilisés ici pour déterminer le risque futur avec et sans investissement, comme détaillé plus loin au chapitre 5.
3. **Le changement climatique.** Le changement climatique influencera toutes les sources d'inondation au Burundi, mais on ne sait pas exactement comment. Le rapport sur les risques adopte une série de scénarios de simulation pour explorer ces incertitudes (c'est-à-dire une augmentation de 0,3 m du niveau des lacs et une augmentation de 15 % ou 30 % des précipitations intenses d'ici les années 2050)⁸. Ces scénarios sont utilisés pour tester les performances des stratégies alternatives dans différents scénarios climatiques et sélectionner les plus robustes.
4. **Influences transfrontalières complexes et possibilités de collaboration.** Le risque d'inondation dans la zone d'étude, et la possibilité de gérer ce risque,

6 République du Burundi, 2023. Projet de "Vision Burundi Pays Emergent en 2040 et Pays Développé en 2060". Avril 2023.

7 United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2022. World Population Prospects 2022, Online Edition

8 JBA Consulting, 2023. Baseline Flood Hazard Modelling Report – Development of Actions for Flood Mitigation in Two Urban Areas of Burundi. March 2023

seront influencés par des choix effectués au-delà des limites du bassin versant. Les influences externes les plus importantes sont les suivantes :

- **Gestion des hauts bassins versants.** La restauration et la conservation du paysage dans les bassins versants supérieurs auront une influence importante sur les risques d'inondation au Burundi. L'érosion de surface et la rétention limitée des flux dans les bassins versants amont et périurbains augmentent les flux de crue (et les sédiments) arrivant dans la zone d'étude. Il est entendu que la stratégie d'utilisation des terres et des bassins versants qui abordait cette question a perdu de son élan au cours des derniers mois. Néanmoins, on suppose que cette activité reste un objectif important et que la restauration du bassin versant est un moyen d'influencer les débits de crue atteignant la zone d'étude (comme détaillé dans le chapitre 5).
- **Développement de l'hydroélectricité dans la Ruzizi et ailleurs.** Des barrages hydroélectriques existent déjà sur la Ruzizi (à plusieurs centaines de kilomètres en amont de Gatumba) et d'autres aménagements hydroélectriques sont prévus. On suppose que ces barrages n'ont pas d'influence sur les débits atteignant Gatumba. On ne sait pas s'il existe des plans de développement hydroélectrique pour d'autres bassins versants ou micro-systèmes dans la zone d'étude.
- **Gestion du lac Tanganyika.** Ces dernières années, la discussion sur l'interaction entre le lac et le risque d'inondation s'est concentrée sur deux aspects (comme indiqué dans le rapport initial) :⁹
 - a. Barrage à la sortie du lac Tanganyika (barrage de Lukuga). La construction d'un barrage à la sortie du lac a fait l'objet de nombreuses discussions au cours des dernières années¹⁰. L'incertitude demeure quant à l'avancement de ce projet (mais il est considéré comme improbable à court ou moyen terme) et, le cas échéant, quant à sa conception et à son exploitation. On suppose ici que le barrage n'aura pas lieu, ou que s'il a lieu, il sera conçu et exploité de manière à n'avoir aucun impact sur les niveaux d'eau extrêmes (élevés) du lac.
 - b. Planification de la gestion des rives du lac. La gestion coordonnée des rives du lac Tanganyika est une entreprise complexe qui implique de nombreuses questions transfrontalières. Il est toutefois possible de mieux coordonner la planification de la gestion des rives et les activités qui influencent les niveaux d'eau, la qualité de l'eau, les sédiments, la biodiversité et la valeur

9 JBA Consulting, 2022. Inception Report – Development of Actions for Flood Mitigation in Two Urban Areas of Burundi. A Report for the World Bank by JBA, Sayers and Partners and Landell Mills.

10 Serrat Capdevila, Aleix; Lajaunie, Marie Laure; Bonzanigo, Laura; Figueira, Pedro; Bench, Reynaldo. 2018. Port Access in the Lake Tanganyika: Key Challenges and Recommendations. © World Bank, Washington, DC. <http://hdl.handle.net/10986/29330>

économique du lac. Lors de discussions avec l'Autorité du Lac Tanganyika (ALT), en octobre 2022, il a été noté que la ALT agit déjà en tant qu'organisation coordinatrice pour les pays autour du lac, mais qu'il y a une opportunité pour renforcer leur rôle et d'adopter une approche plus proactive de la planification du lac dans son ensemble¹¹. Dans les zones étudiées, des préoccupations et des opportunités particulières existent autour de la protection et du rôle du parc national de Ruzizi dans le cadre des choix de gestion des inondations, ainsi que des opportunités d'améliorer la conservation de la nature et le tourisme autour des marges du lac. Il est également possible de renforcer le contrôle du développement des rives du lac (et de la zone tampon d'interdiction de développement), ainsi que la gestion des sédiments et l'interaction avec le port.

11 Sayers, P. and Read, J (2022). Development of actions for flood mitigation in two urban areas of Burundi. Country visit notes. 24 October 2022.

3 Unités d'investissement basées sur les bassins versants et stratégies alternatives

3.1 Une vue d'ensemble des défis par bassin versant

Pour refléter une approche systémique, les avantages et les coûts de chaque alternative stratégique sont examinés à l'échelle du bassin versant. Six unités d'investissement par bassin versant (UIBV) sont adoptées sur la base des sous-bassins hydrologiques définis dans le rapport sur les risques (Figure 3-1).

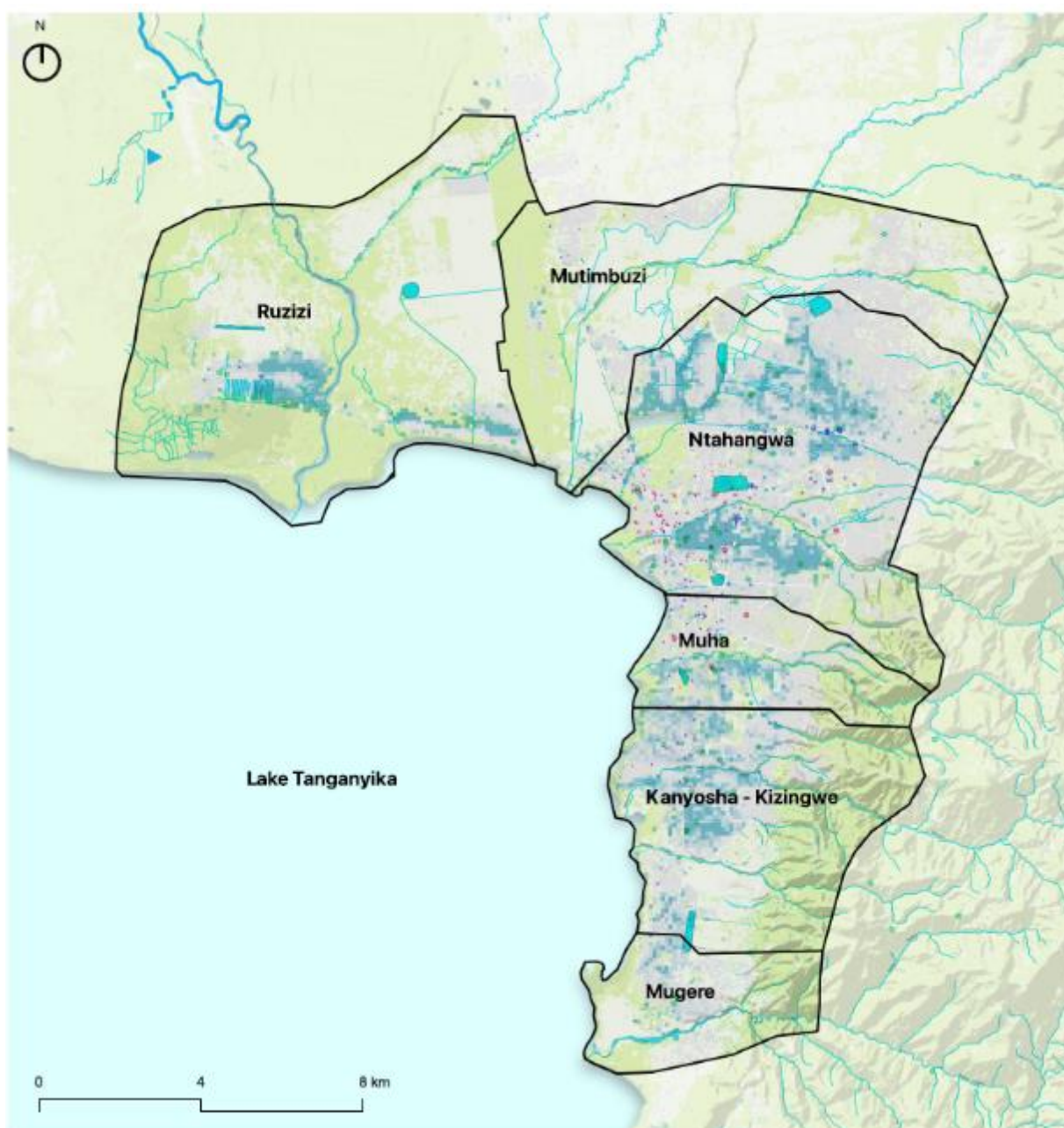
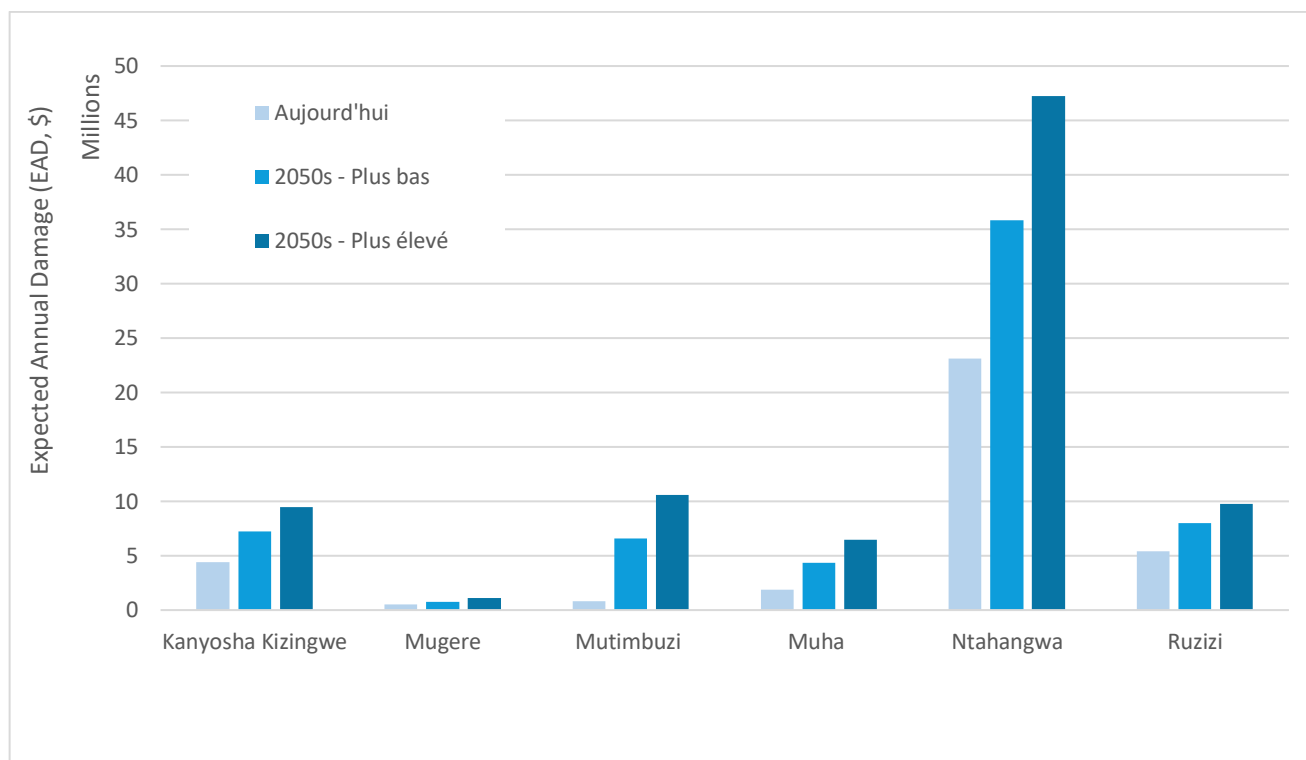


Figure 3-1: Zone d'étude et six unités d'investissement par bassin versant (UIBV)

Chaque UIBV présente un niveau de risque d'inondation différent (Figure 3-2) et est confronté à des défis différents dans la gestion de ces risques, comme cela est brièvement résumé ci-dessous.



Notes : 2050s Plus bas - se réfère à un scénario de changement climatique plus faible et à un scénario de croissance faible ;
2080s Plus élevé - se réfère à un scénario de changement climatique plus élevé et à un scénario de croissance élevée.

Figure 3-2: Dommages annuels prévus (DAP/EAD): Aujourd'hui et à l'avenir, en supposant qu'il n'y ait plus d'investissement dans la gestion des inondations (dommages directs aux habitations et aux bâtiments non résidentiels, en dollars US)

3.1.1 Bassin versant n° 1 - Ruzizi (Gatumba)

Le bassin versant de la Ruzizi (Gatumba) se trouve à l'ouest de la zone d'étude et borde la République démocratique du Congo (RDC) - Annexe B. La Ruzizi marquait autrefois la frontière entre le Burundi et la RDC, mais depuis qu'elle a été détournée pendant la période coloniale (date inconnue), la Ruzizi orientale (Grande) traverse maintenant Gatumba et passe sous le pont routier pour se jeter dans le lac (à environ 6 km à l'est de la frontière, Figure 3-3). Le cours de la Petite Ruzizi occidentale traverse la RDC à l'ouest de la frontière (bien qu'elle ne transporte que peu ou pas de débit du bassin versant en amont).



En haut : canal gauche de Ruzizi. A droite : Delta de la Ruzizi. 2ème rangée : Gauche : Traversée de la route de la Ruzizi. À droite : digue informelle en terre. 3e rangée : Gauche: Revêtement rocheux réduisant les inondations dans la Gatumba. A droite: Les inondations sont fréquentes à Gatumba : Les plaines d'inondation fonctionnelles de la Ruzizi fournissent une utilisation importante de l'agriculture. (Photos : Gaspard, mai 2023, et l'étude du projet)

Figure 3-3: La Grande Ruzizi orientale traverse la réserve naturelle de Gatumba.

Les développements récents entre la route du lac sont fréquemment inondés et la ville principale de Gatumba (à l'intérieur des terres de la route du lac) subit d'importantes inondations par les eaux de surface¹². Les canaux de drainage sont souvent incapables de se déverser par gravité dans la Ruzizi et subissent des influences de reflux lorsque les niveaux d'eau dans la Ruzizi sont élevés (par conséquent, le risque d'inondation dominant est dû à des événements pluviaux). Dans ce contexte, les trois sources d'inondation sont importantes (Figure 3-3). Les inondations sont souvent de grande ampleur. En 2021, par exemple, les inondations ont conduit à une déclaration officielle de catastrophe et à la nécessité d'une évacuation temporaire¹³. La dynamique naturelle des flux d'inondation est cependant vitale pour l'écologie unique du delta de la Ruzizi et du parc national de la Ruzizi ; un environnement important qui a le potentiel de soutenir l'objectif du Burundi de promouvoir l'écotourisme dans le cadre de l'Agenda de développement (Figure 3-3). À l'est de la Ruzizi, l'estran se rétrécit et semble s'éroder. Cela a un impact à la fois sur les habitations et sur les hôtels qui dépendent de l'aménagement de la plage.

¹² JBA Consulting, 2023. Baseline Flood Hazard Modelling Report – Development of Actions for Flood Mitigation in Two Urban Areas of Burundi. March 2023

¹³ JBA (2022) Inception Report. Development Of Actions For Flood Mitigation In Two Urban Areas In Burundi. June 2022. A report for the World Bank - JBA, Landell Mills, and Sayers and Partners

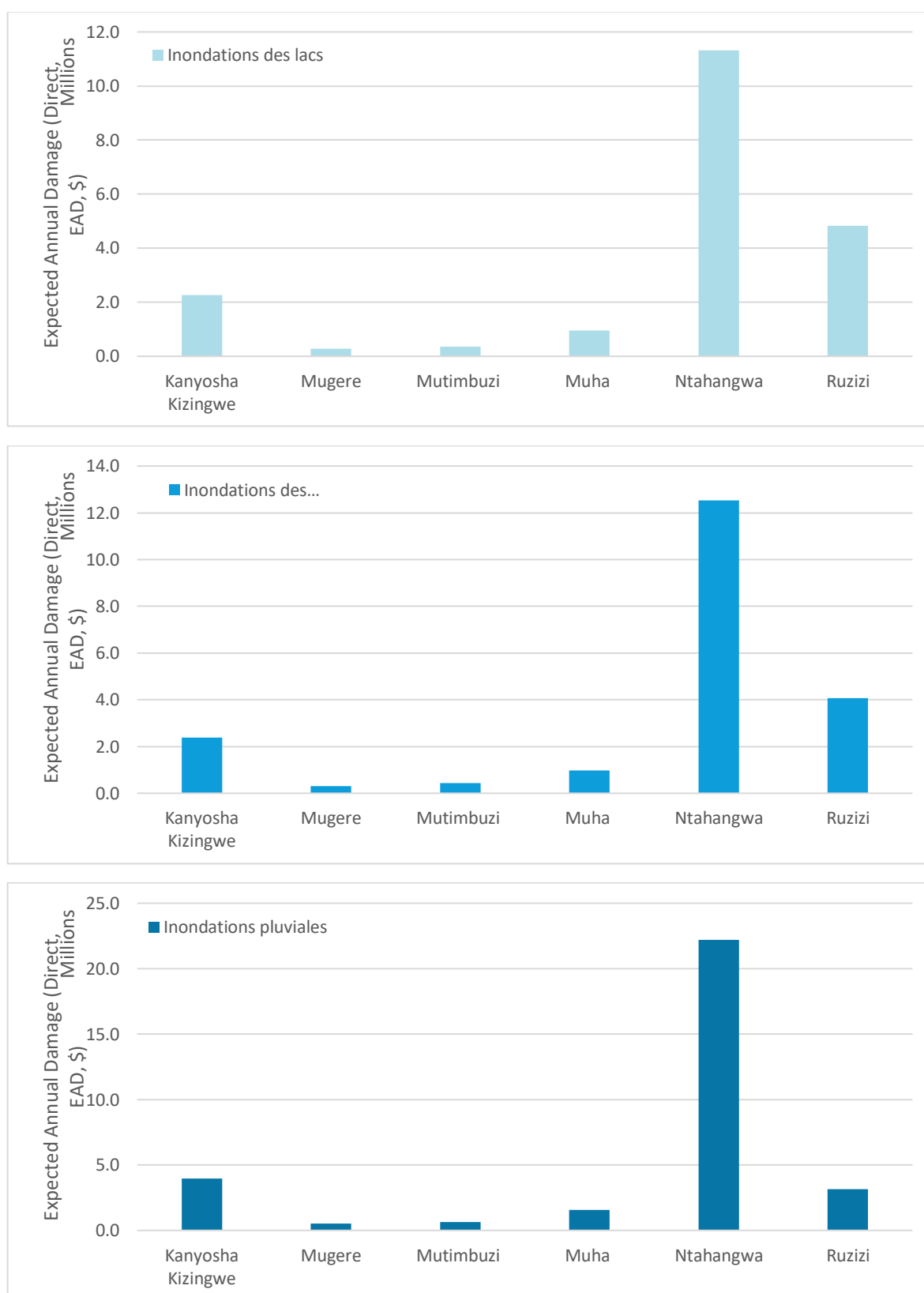


Figure 3-4: Risque actuel - Dommages annuels prévus par source d'inondation, tous les bassins versants

Gatumba est une région relativement pauvre et peu peuplée, avec moins de ménages exposés aux inondations que Ntampangwa et d'autres bassins versants centraux (Figure 3-5). De nombreuses maisons (en particulier au bord du lac, le long de la route principale) sont construites de manière informelle et ont été développées sans que l'on prête attention aux risques d'inondation. Par conséquent, une forte proportion des ménages exposés aux inondations sont les plus vulnérables socialement (Figure 3-6).

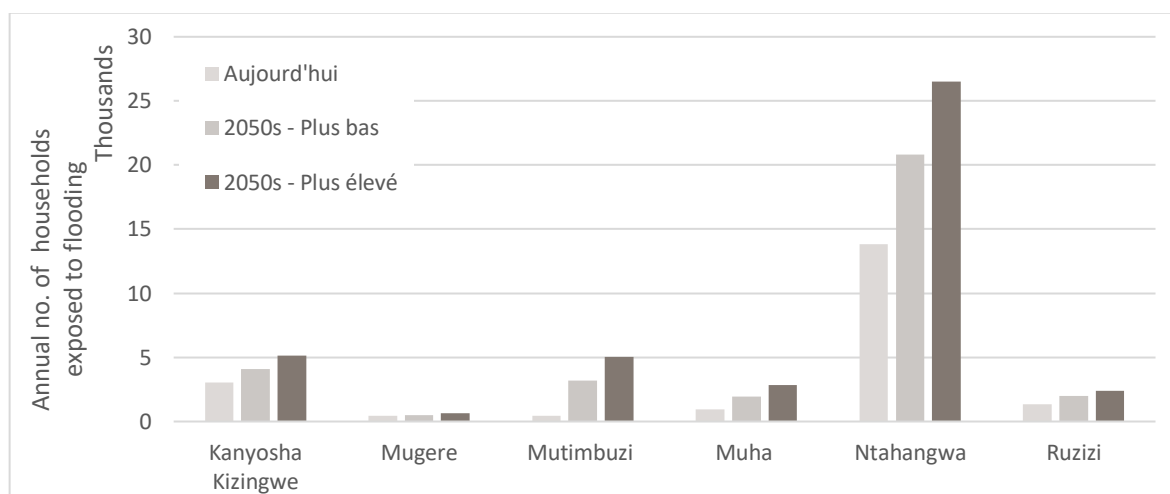
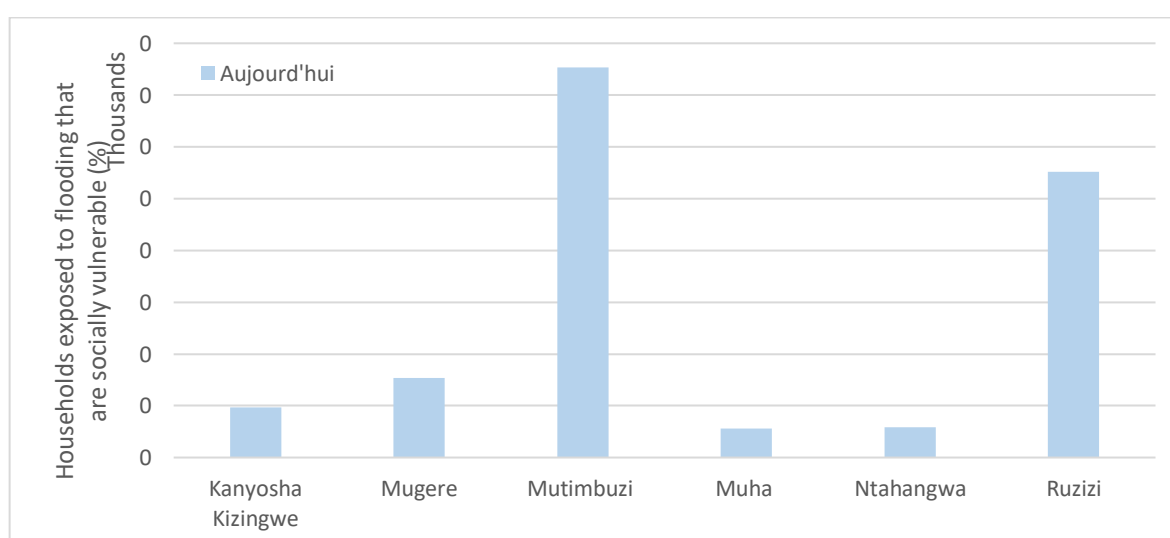


Figure 3-5: Nombre annuel de ménages exposés aux inondations : Aujourd'hui et à l'avenir, en supposant qu'il n'y ait pas d'investissement supplémentaire dans la gestion des inondations



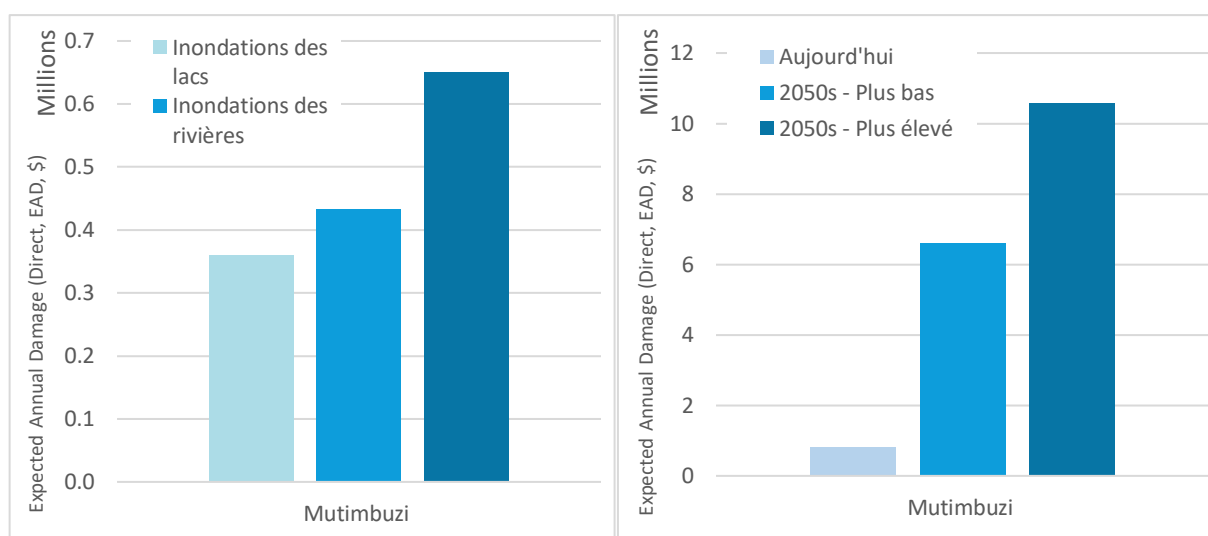
Les bassins versants de la Ruzizi et de la Mutimbuzi contiennent la plus grande proportion de ménages les plus vulnérables socialement.

Figure 3-6: Ménages exposés aux inondations et socialement vulnérables (%) - Aujourd'hui (toutes sources confondues)

3.1.2 Bassin versant n° 2 - Mutimbuzi

Le bassin versant de Mutimbuzi présente une concentration de développement près de la rive du lac, avec un développement résidentiel de moins en moins important vers l'intérieur des terres - Annexe B. La zone comprend cependant des infrastructures majeures telles que l'aéroport international et les principales voies d'accès à l'aéroport depuis les principaux centres de Bujumbura. La zone se développe rapidement avec une combinaison de nouvelles industries, de logements et de bâtiments administratifs (y compris, par exemple, l'ambassade de l'Ouganda) et il est entendu que des discussions initiales sont en cours concernant un second site potentiel de traitement de l'eau potable dans la zone (bien que cela reste spéculatif).

Les trois sources d'inondation sont importantes dans le bassin versant de Mutimbuzi, le principal risque d'inondation étant associé aux inondations pluviales (voir plus haut). Figure 3-4). Cependant, le développement se fait actuellement sans grande considération pour les risques d'inondation et il y a un besoin urgent de meilleures informations pour éclairer les choix de planification. En l'absence d'investissements supplémentaires, les risques d'inondation (dommages directs liés aux biens) devraient augmenter de manière significative d'ici les années 2050 (Figure 3-7). Les dommages indirects subis lorsque ces infrastructures importantes sont inondées viendront probablement s'ajouter de manière significative à ces pertes directes.



A gauche : risque actuel par source d'inondation. A droite : Croissance future du risque en supposant qu'aucun changement n'est apporté à la gestion actuelle des inondations

Figure 3-7: Risque d'inondation - actuel et futur (dommages annuels attendus, directs)

3.1.3 Bassin versant n° 3 - Ntakangwa

L'UIBV Ntakangwa est le bassin versant le plus densément peuplé de tous les bassins versants, avec des dangers et des risques d'inondation très répandus - Annexe B. Le risque associé aux trois sources d'inondation est plus important à Ntakangwa qu'ailleurs (voir plus haut). Figure 3-2), et le nombre de ménages à risque les plus vulnérables socialement est également plus élevé ici que partout ailleurs dans la zone d'étude (voir plus haut Figure 3-5).

Les débris anthropiques constituent un problème important. Les débris sont facilement délogés et mobilisés pendant les inondations. Les débris qui bloquent les canaux en aval, les ponceaux et les ponts, ainsi que l'érosion des berges, exacerbent le risque d'inondation (Figure 3-8).



Près de la station d'épuration de Ntakangwa - débris anthropogéniques recrutés par l'érosion des berges et l'évacuation directe dans le canal (Photo : Paul Sayers, Oct 2022)

Figure 3-8: Ntakangwa - Défis posés par les débris anthropogéniques et les blocages

De nombreux cours d'eau sont morphologiquement actifs, avec des mouvements latéraux et verticaux importants lors des crues. Lorsque la protection de surface est perdue (par le développement ou le défrichement), les sédiments sous-jacents sont facilement mobilisés par les flux de crue. Les tentatives de contrôle de l'écoulement par un revêtement "en dur" du canal naturel sont rapidement sapées par le lessivage des sédiments et le débordement des structures. Ceci est particulièrement significatif sur la rivière principale Ntakangwa et les rivières périurbaines dans les parties supérieures de la zone d'étude (Figure 3-9).



À gauche : le chenal principal de la rivière Ntakangwa est fortement encaissé et les terres environnantes sont instables. À droite : Les affluents en tresse dans les zones périurbaines sur les bords extérieurs de la zone d'étude sapent rapidement les tentatives de contrôle "dur". (Photos : Paul Sayers, Oct 2022)

Figure 3-9: Ntakangwa - Défis posés par les changements morphologiques

Les bassins de traitement des eaux usées situés au nord-ouest du bassin versant traitent les eaux usées d'environ 20 % des propriétés de la ville, le reste étant déversé directement dans les cours d'eau ou le lac. Les digues des bassins de traitement des eaux usées dans le nord-ouest du bassin versant montrent des signes de détérioration (Figure 3-10). Une brèche à cet endroit causerait des dommages importants et mettrait en danger la vie des personnes en raison des débits de rupture du barrage et de l'exposition à de l'eau potentiellement hautement contaminée (partiellement traitée). Si l'on ajoute à cela la protection limitée fournie par les remblais ad hoc qui encadrent les rivières surélevées qui s'écoulent du nord au sud en passant devant les usines de traitement, il existe un risque important pour la communauté. Il est urgent de renforcer, d'entretenir et de surveiller ces digues.



A gauche : perte de la couche végétale sur la crête de la digue de retenue. À droite : la digue ad hoc protège la communauté de basse altitude située en contrebas (à droite de l'image). (Photos : Paul Sayers, mai 2023)

Figure 3-10: Ntahangwa - Les digues de retenue et la digue de la rivière locale montrent des signes de détérioration.

Les inondations par les eaux de surface (pluviales) sont importantes dans tout le bassin versant. L'eau s'écoule rapidement à travers la topographie naturellement abrupte, les surfaces pavées et les canaux de drainage revêtus de béton (lorsqu'ils existent). L'absence d'atténuation se traduit par un temps de réponse rapide entre les précipitations et les inondations.



Inondations des eaux de surface octobre 2022 - Les écoulements dans les zones périurbaines se propagent rapidement pour provoquer une répartition dans l'intersection principale. (Photos : Paul Sayers, octobre 2022)

Figure 3-11: Ntahangwa - Le ruissellement rapide des eaux de pluie et la propagation des écoulements de surface provoquent des perturbations généralisées

Les consultations menées lors de la visite de mai 2023 dans le pays ont suggéré que les aléas d'inondation et les risques actuels sont raisonnablement bien représentés par la modélisation des aléas, bien que l'expérience vécue suggère que les risques d'inondation pluviale peuvent être surestimés dans la modélisation dans la zone de Buyenze¹⁴. Buyenze est typique de nombreuses zones de Ntakangwa. Bien qu'il soit difficile d'en déterminer la cause exacte, il est probable que cela soit lié à la difficulté de représenter la capacité de drainage existante et les hypothèses de blocage dans la modélisation des risques. Les berges instables sont facilement sapées lors de fortes pluies, les débris sont recrutés et les canaux de drainage sont bloqués (Figure 3-12). Ce processus est approximé dans la modélisation de l'aléa, mais pour éviter de surestimer le risque (et de mal orienter le PIS), un ajustement est effectué pour réduire l'aléa pluvial à Buyenze et, étant donné le cadre typique de Buyenze, plus généralement dans la zone d'étude (comme détaillé dans le chapitre 4).



À gauche : un cours d'eau canalisé émerge de la zone principale du marché. À droite : le canal de drainage naturel et les débris associés

Figure 3-12: Ntakangwa - Les inondations fluviales et les débris posent un problème important dans la zone animée de Buyenze

Les eaux de ruissellement provenant des bassins versants en amont génèrent des débits très élevés lors d'événements extrêmes (Figure 3-13). Les charges importantes de débris transportées par ces flux ajoutent au défi de la gestion. La restauration du bassin versant amont de la rivière Ntakangwa offre la possibilité de réduire les débits de crue (et les sédiments) qui pénètrent dans la zone d'étude.

14 Sayers, P., Read, J (2023). Development of actions for flood mitigation in two urban areas of Burundi. Country visit notes. 23 June 2023



A gauche : Vue au-delà de la zone d'étude vers le bassin versant en amont. A droite : D'importantes laves torrentielles pénètrent dans la zone d'étude en aval. (Photos : Paul Sayers, Oct 2022)

Figure 3-13: Ntahangwa - Les inondations fluviales et les débris posent un problème important dans la zone animée de Buyenze

L'avenue de la Plage longe la rive du lac (Figure 3-14). La perte de largeur de la plage et l'arrière-pays de faible altitude constituent une voie d'inondation lorsque le niveau du lac est élevé. Des voies d'inondation existent également autour et au nord du port, impactant la route principale qui longe le lac et les activités commerciales proches du port.

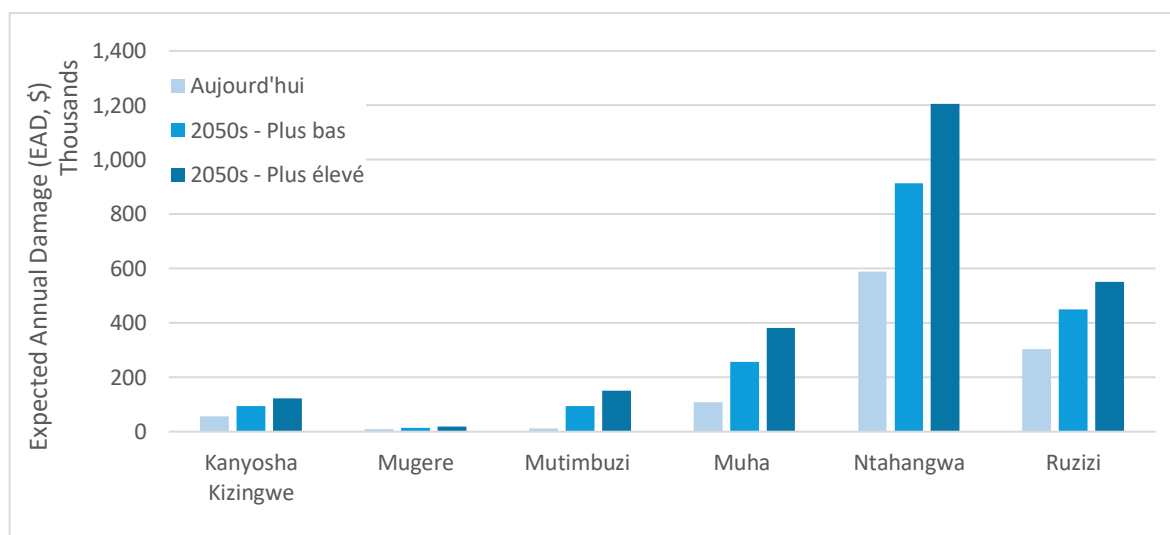


(Photographie : Google street view)

Figure 3-14: Ntahangwa - L'avenue de la plage longe la rive du lac

3.1.4 Bassin versant n° 4 - Muha

L'UIBV de Muha est la plus petite de toutes les unités d'investissement du bassin versant et, par conséquent, le risque "absolu" est faible par rapport aux autres (voir ci-dessus). Figure 3-2). Muha est exposée à toutes les sources d'inondation, mais la principale source d'inondation est pluviale (voir plus haut Figure 3-4). La majeure partie du bassin versant de la rivière Muha est urbaine et se trouve à l'intérieur des limites de l'UIBV. Le développement résidentiel et non résidentiel se poursuit sans tenir compte des réglementations existantes en matière d'urbanisme (telles que la zone tampon "sans développement" autour des lacs et des rivières). La combinaison des dangers, de l'exposition et de la vulnérabilité entraîne un risque généralisé dans le bassin versant (annexe B). Bien que l'ampleur du risque à Muha soit inférieure à celle de la plupart des autres UIBV, la "densité du risque" dans l'UIBV de Muha est l'une des plus élevées et, d'ici les années 2050, elle devrait être la deuxième après celle de Ntahangwa (Figure 3-15). Il faudra au minimum renforcer les contrôles de planification (et leur application) si l'on veut éviter cette augmentation prévue.



Densité du risque (EAD/km = DAP/km) en l'absence d'investissements supplémentaires dans la gestion des risques d'inondation.

La "densité de risque" est estimée comme les dommages annuels prévus (dommages matériels directs) divisés par la taille de l'UIBV

Figure 3-15: Bassin versant de la Muha - Densité de risque actuelle et future dans l'hypothèse d'un maintien de l'approche de gestion actuelle

Outre le risque d'inondation direct pour les biens, des infrastructures essentielles sont exposées aux inondations dans le bassin versant de la Muha. La combinaison de l'érosion et des inondations menace de plus en plus la station de pompage d'eau potable située près du bord du lac (Figure 3-16). Cette station de pompage, située sur un site étroit entre l'avenue de la Plage et la rive du lac, extrait l'eau du lac (via une seule prise d'eau située à environ 2 à 3 km au large) et la pompe jusqu'à la station de traitement des eaux de Bujumbura (également dans le bassin versant de Muha).

Cette prise d'eau fournit environ 95 % de l'eau du réseau de distribution de la ville. L'inondation des eaux de surface et des rives du lac a entraîné la perte de l'alimentation électrique du site.



En haut à gauche : Emplacement de la station de prise d'eau. A droite : La station de pompage. En bas à gauche : Érosion de la rive du lac immédiatement au nord du site. En bas à droite : Salle de contrôle de la station de pompage. (Photos : Jo Read Octobre 2022)

Figure 3-16: Ntahangwa - Les inondations fluviales et les débris posent un problème important dans la zone animée de Buyenze

Certaines digues sont en place (d'après l'étude du site et l'analyse topographique¹⁵), mais il existe peu de données officielles sur le niveau de protection qu'elles offrent ou sur leur état actuel. Bien qu'elles n'aient pas été inspectées dans le cadre de cette étude, les discussions menées lors des visites dans le pays suggèrent que les digues de Muha, comme partout ailleurs, sont en mauvais état.

La route du bord du lac qui traverse les bassins versants de Muha et de Ntahangwa est sujette aux inondations. Par endroits, la plage a disparu, ailleurs elle se rétrécit. Des efforts de protection ad hoc sont en place mais offrent peu de protection (Figure 3-17).

15 JBA Consulting, 2023. Baseline Flood Hazard Modelling Report – Development of Actions for Flood Mitigation in Two Urban Areas of Burundi. March 2023



(Plage touristique située immédiatement au sud du port. À gauche : protection ad hoc lorsque la plage se rétrécit. À droite : La plage plus large offre par endroits la possibilité de développer une protection naturelle contre les inondations. (Photos : Jo Read, mai 2023)).

Figure 3-17: Bassin versant de la Muha - Dommages annuels prévus actuels et futurs dans l'hypothèse d'un maintien de l'approche de gestion actuelle

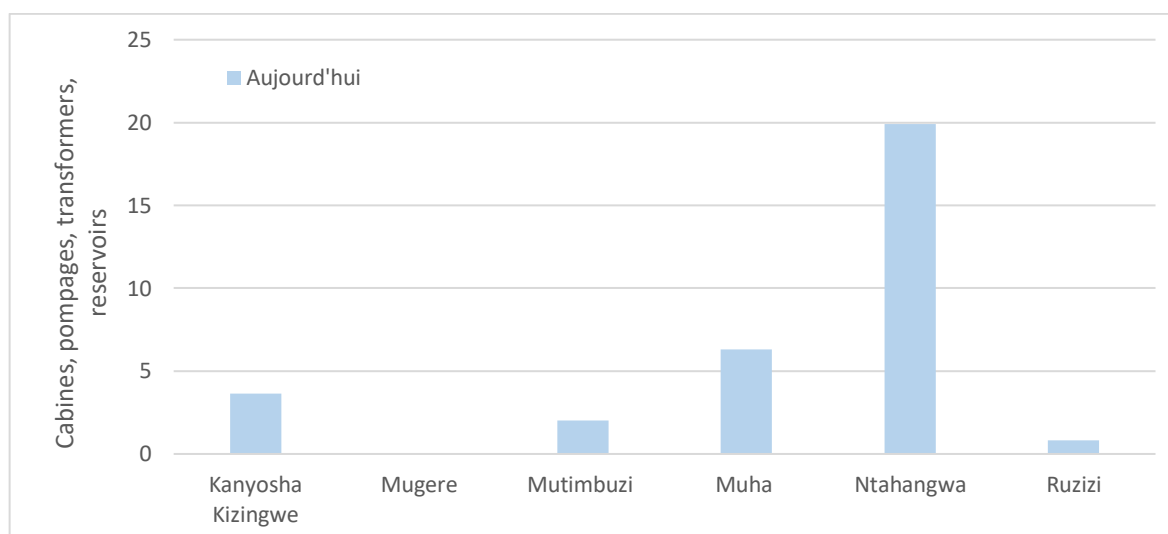
3.1.5 Bassin versant n° 5 - Kanyosha Kizingwe

Environ 55% des bassins versants des rivières Kanyosha et Kizingwe se trouvent à l'extérieur de la UIBV. Dans la zone d'étude, le risque d'inondation est concentré dans la zone urbaine principale vers le lac, et diminue à l'intérieur des terres au fur et à mesure que la densité urbaine diminue de manière significative (Annexe B). Les débits de pointe augmentent rapidement sur les rivières Kanyosha et Kizingwe (voir ci-dessous). Cette montée rapide ne permet guère d'alerter les habitants en aval et reflète la topographie abrupte et le réseau fluvial. La morphologie dynamique des rivières en amont et l'érosion des sédiments de surface ont conduit, comme par le passé, à la création de barrages temporaires qui ont ensuite cédé, entraînant des inondations plusieurs fois plus graves que celles causées par un ruissellement de surface concentré.¹⁶ Une grande partie du bassin versant reste inexploitée (moins de 12 % sont actuellement urbanisés). Par conséquent, la conservation du bassin versant pour éviter d'exacerber les pics de l'hydrogramme ainsi que les mesures de contrôle des sédiments (qui ne sont pas directement visées ici) sont susceptibles d'être importantes.

L'ampleur du risque actuel dans les bassins versants de Kanyosha et de Kizingwe est importante (plus que dans tous les bassins versants autres que les UIBV de Ruzizi et de Ntahangwa). Figure 3-4). Un nombre important d'infrastructures critiques (armoires électriques et transformateurs, stations de pompage et réservoirs) sont

¹⁶ Nibigira, L., Havenith, H.B., Archambeau, P. and Dewals, B., 2018. Formation, breaching and flood consequences of a landslide dam near Bujumbura, Burundi. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(7), pp.1867-1890.

également menacées dans le bassin versant de la Kanyosha et de la Kizingwe (Figure 3-18).



Les services d'infrastructure proviennent d'OSM et comprennent les cabines, les stations de pompage, la transformation et les réservoirs, comme indiqué dans le rapport sur les risques

Figure 3-18: Aujourd'hui : nombre annuel de services d'infrastructure inondés

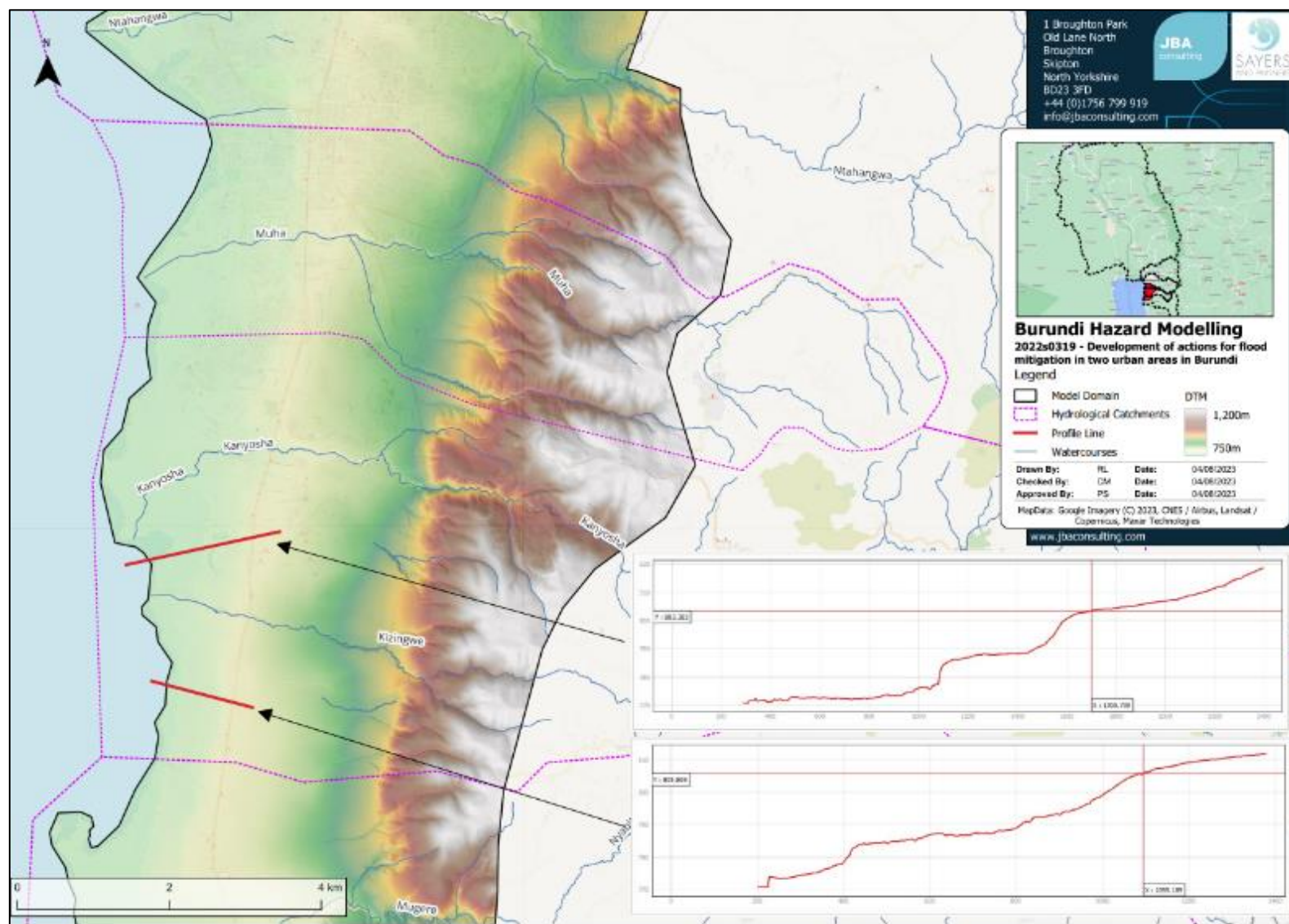
Près des rives du lac et dans les plaines d'inondation des rivières, le développement mal planifié se poursuit. Dans le delta de la rivière Kizingwe, le développement se poursuit dans une zone où la morphologie change de façon dynamique et où le lac est inondé (Figure 3-19). Plus à l'intérieur des terres, dans les zones périurbaines, l'instabilité morphologique se poursuit alors que la rivière s'érode en amont (migration des points d'inflexion), ce qui rend la gestion des risques d'inondation encore plus complexe.



À gauche : le développement est mal contrôlé dans le delta de la rivière Kanyosha. À droite : Érosion en pointes dans les limites orientales de l'UIBV de la Kanyosha et de la Kizingwe

Figure 3-19: Aujourd'hui : le développement ad hoc se poursuit dans les plaines inondables fonctionnelles de la rivière et du lac Kizingwe

La route principale sud-nord (la R.N.3) passe près du sommet de l'escarpement de la rive du lac, ce qui constitue une limite utile (approximative) entre la rive relativement plate du lac et le bassin versant plus abrupt de l'intérieur. Les développements récents dans la "zone tampon" d'interdiction de développement et vers la route sont souvent sur la route directe de l'inondation ou des flux de ruissellement du bassin versant supérieur.



La position de la R.N.3 est indiquée par le réticule dans les profils d'insertion. L'escarpement à l'ouest et le bassin versant à l'est. Les couleurs de la carte indiquent l'altitude

Figure 3-20: Topographie de l'arrière-pays - le R.N.3 a fourni une limite approximative entre les hautes terres et les basses terres dans les UIBV de Muha, Kanyosha et Mugere.

3.1.6 Bassin versant n° 6 - Mugere

Moins de 10 % du bassin versant de la Mugere se trouve dans la zone d'étude (annexe B). Le risque dominant est celui des inondations pluviales, mais les risques lacustres et fluviaux sont également importants (voir plus haut). Figure 3-2). Mugere est l'une des UIBV les moins développées avec <15 000 propriétés résidentielles enregistrées dans l'analyse (Figure 3-21). Le développement est prévu jusqu'aux années 2050, mais moins qu'ailleurs (sauf peut-être dans le Ruzizi). Par conséquent, il est possible de conserver un espace pour la rivière et le lac tout en satisfaisant les objectifs de développement.

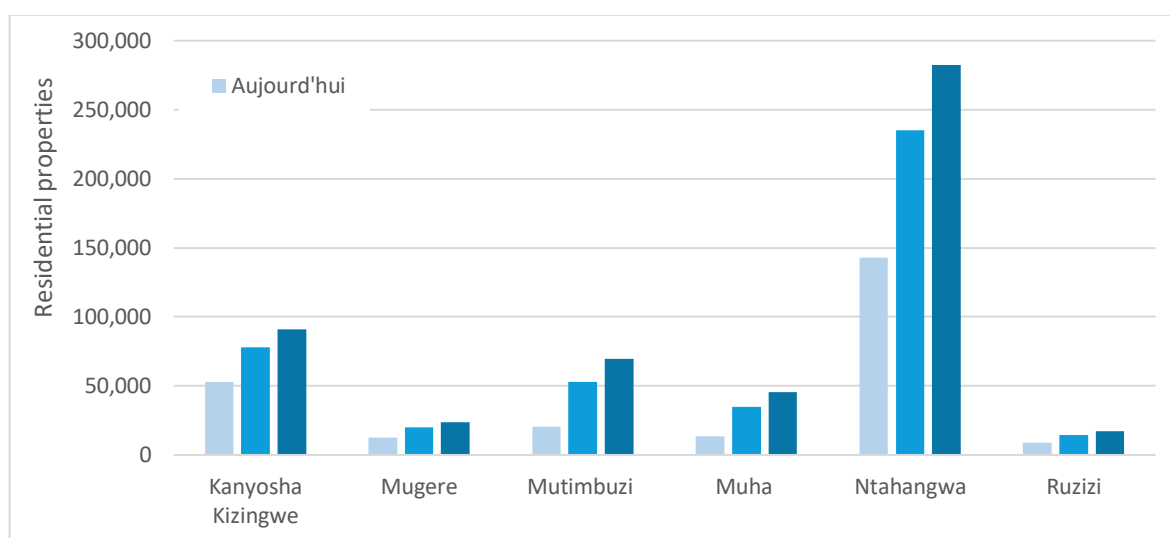


Figure 3-21: Développement résidentiel : Projections actuelles et futures

Le maintien de l'espace pour la dynamique naturelle et les zones humides du delta de la rivière Mugere sera une considération importante de la planification ainsi que le développement sensible du bassin versant supérieur (à la fois à l'intérieur et au-delà de la zone d'étude). Les débits de crue entrant dans la zone d'étude sont importants mais "plats" (avec un pic de ~100 cumecs lors d'un événement d'une année sur 100). Le maintien de ce profil hydrographique relativement plat dépendra des bons choix de planification qui évitent un développement inapproprié ou des changements d'utilisation des terres dans le bassin versant supérieur. Dans les plaines inondables fonctionnelles de la rivière et du lac, il reste possible d'éviter les risques futurs grâce à la planification et à l'application de la loi. L'imagerie aérienne suggère toutefois que des zones sont en cours de préparation pour le développement dans les zones à haut risque (Figure 3-22).



Figure 3-22: Delta de la rivière Mugere : L'opportunité de maintenir l'espace pour la rivière demeure, mais pourrait être perdue dans les années à venir si le développement n'est pas bien planifié.

3.2 Stratégies alternatives

Un portefeuille de mesures individuelles est utilisé pour former une série de stratégies alternatives pour chaque bassin versant, chaque stratégie alternative reflétant une autre orientation de gestion. Les mesures individuelles (décrites dans l'annexe A) sont regroupées en six stratégies alternatives, comme illustré dans la Figure 3-23 et résumées ci-dessous.

La performance de chaque stratégie est évaluée dans le contexte de deux scénarios futurs (climat faible et croissance démographique faible, et climat élevé et croissance démographique élevée) et comparée au contrefactuel du statu quo (tel que défini par le scénario de référence dans les rapports sur les dangers et les risques).

3.2.1 Stratégies de lutte contre les inondations

Deux stratégies de lutte contre les inondations sont envisagées. Elles se concentrent sur la réduction des risques par des mesures de contrôle des dangers (présentées au chapitre 2), sans effort supplémentaire pour gérer l'exposition ou la vulnérabilité (au-delà des hypothèses de base présentées dans le rapport sur les risques).

- **Contrôle des inondations 1 (CI-1)** suppose que les mesures de contrôle des inondations sont mises en œuvre avec une ambition modérée (par exemple, la construction d'une digue avec un niveau de protection modéré).
- **Contrôle des inondations 2 (CI-2)** suppose que les mêmes mesures de contrôle des inondations sont mises en œuvre avec une plus grande ambition (par exemple, la construction d'une digue avec un niveau de protection plus élevé).

La définition de l'hypothèse d'une ambition modérée et d'une ambition plus élevée pour chaque mesure de danger est détaillée à l'annexe A.

3.2.2 Stratégies axées sur l'exposition et la vulnérabilité

Deux stratégies axées sur l'exposition et la vulnérabilité sont envisagées. Elles se concentrent sur la réduction des risques par la gestion de l'exposition et de la vulnérabilité (couvrant l'éventail des mesures présentées au chapitre 2), sans effort supplémentaire, ou avec un effort supplémentaire limité, pour la gestion des risques d'inondation.

- **L'exposition et la vulnérabilité 1 (EV-1)** supposent que les mesures d'exposition et de vulnérabilité sont mises en œuvre avec un niveau d'ambition élevé, mais en l'absence d'efforts supplémentaires en faveur de la maîtrise des risques (au-delà de l'hypothèse de base définie dans le rapport sur les risques).
- **L'exposition et la vulnérabilité 2 (EV-2)** supposent que les mesures d'exposition et de vulnérabilité sont mises en œuvre avec un niveau d'ambition élevé, parallèlement à des mesures de maîtrise des risques modérées.

La définition de l'hypothèse modérée et de l'hypothèse plus ambitieuse pour chaque mesure de l'exposition et de la vulnérabilité est détaillée à l'annexe A.

3.2.3 Stratégies équilibrées

Deux stratégies équilibrées sont envisagées, qui combinent un ensemble de mesures relatives aux dangers, à l'exposition et à la vulnérabilité.

- **Équilibré 1 (Equ-1)** - rassemble un niveau d'ambition modéré pour l'ensemble des mesures.
- **Équilibré 2 (Equ-2)** - rassemble un niveau d'ambition plus élevé pour l'ensemble des mesures.

La définition des hypothèses d'ambition modérée et plus élevée pour chaque mesure est la même que celle présentée dans les stratégies axées sur les dangers et sur l'exposition et la vulnérabilité, comme indiqué en détail à l'annexe A.

Interventions qui réduisent l'étendue de l'inondation					Mesures pour réduire l'impact des inondations				
Restauration du bassin versant	Restauration et protection des rives du lac	Protection des rivières	Améliorations des infrastructures critiques	Contrôle pluvial	Planification et zonage	Règles de construction	Systèmes d'alerte rapide	Protection des infrastructures critiques	Stratégie
Base de référence	Base de référence	Base de référence	Base de référence	Base de référence	Base de référence	Base de référence	Base de référence	Base de référence	Contrefactuel
Haut	Haut	Haut	Haut	Haut	Base de référence	Base de référence	Base de référence	Oui	Contrôle des inondations 1
Modéré	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré	Base de référence	Base de référence	Base de référence	Oui	Contrôle des inondations 2
Modéré	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré	Oui	Équilibré 1
Haut	Haut	Haut	Haut	Haut	Haut	Haut	Haut	Oui	Équilibré 2
Base de référence	Base de référence	Base de référence	Base de référence	Base de référence	Haut	Haut	Haut	Oui	Exposition et Vulnérabilité 1
Modéré	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré	Haut	Haut	Haut	Oui	Exposition et Vulnérabilité 2

Figure 3-23: Stratégies alternatives

4 Approche pour faire un choix

4.1 Hypothèses d'évaluation

Pour évaluer la performance de chaque stratégie alternative de gestion des risques d'inondation dans chaque UIBV, une série d'hypothèses sont nécessairement formulées. Celles-ci sont présentées ci-dessous.

4.1.1 Contrefactuel

Les bénéfices de l'investissement sont calculés comme la différence entre le risque "avec" et "sans" investissement. L'évaluation du risque "sans investissement" (le contrefactuel) suppose que les mesures actuelles de lutte contre les inondations (lorsqu'elles existent) restent inchangées et que le développement se fait en l'absence d'aménagement du territoire ou de contrôle des constructions. Les services de prévision et d'alerte des inondations sont supposés n'avoir aucune influence sur le risque. Les changements climatiques et socio-économiques influencent le risque contrefactuel.

4.1.2 Test du taux d'actualisation

Un taux de 5% par an (fixe) est supposé. Cela reflète une projection de "croissance régulière" pour le Burundi et constitue un test au taux d'actualisation (TTA) modéré par rapport à d'autres pays d'Afrique. Le TTA ne tient pas compte des risques et des coûts futurs. Cela signifie que les coûts d'adaptation futurs (au-delà de 20 à 30 ans dans le futur) auront un impact plus limité sur les choix actuels, et par conséquent l'importance de l'inadaptation (c'est-à-dire un choix qui entraîne des coûts futurs importants ou qui ne gère pas les risques futurs) est quelque peu diminuée en faveur d'une action aujourd'hui. Les mises en garde à noter sont les suivantes :

- Le même TTA est appliqué dans tous les cas : on pourrait faire valoir que le TTA devrait varier en fonction de l'avenir socio-économique projeté, mais il s'agit là d'une complexité ignorée ici.
- Un TTA fixe est supposé : la sensibilité des priorités résultantes au taux pourrait être entreprise mais n'est pas incluse ici.
- L'inflation est exclue : on suppose que l'inflation a un impact égal sur les coûts et les bénéfices.

4.1.3 Période d'évaluation

La période d'évaluation correspond à la période au cours de laquelle les coûts et les bénéfices sont considérés comme acquis. La période d'évaluation s'étend

d'aujourd'hui (2022, année au cours de laquelle la majeure partie de l'analyse a été réalisée) à 2050 (28 ans).

4.1.4 Risques combinés

L'ampleur et le nombre des inondations qui peuvent se produire au cours d'une année donnée sont naturellement aléatoires. Ce caractère aléatoire naturel (c'est-à-dire l'incertitude aléatoire) est pris en compte par l'examen de multiples événements combinés représentant une gamme de périodes de retour (voir ci-dessus). Tableau 2-1). Ceux-ci sont utilisés pour fournir des valeurs annuelles attendues du risque.

4.1.5 Dangers et risques : Ajustement des risques pluviaux et bénéfices de l'action

Réduction du risque pluvial évalué : Les aléas évalués et les risques associés ont été comparés à des estimations alternatives (voir les rapports sur les aléas et les risques) et examinés lors de l'atelier de mai 2023 dans le pays¹⁷. En général, ces comparaisons montrent qu'ils sont "raisonnables" dans le contexte de l'étude. Il y a quelques exceptions, particulièrement associées aux risques pluviaux dans la zone autour de Buyenze (à Ntakangwa) où les risques semblent être surévalués (Figure 4-1). Ceci peut refléter la difficulté de représenter le réseau de drainage des eaux de surface ou le rôle des débris dans l'analyse (mais il est difficile de le déterminer définitivement sans une enquête future). Pour éviter une surestimation du risque d'inondation pluviale (et donc la réduction qui peut être obtenue par une stratégie particulière), les risques pluviaux sont réduits de 10% dans le calcul du PIS présenté dans les chapitres suivants.

17 Sayers, P., Read, J (2023). Development of actions for flood mitigation in two urban areas of Burundi. Country visit notes. 23 June 2023

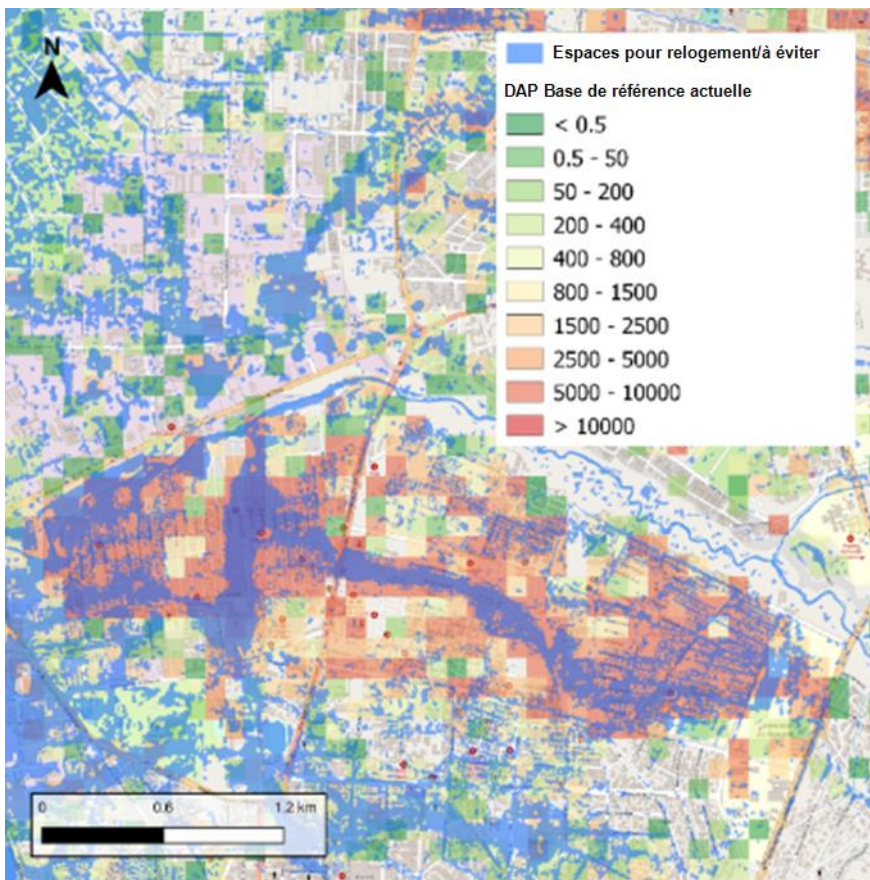


Figure 4-1: Buyenze, Ntarangwa : Modélisation des risques pluviaux

Avantages supplémentaires de la formalisation des voies de drainage : Bénéfice accru : la mise en œuvre de mesures de gestion des eaux de surface, par le biais d'une augmentation de l'acheminement obtenue en augmentant la capacité de drainage conventionnelle et grâce à l'augmentation de l'infiltration dans les zones urbaines (comme décrit dans l'annexe A - mesures pluviales) sont toutes deux modélisées en réduisant le ruissellement effectif.

Au-delà des avantages liés à l'augmentation de l'acheminement ou de l'infiltration de l'eau dans le système de drainage urbain, cet investissement dans l'infrastructure urbaine devrait entraîner des avantages supplémentaires en termes d'amélioration de l'acheminement et du stockage en surface dans les rues et autres espaces publics, à la suite de projets de drainage. Dans de nombreux cas, des améliorations significatives peuvent être obtenues grâce à de petits changements localisés tels que le rehaussement des bordures de route ou la canalisation de l'eau dans des espaces ouverts où elle peut être stockée en toute sécurité et rejetée dans le système de drainage ou infiltrée dans le sol. Lorsque les eaux de crue sont peu profondes, mais néanmoins suffisantes pour pénétrer dans les propriétés et les endommager, l'amélioration de l'acheminement et du stockage des eaux de surface aurait pour effet de réduire le risque pour ces propriétés.

La modélisation directe d'interventions aussi localisées mais ayant un tel impact dépasse la portée d'une étude à l'échelle de la ville telle que celle-ci. Cependant, pour représenter partiellement cet avantage, un multiplicateur de 1,5 a été utilisé pour les avantages offerts par ces mesures de gestion des eaux de surface. Ce bénéfice supplémentaire est estimé pour chaque UIBV sur la base de la proportion de tous les risques à la source qui sont attribuables au risque pluvial.

4.1.6 Dommages conditionnels au risque : ajustement pour inclure les dommages indirects

L'analyse des risques d'inondation se concentre sur les dommages directs causés aux biens (résidentiels et commerciaux). Dans la plupart des cas, les interventions qui réduisent les dommages directs peuvent également éviter les dommages indirects (tels que ceux associés à la perte de production, à la perturbation du trafic, au coût des services d'urgence, à la réparation des routes, etc.) Une évaluation détaillée des dommages indirects causés par les inondations n'est pas simple. Dans le contexte d'une analyse au niveau stratégique, cette "lacune" est normalement comblée par un multiplicateur appliqué aux dommages directs. Un multiple de 1,7 est utilisé ici. Ceci est basé sur un examen détaillé d'une étude britannique de 2013/2014 et discuté par la suite dans le contexte d'une étude du GBM en Éthiopie.¹⁸

4.1.7 Changements futurs : Scénarios de développement et de climat

L'avenir est imprévisible. Cette incertitude épistémique se traduit par l'examen de deux scénarios futurs (tels qu'ils sont présentés dans les rapports sur les dangers et les risques) :

- Climat et croissance démographique faibles
- Climat et croissance démographique élevés.

Les performances des stratégies alternatives sont examinées dans le contexte des deux futurs pour aider à identifier le choix le plus robuste.

4.1.8 Estimation des coûts et taux unitaires

L'approche du calcul des coûts reflète le contexte stratégique de l'étude. Des données ont été recueillies sur les coûts "réels" de projets nationaux et de projets africains analogues, ainsi que des données supplémentaires provenant d'études et d'analyses internationales (annexe B). Ces données ont été utilisées pour établir une série de taux unitaires de dépenses d'investissement (CapEX) et de dépenses opérationnelles (OpEx) pour chaque mesure individuelle (Tableau 4-1). Cette approche évite d'avoir à fournir des données techniques détaillées sur les conditions du sol, les sources de matériaux, etc. (qui seront nécessairement requises dans le

18 <https://www.gov.uk/flood-and-coastal-erosion-risk-management-research-reports/the-costs-and-impacts-of-the-winter-2013-to-2014-floods>

cadre des études de suivi et des étapes de conception), tout en offrant une approche crédible et appropriée.

Les dépenses totales (TotEx) pour chaque mesure (chapitre 5) et, par agrégation, pour chaque stratégie alternative (chapitre 6) sont ensuite estimées sur la base des hypothèses suivantes :

- **Coût du capital** - la mise en œuvre d'une mesure est supposée commencer immédiatement (année 0) et durer environ 5 ans (en fonction de la mesure), les coûts du capital étant répartis de manière égale sur ces années, en général les années 0 à 4.
- **Coût opérationnel** - le coût annuel permanent commence à l'achèvement des travaux d'investissement et se poursuit jusqu'à l'année 28 (années 2050). Les coûts encourus après cette date sont ignorés. En général, l'OpEx est considéré comme ~5-10% du coût CapEx (voir Tableau 4-1).
- **Coûts de démantèlement et d'enlèvement** : aucune provision n'est constituée à cet effet.
- **Coûts d'investissement prévus pour l'adaptation** : les coûts d'investissement futurs, par exemple associés à l'élévation du niveau de crête d'une digue en 2030, ou à une autre modification de l'investissement pour tenir compte du changement climatique ou socio-économique, ne sont pas pris en compte. Il est supposé que ces coûts soient couverts par la conception de précaution ou font partie des coûts OpEx courants. Cet aspect offre une opportunité d'optimisation lors de la prochaine étape des études de faisabilité.
- **Biais d'optimisme** : il est généralement admis que les coûts d'investissement (et plus largement la durée de la construction) ont tendance à être sous-estimés et/ou les bénéfices surestimés.^{19,20} Un ajustement typique utilisé au Royaume-Uni est de 30 % et appliqué à la fois aux coûts d'investissement et aux coûts opérationnels ; il est utilisé dans le cadre d'un test de sensibilité à la robustesse du cas d'investissement dans chaque bassin versant (chapitre 6). Les coûts estimés sont donc augmentés ici d'un facteur de 1,3 pour tenir compte du biais d'optimisme.
- **Calendrier du programme** : aucune tentative n'est faite pour tenir compte d'une phase de mise en œuvre du capital plus longue ou plus courte.

19 HM Treasury (2013). Green Book supplementary guidance: optimism bias. Green Book supplementary guidance: optimism bias - GOV.UK (www.gov.uk)

20 Prater, J., Kirytopoulos, K. and Ma, T., 2017. Optimism bias within the project management context: A systematic quantitative literature review. International Journal of Managing Projects in Business.

Tableau 4-1: Taux unitaires "répercutés" par mesure de gestion des risques d'inondation

Mesure individuelle	Unité	Taux CapEX par unité (\$, 2022)	Taux d'exploitation par unité (\$, 2022)	Notes
Mesures de précaution				
Restauration des bassins versants	km2	208,414	4,585	Les dépenses d'exploitation sont supposées correspondre à un pourcentage des dépenses d'investissement. Plus un modificateur pour le changement climatique (voir multiplicateurs).
Protection du lac - Digue	km	952,280	52,375	
Protection du lac - Plage	km	1,727,250	94,999	
Gestion des rives du lac - Estran en bonne santé	km	93,106	5,121	
Digue de rivière - Majeur	km	524,746	28,861	
Digue de rivière - Mineur	km	346,457	19,055	
Digue de rivière - Réparation	km	152,581	8,392	
Transport - Chenaux (Majeur)	km		1,666	Coûts opérationnels permanents uniquement
Transport - Chenaux (Mineur)	km		748	
			52,693	Il est supposé que 50 % des cours d'eau identifiés comme susceptibles d'être bloqués sur les principaux cours d'eau sont inclus.
Transport - Ponts et ponceaux (Majeur)	No.	1,596,769		
			5,269	Un pourcentage de structures mineures reconfigurées (~30% de l'ensemble en fonction de l'ambition). Le coût de chaque ouvrage est supposé représenter ~10% du coût des ouvrages d'art principaux.
Transport - Ponts et ponceaux (Mineur)	No.	159,677		
Pluvial - Canalisations et chenaux canalisés	km2	248,834	13,686	

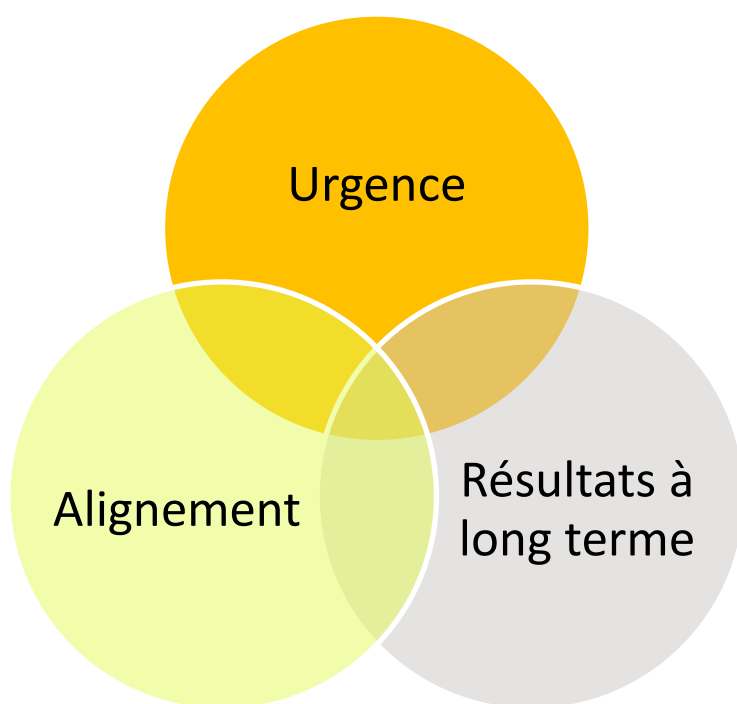
Mesure individuelle	Unité	Taux CapEX par unité (\$, 2022)	Taux d'exploitation par unité (\$, 2022)	Notes
Pluvial - Ralentissement du débit (surface perméable)	km2	247,181	13,595	
Pluvial - Ralentissement du débit (bassins de rétention et rigoles locales)	m3	15	1	
Pluvial - Ralentissement du débit (rigoles d'interception)	km	91,875	5,053	
Mesures sur l'exposition et de la vulnérabilité				
Exposition - Contrôle des nouveaux développements	AOI	1,040,000	52,000	Affecté à l'AOI (voir éléments extraordinaires)
Exposition - Soutien à la relocalisation et/ou à l'augmentation	No.	11,102	56	Fonctionnement limité pour la location et nul pour les propriétés relocalisées
Vulnérabilité - Résilience des biens (rénovation - résidentiel)	No.	2,713	30	
Vulnérabilité - Résilience des biens (rénovation - non résidentiel)	No.	4,357	49	
Vulnérabilité - Infrastructures critiques (résilience)	No.	14,230	160	
Infrastructure critique - Eau potable (station de pompage et distribution)	AOI	114,360	1,284	Affecté à l'AOI (voir éléments extraordinaires)

4.2 Critères d'évaluation

Pour déterminer la stratégie privilégiée pour un bassin versant, trois aspects sont pris en compte (Figure 4-2) :

- **Urgence** (efficacité à court terme, traitement des risques aujourd'hui)
- **Résultats à long terme** (efficacité de l'investissement basée sur l'équilibre entre les coûts et les bénéfices tout au long de la période d'évaluation)
- **Alignement** (promotion d'investissements à faible risque et socialement justes qui s'alignent sur des plans de développement plus larges).

Les critères et les mesures utilisés pour chacun d'entre eux sont présentés ci-dessous.



Trois aspects pris en compte dans l'évaluation s'appuient sur le cadre développé avec la Banque mondiale pour un projet en Éthiopie

Figure 4-2: Critères d'évaluation

4.2.1 Urgence

L'urgence reflète la nécessité d'agir immédiatement. L'urgence repose sur la prise en compte du risque actuel et du délai nécessaire pour agir. Par exemple, la protection des infrastructures critiques contre les inondations est un exemple d'action urgente visant à réduire les risques. Renforcer les capacités de coopération transfrontalière pour mieux gérer les bassins fluviaux en amont est un exemple d'action urgente compte tenu du long délai nécessaire pour convenir d'une action et la mettre en

œuvre. La stratégie la plus urgente et la plus efficace est celle qui réduit le plus l'ampleur du risque actuel.

Trois paramètres quantifiés sont utilisés pour déterminer l'urgence de chaque stratégie alternative et pour chaque bassin versant, à savoir la réduction de :

- **Dommages annuels attendus (DAP par km²)** : représentant l'ampleur relative du risque économique (après prise en compte de la taille variable de chaque bassin versant).
- **Nombre attendu de ménages socialement vulnérables exposés aux inondations (NAPMv, %)** : représentant le nombre de ménages socialement vulnérables exposés aux inondations chaque année, en moyenne, en pourcentage du nombre total de ménages exposés dans un bassin hydrographique donné.
- **Infrastructures critiques exposées à un risque d'une année sur 100 (ICE)** : Les fonctions de service critiques (hôpitaux, écoles, distribution d'énergie) sont des éléments centraux pour limiter les impacts et faciliter le rétablissement. L'évaluation des bénéfices en termes monétaires est complexe et aucune tentative n'a été faite dans le rapport sur les risques pour évaluer directement ces pertes. Au lieu de cela, le nombre d'installations critiques exposées aux inondations est évalué et utilisé pour informer le score d'urgence.

Chaque bassin versant se voit attribuer un score normalisé pour chaque mesure. Ce score est déterminé en comparant la valeur du bassin à la valeur maximale de tous les bassins. Cela permet de s'assurer que les bassins qui présentent des risques similaires reçoivent des notes similaires. La note "**urgence**" pour chaque UIBV est une multiplication pondérée des notes des différents indicateurs. Une pondération de 1 est appliquée à la fois à l'DAP (par km²) et à l'NAPMv (%) et une pondération réduite de 0,1 est appliquée à la ICE. La faible pondération accordée aux infrastructures critiques ne signifie pas qu'elles sont peu importantes, mais reflète plutôt le potentiel d'amélioration de la résilience au cas par cas (plutôt que la nécessité d'une stratégie pour l'ensemble du bassin hydrographique).

Remarque :

Les dommages annuels prévus (et d'autres paramètres annualisés, c'est-à-dire NAPMv) sont estimés à l'aide d'une simple intégration (comme indiqué dans le rapport sur les risques) :²¹

$$DAP = \sum (P(i+1) - P_i) \times ((D(i+1) + D_i)/2)$$

Où P_i est la probabilité de dépassement annuel (PDA) de la tempête et D_i les dommages associés.

21 JBA Consulting, 2023. Baseline Flood Risk Modelling Report – Development of Actions for Flood Mitigation in Two Urban Areas of Burundi. May 2023

Cette équation permet d'obtenir une approximation des dommages annuels moyens (attendus) sous la forme de l'aire située sous la courbe de la probabilité en fonction des dommages. En annualisant les dommages de cette manière, on suppose implicitement que les dommages varient linéairement entre D_i et D_{i+1} ; une hypothèse jugée raisonnable dans le cadre du présent document.

4.2.2 Résultats à long terme

Les résultats d'investissement à long terme pour chaque alternative stratégique appliquée à chaque UIBV sont examinés à l'aide de trois indicateurs :

- **Valeur actuelle nette, VAN** : calculée comme la différence entre le flux actualisé des coûts (VA Coûts) et des bénéfices (VA Bénéfices) au cours de l'évaluation. La VAN mesure la différence absolue entre les coûts et les bénéfices.
- **Taux de rendement interne économique (TRIE)** : il représente le rendement annuel de l'investissement et est calculé en déterminant l'intérêt annuel équivalent nécessaire pour égaliser les coûts et les bénéfices sur la période d'évaluation (c'est-à-dire pour ramener la valeur actualisée nette à zéro). Le taux est trouvé par itération pour satisfaire :

$$0 = \sum_{i=1}^N \frac{P_i}{(1 + rate)^{\frac{(d_i - d_1)}{365}}}$$

où :

d_i = la $i^{\text{ème}}$, ou dernière, date.

d_1 = la $0^{\text{ème}}$ date.

P_i = la $i^{\text{ème}}$, ou dernière, valeur de la valeur nette pour une année donnée (bénéfices en cours d'année moins coûts).

- **Efficacité robuste** : Il s'agit de la valeur actualisée nette la plus faible obtenue par chaque stratégie alternative pour l'ensemble des scénarios climatiques et socio-économiques possibles.

Les paramètres directement quantifiés sont modérés sur la base d'une évaluation fondée sur le jugement de la probabilité que la réduction du risque prévue soit atteinte. Deux ajustements sont appliqués :

- **Modération basée sur le contexte de la stratégie** : La réussite des stratégies axées sur l'exposition, par exemple, dépend fortement de la capacité à contrôler le développement futur et à déplacer les propriétés loin des plaines d'inondation fonctionnelles. Ces difficultés ont, dans une certaine mesure, déjà été prises en compte dans l'analyse des risques (par le biais de l'échelle d'ambition définie).

Cependant, des inquiétudes légitimes subsistent quant à la capacité de produire les résultats escomptés au cours de la période d'évaluation. Cette probabilité réduite de réaliser les bénéfices prévus sur la période d'évaluation se traduit par un ajustement significatif (réduction) des bénéfices qui peuvent être accumulés dans la stratégie basée sur l'exposition et la vulnérabilité (EV1) (une stratégie qui repose principalement sur des mesures de planification) à 40% et 70% dans la stratégie basée sur l'exposition et la vulnérabilité (EV2) (qui combine des mesures de planification ambitieuses avec un certain investissement dans le contrôle des risques).

- **Modération basée sur le contexte du bassin versant :** La nature du défi posé par les inondations varie d'un bassin versant à l'autre (comme nous l'avons vu au chapitre 3). La capacité à mettre en œuvre une stratégie reflétera la nature de ces défis, y compris la mesure dans laquelle une stratégie peut s'appuyer sur d'autres bailleurs de fonds (ou initiatives) ou la capacité d'application des réglementations ou des processus de planification. À Ntahangwa et Kanyosha, les risques pluviaux sont importants et nécessiteront la mise en œuvre d'une intégration d'un plan global de drainage et de gestion des déchets solides pour être couronnés de succès. Il s'agit d'une tâche difficile. La réalisation des bénéfices liés aux inondations à court et moyen terme est donc considérée comme moins probable dans ces UIBV qu'ailleurs. Cela se traduit par une réduction de la VAN de 20 %. La Ruzizi, par exemple, est une rivière transnationale et la gestion du risque à Gatumba peut nécessiter des discussions transnationales si un détournement en amont (pour rétablir la Ruzizi occidentale) doit être envisagé plus avant. Le risque d'inondation à Gatumba peut être géré en l'absence d'un détournement en amont, mais ce contexte est susceptible d'avoir un impact sur la faisabilité à court terme. Cela se traduit par une réduction de la VAN de 5 %.

Pour tenir compte de l'écart potentiel dans la mise en œuvre, la réduction du risque est modérée pour chaque stratégie alternative et chaque UIBV, comme le résume le tableau suivant Tableau 4-2. Une "**VAN robuste ajustée**" est calculée en utilisant ces ajustements pour déterminer une attente raisonnable des résultats à long terme. La VAN robuste ajustée est calculée en supposant que les coûts et les bénéfices ont le même impact. La "VAN robuste ajustée" normalisée (déterminée en divisant la valeur ajustée pour une alternative stratégique donnée par le maximum atteint pour l'ensemble des stratégies) est fournie sous la forme d'un classement des préférences pour les stratégies alternatives dans chaque UIBV. Étant donné que la faisabilité est supposée avoir une incidence égale sur les coûts et les avantages, le TRIE reste inchangé. La sensibilité de la hiérarchisation à ce processus d'ajustement de haut niveau est examinée au chapitre 5, mais devrait être étudiée plus avant lors de l'élaboration des plans détaillés pour chaque UIBV.

La stratégie privilégiée pour le bassin versant est ensuite reportée dans le processus de détermination des bassins versants prioritaires au sein de la zone d'étude (classés

sur la base de la VAN robuste ajustée des stratégies privilégiées pour chaque bassin versant).

Tableau 4-2 Capacité de mise en œuvre - Modérateurs de la réduction des risques obtenue

Capacité d'exécution		
Par stratégie (probabilité de réaliser les bénéfices prévus au cours de la période d'évaluation)		
Contrôle des inondations menée (CI-1)	100%	La protection des rives du lac est probablement une option à faible regret dont les résultats sont largement indépendants des autres décisions qui peuvent être prises dans le bassin versant. La restauration du bassin versant supérieur est également susceptible de susciter peu de regrets. Les actions visant à gérer les inondations fluviales et pluviales urbaines sont plus susceptibles de s'appuyer sur des actions connexes au-delà de la gestion des inondations (y compris les stratégies de gestion des déchets solides) et sur les décisions de planification.
Contrôle des inondations menée (CI-2)	100%	
Équilibré (Équilibré 1)	100%	Mesures d'exposition moins ambitieuses, le % reflète donc CI-2
Équilibré (Équilibré 2)	85%	Présente des éléments des difficultés associées à CI-2 et EV-2 - moyenne atteinte
Exposition et vulnérabilité menée (EV-1)	40%	Atteindre la réduction des risques suggérée par les stratégies menées sur l'exposition peut être difficile à réaliser dans la pratique. Elles s'appuient fortement sur l'aménagement du territoire pour contrôler le développement futur, mais aussi pour pouvoir accepter la relocalisation des propriétés en dehors des zones inondables fonctionnelles (et empêcher un retour ultérieur).
Exposition et vulnérabilité menée (EV-2)	70%	La modernisation des mesures de résilience est également un moyen de contribuer à la réduction globale. Cela aussi peut être particulièrement difficile à réaliser dans les quartiers les plus pauvres où les logements sont les plus vulnérables.
Par bassin versant (probabilité de rencontrer des problèmes d'exécution dans un bassin donné qui empêchent la mise en œuvre telle qu'elle est proposée, % de risque de réduction non réalisé).		
Ruzizi	5%	Le risque d'inondation est largement autonome et donc réalisable. Les questions transfrontalières et le détournement potentiel de la Ruzizi en amont ajoutent des difficultés.
Mutimbuzi	0%	
Ntakangwa	20%	Cadre urbain existant complexe et débris anthropogéniques importants - ces deux éléments devront être gérés si l'on veut réussir à réduire les risques d'inondation.
Muha	0%	
Kanyosha/Kizingwe	20%	Cadre urbain existant complexe et débris anthropogéniques importants - ces deux éléments devront être gérés si l'on veut réussir à réduire les risques d'inondation.
Mugere	0%	

4.2.3 Alignement

L'alignement et la capacité reflètent la mesure dans laquelle la stratégie de lutte contre les inondations aide le Burundi à réaliser ses ambitions en matière de développement et aide le GBM à fournir des investissements qui gèrent les risques d'une manière favorable aux pauvres et qui protègent (et améliorent) la biodiversité.

Pour ce faire, une attention qualitative est accordée à trois aspects :

- **Économique - Contribution aux objectifs de développement économique :**
Le commerce, l'écotourisme et l'expansion du port ont tous été soulignés comme

des secteurs de croissance importants pour soutenir l'objectif du Burundi de devenir une nation développée d'ici 2050. Un score pour chaque bassin versant est déterminé en utilisant un simple classement du nombre projeté de nouvelles propriétés résidentielles d'ici 2050 dans le cadre du scénario de croissance élevée. Lorsque des informations supplémentaires sont connues, elles sont enregistrées et le classement est modifié en conséquence.

- **Social - Contribution à l'équité sociale et à la résilience** : Il s'agit de la capacité du projet à améliorer les résultats pour les personnes en situation de pauvreté, les femmes, les populations autochtones et les pratiques culturelles. Un score d'"**équité sociale**" est déterminé pour chaque stratégie alternative au sein de chaque UIBV en utilisant un simple classement des **ménages socialement vulnérables exposés** (NAPMv). NAPMv représente le nombre de personnes les plus vulnérables socialement exposées aux inondations chaque année en moyenne: il est calculé de la même manière que l'EAP, mais reflète les personnes vivant dans des types de propriété considérés comme socialement vulnérables (voir ci-dessous). Figure 3-6).
- **Environnement - Avantages pour les services et la santé des écosystèmes naturels** : Il s'agit d'évaluer les avantages multiples qui pourraient résulter de la mise en œuvre de la stratégie privilégiée dans une unité de gestion intégrée donnée. Pour ce faire, les objectifs liés à la **santé des rivières et des lacs** (y compris, par exemple, l'amélioration de la qualité de l'eau, les débits en saison sèche), la connectivité entre les habitats, le rétablissement de plaines d'inondation fonctionnelles, la réduction potentielle de la perte de sédiments du bassin versant supérieur, ou l'envasement en aval du canal, etc. sont pris en considération sur la base d'un jugement.

Chaque stratégie alternative est examinée dans le contexte de ces questions et une tentative est faite pour mettre en évidence toute stratégie considérée comme ayant un désavantage ou un avantage particulier dans la promotion de ces objectifs plus larges (signalée par exception).

5 Sélection des stratégies privilégiées

5.1 Urgence

L'évaluation des paramètres "urgence" pour chaque UIBV est présentée dans le tableau suivant Tableau 5-1. Les scores d'urgence résumés montrent que les bassins versants de Ntakangwa, Mutimbuzi et Ruzizi sont les zones prioritaires. Ceci reflète la densité du risque dans le bassin versant de Ntakangwa (significativement plus élevé que tous les autres bassins versants) et la proportion significative de ménages socialement vulnérables exposés aux inondations dans les bassins versants de Mutimbuzi et de Ruzizi.

La densité des risques est plus élevée à Muha et Kanyosha qu'à Ruzizi et Mutimbuzi, mais le pourcentage des ménages les plus vulnérables socialement est beaucoup plus faible.

Les trois sources d'inondation sont importantes dans toutes les UIBV, bien qu'à Ntakangwa et Kanyosha, le risque d'inondation pluviale soit presque deux fois plus élevé que le risque d'inondation lacustre ou fluviale.

Tableau 5-1: Paramètres d'urgence par UIBV

Risques actuels (2022)	Ruzizi	Mutimbuzi	Ntakangwa	Muha	Kanyosha/Kizingwe	Mugere
Dommages annuels prévus (Direct, DAP, \$) - Information seulement (non utilisée dans le score)						
Lac	4,825,120	359,513	11,313,620	946,138	2,267,630	284,801
Fluvial	4,077,794	433,720	12,528,819	981,356	2,381,075	311,466
Pluvial	3,163,367	649,383	22,197,042	1,575,406	3,972,756	512,157
Densité du risque (Direct, DAP, \$ par km2)						
Toutes sources	70,146	13,622	329,988	109,263	111,768	30,605
Ménages exposés aux inondations et qui sont socialement vulnérables (%)						
Toutes sources	28%	38%	3%	3%	5%	8%
Infrastructure critique exposée à un risque d'une année sur 100 (ICE)						
Toutes sources	1	2	20	6	17	0
Classement de l'urgence						
	3	2	1	5	4	6

5.2 Résultats à long terme

L'évaluation des résultats à long terme, présentée ci-dessous pour chaque UIBV, tient compte de la "valeur actuelle nette ajustée". Les résultats à long terme de la stratégie

privilegiée (sur la base de cette mesure) sont ensuite comparés et pris en compte dans l'établissement des priorités globales.

L'analyse des résultats à long terme est nécessairement basée sur les résultats de l'analyse des dangers et des risques. La stratégie à long terme est ensuite interprétée plus en détail à l'aide des résultats des visites dans le pays (en décembre 2022 et mai 2023), et la stratégie générale préférée pour chaque bassin hydrographique est présentée.

5.2.1 Ruzizi

Pour gérer avec succès les risques d'inondation dans l'UIBV de la Ruzizi, une combinaison de mesures de contrôle des risques et de planification est nécessaire. Même lorsque les résultats associés aux contrôles de planification et à la relocalisation sont ajustés, ils restent d'importants contributeurs aux côtés des améliorations de l'infrastructure physique pour protéger contre les inondations lacustres, fluviales et pluviales. Par conséquent, la stratégie "Exposition et vulnérabilité 2" fournit la valeur actualisée nette la plus élevée. Cette stratégie comprend une approche modérément ambitieuse de la gestion des risques d'inondation et une approche plus ambitieuse de la réduction de l'exposition et de la vulnérabilité actuelles et futures. Le TRIE (non ajusté) de cette stratégie se situe entre 7 et 8 % en fonction du scénario futur. Il est peu probable que les stratégies qui se concentrent uniquement sur les mesures de protection contre les risques offrent un retour sur investissement positif, car les risques futurs sont susceptibles d'augmenter en l'absence des contrôles nécessaires sur le développement. Les stratégies qui se concentrent exclusivement sur les mesures non structurelles offrent une opportunité significative (EV1 rapportant 30-39%) mais lorsqu'elles sont ajustées à la faisabilité, la VAN est moindre.

Tableau 5-2 Résultats à long terme : Ruzizi

Ruzizi	Capacité ajustée VAN (\$)		TRIE (%)		Robuste VAN ajustée à la capacité (\$)	Rang
Résumé	FaibleCP	ÉlevéCP	FaibleCP	ÉlevéCP		
Principal contrôle des inondations 1	-6,183,345	-75,352	-1%	0%	-6,183,345	4
Principal contrôle des inondations 2	-7,914,737	-6,765,418	-2%	-2%	-7,914,737	5
Équilibré 1	-9,765,920	-223,074	-2%	0%	-9,765,920	6
Équilibré 2	20,862,585	33,499,268	4%	5%	20,862,585	2
Principal E&V 1	14,413,980	20,323,462	30%	39%	14,413,980	3
Principal E&V 2	21,064,889	29,429,344	7%	8%	21,064,889	1

Note : Les valeurs de la VAN ont été ajustées pour tenir compte de la probabilité de réalisation à court ou moyen terme.

L'ajustement est appliqué aux coûts et aux bénéfices de manière égale. Le taux de rendement interne économique (TRIE) n'est pas affecté par cet ajustement

5.2.2 Mutimbuzi

Pour gérer avec succès le risque d'inondation dans l'UIBV de Mutimbuzi, il est nécessaire de mettre en place des mesures de planification et de résilience des biens solides afin de contrôler le développement futur. Même lorsque les résultats associés aux contrôles de planification et à la relocalisation sont ajustés, ils restent des contributeurs importants. Par conséquent, la stratégie "EV1" fournit la VAN ajustée la plus élevée (Tableau 5-3). Le TRIE de cette stratégie se situe entre 18 et 31 % en fonction du scénario futur. Cette stratégie comprend un investissement "de base" dans l'infrastructure physique (pour maintenir mais non améliorer l'infrastructure existante) associé à une approche plus ambitieuse de la gestion de l'exposition et de la vulnérabilité. Les stratégies qui se concentrent uniquement sur les mesures d'atténuation des risques ont peu de chances de fournir un retour sur investissement positif, et les risques futurs sont susceptibles d'augmenter sans les contrôles nécessaires sur le développement. Une stratégie qui associe des investissements supplémentaires dans les infrastructures physiques (ambition modérée) à la gestion de l'exposition et de la vulnérabilité (EV2) a le potentiel de fournir une VAN similaire (mais légèrement inférieure).

Tableau 5-3 Résultats à long terme : Mutimbuzi

Mutimbuzi	Capacité ajustée VAN (\$)		TRIE (%)		Robuste VAN ajustée à la capacité (\$)	Rang
	FaibleCP	ÉlevéCP	FaibleCP	ÉlevéCP		
Résumé						
Principal contrôle des inondations 1	-34,513,033	-35,491,794			-35,491,794	5
Principal contrôle des inondations 2	-24,658,885	-46,397,845			-46,397,845	6
Équilibré 1	13,259,741	34,403,993	3%	6%	13,259,741	3
Équilibré 2	5,816,630	34,323,100	1%	5%	5,816,630	4
E&V menée 1	18,632,328	37,220,555	17%	30%	18,632,328	1
E&V menée 2	17,363,371	38,743,605	5%	9%	17,363,371	2

Note : Les valeurs de la VAN ont été ajustées pour tenir compte de la probabilité de réalisation à court ou moyen terme.

L'ajustement est appliqué aux coûts et aux bénéfices de manière égale. Le taux de rendement interne économique (TRIE) n'est pas affecté par cet ajustement

5.2.3 Ntakangwa

Les meilleurs résultats à long terme au sein de l'UIBV Ntakangwa sont générés par des investissements dans une approche plus ambitieuse de la réduction des risques d'inondation et de la gestion de l'exposition et de la vulnérabilité. Les investissements dans les infrastructures physiques visant à améliorer les infrastructures de contrôle des inondations existantes et à en développer de nouvelles comprennent la protection des rives des lacs, les digues en retrait des sections en aval des principaux cours d'eau et la réduction du risque d'inondation pluviale (grâce à une combinaison de mesures de restauration et de drainage). Toutes ces mesures contribuent grandement à réduire les risques d'inondation, tout en améliorant les mesures de résilience au niveau des propriétés, en contrôlant mieux les choix de planification futurs et, le cas échéant, en relocalisant les propriétés les plus menacées.

Par conséquent, la stratégie "Équilibre 2" fournit la VAN ajustée la plus élevée (Tableau 5-4). Cette stratégie comprend une approche plus ambitieuse des améliorations de l'infrastructure physique pour le risque d'inondation, associée à une approche plus ambitieuse de la gestion de l'exposition et de la vulnérabilité. Le TRIE obtenu à Ntahangwa est élevé (~17-19% selon les scénarios futurs). Les stratégies qui se concentrent uniquement sur les mesures de danger fournissent un retour sur investissement beaucoup plus faible et les risques sont susceptibles d'augmenter sans les contrôles nécessaires sur le développement. Les stratégies axées sur l'exposition et la vulnérabilité ont le potentiel de fournir un retour sur investissement élevé, mais la VAN associée est beaucoup plus faible que celle obtenue grâce à un portefeuille équilibré de mesures.

Tableau 5-4 Résultats à long terme : Ntahangwa

Ntahangwa	Capacité ajustée VAN (\$)		TRIE (%)		Robuste VAN ajustée à la capacité (\$)	Rang
	FaibleCP	ÉlevéCP	FaibleCP	ÉlevéCP		
Résumé						
Principal contrôle des inondations 1	61,175,189	74,106,681	10%	12%	61,175,189	4
Principal contrôle des inondations 2	42,905,702	12,929,627	8%	3%	12,929,627	6
Équilibré 1	65,889,194	98,197,737	5%	7%	65,889,194	3
Équilibré 2	164,769,814	218,200,858	17%	18%	164,769,814	1
E&V menée 1	49,016,275	69,225,364	65%	91%	49,016,275	5
E&V menée 2	128,271,283	161,786,039	21%	21%	128,271,283	2

Note : Les valeurs de la VAN ont été ajustées pour tenir compte de la probabilité de réalisation à court ou moyen terme.

L'ajustement est appliqué aux coûts et aux bénéfices de manière égale. Le taux de rendement interne économique (TRIE) n'est pas affecté par cet ajustement

5.2.4 Muha

L'UIBV de Muha présente des risques actuels importants, qui devraient augmenter sans investissement dans la résilience aux inondations (avec plus de 30 000 nouvelles propriétés résidentielles prévues d'ici les années 2050). La gestion des risques d'inondation, de l'exposition et de la vulnérabilité sera importante. Par conséquent, la stratégie "équilibré 2" fournit la VAN ajustée la plus élevée (

Tableau 5-5). Cette stratégie comprend une approche plus ambitieuse de tous les aspects du portefeuille de gestion des inondations. Avec un TRIE de 8 à 11 % (selon le scénario futur), l'approche combinée donne un rendement beaucoup plus élevé que les stratégies qui se concentrent uniquement sur les mesures d'aléa. Les stratégies axées sur l'exposition et la vulnérabilité ont le potentiel de fournir un retour sur investissement similaire (avec un TRI allant jusqu'à ~10%), mais lorsqu'elles sont ajustées en fonction de la faisabilité, elles sont associées à une VAN significativement plus faible. Cela reflète la persistance d'un niveau plus élevé de risque résiduel si aucune action n'est entreprise pour réduire le risque d'inondation parallèlement à des mesures non structurelles.

Tableau 5-5 Résultats à long terme : Muha

Muha	Capacité ajustée VAN (\$)		TRIE (%)		Robuste VAN ajustée à la capacité (\$)	Rang
Résumé	FaibleCP	ÉlevéCP	FaibleCP	ÉlevéCP		
Principal contrôle des inondations 1	-6,900,025	-6,956,556	-7%	-7%	-6,956,556	5
Principal contrôle des inondations 2	-8,303,203	-8,043,585	-11%	-10%	-8,303,203	6
Équilibré 1	6,367,303	20,781,430	2%	6%	6,367,303	4
Équilibré 2	18,030,658	32,102,397	7%	10%	18,030,658	1
E&V menée 1	12,226,447	20,512,104	30%	45%	12,226,447	3
E&V menée 2	13,918,956	25,451,305	8%	11%	13,918,956	2

Note : Les valeurs de la VAN ont été ajustées pour tenir compte de la probabilité de réalisation à court ou moyen terme.

L'ajustement est appliqué aux coûts et aux bénéfices de manière égale. Le taux de rendement interne économique (TRIE) n'est pas affecté par cet ajustement

5.2.5 Kanyosha

L'UIBV de Kanyosha et Kizingwe présente des risques actuels importants (en deuxième position après Ntakangwa) et devrait s'accroître dans les années à venir (avec près de 40 000 nouvelles propriétés résidentielles prévues d'ici les années 2050). La gestion des risques d'inondation, de l'exposition et de la vulnérabilité sera importante. Par conséquent, la stratégie "équilibré 2" fournit la valeur actualisée nette la plus élevée (Tableau 5-6). Cette stratégie comprend une approche plus ambitieuse de tous les aspects du portefeuille de gestion des inondations. Avec un TRIE de 8 à 10 % (en fonction du scénario futur), l'approche combinée donne un rendement beaucoup plus élevé que les stratégies qui se concentrent uniquement sur les mesures de danger. Se concentrer uniquement sur les mesures non structurelles pour réduire l'exposition et la vulnérabilité a le potentiel de fournir des retours sur investissement significatifs (avec un TRIE allant jusqu'à ~49%, EV1). Cela reflète le grand nombre de propriétés exposées à des inondations fréquentes. Cependant, une fois corrigée en fonction de la faisabilité, la VAN probable est nettement inférieure à ce que l'on peut attendre d'une approche équilibrée. L'importance de prendre des mesures pour réduire l'exposition et la vulnérabilité dans le cadre d'un portefeuille équilibré est renforcée par la valeur actualisée nette similaire (bien que plus faible) obtenue par les stratégies "EV2" et "équilibré 2".

Tableau 5-6 Résultats à long terme : Kanyosha et Kizingwe

Kanyosha/Kizingwe	Capacité ajustée VAN (\$)		TRIE (%)		Robuste VAN ajustée à la capacité (\$)	Rang
Résumé	FaibleCP	ÉlevéCP	FaibleCP	ÉlevéCP		
Principal contrôle des inondations 1	-8,113,522	-7,699,975	-6%	-5%	-8,113,522	6
Principal contrôle des inondations 2	-1,768,343	-1,965,327	-1%	-2%	-1,965,327	5
Équilibré 1	8,958,953	20,012,900	3%	5%	8,958,953	4
Équilibré 2	20,137,761	30,657,559	6%	8%	20,137,761	1
E&V menée 1	9,635,444	13,692,232	32%	42%	9,635,444	3
E&V menée 2	19,875,477	28,017,789	11%	13%	19,875,477	2

Note : Les valeurs de la VAN ont été ajustées pour tenir compte de la probabilité de réalisation à court ou moyen terme.

L'ajustement est appliqué aux coûts et aux bénéfices de manière égale. Le taux de rendement interne économique (TRIE) n'est pas affecté par cet ajustement

5.2.6 Mugere

L'UIBV de Mugere est l'un des bassins versants les moins développés avec une densité de risque (DAP/km²) inférieure à toutes les autres UIBV, à l'exception de l'UIBV de Mutimbuzi (Tableau 5-1). Par conséquent, la stratégie "Exposition et vulnérabilité - EV1" fournit la VAN ajustée la plus élevée (Tableau 5-6). Cette stratégie reconnaît que les contrôles de planification qui maintiennent l'espace pour la rivière et le lac fournissent une opportunité centrale pour la gestion des risques dans ce bassin versant en développement. Avec un taux de rentabilité économique de 15 à 22 % (en fonction du scénario futur), cette approche offre un rendement beaucoup plus élevé que les autres stratégies. Après ajustement en fonction de la faisabilité, cette stratégie est la seule associée à une VAN positive (bien qu'elle soit nettement inférieure à celle obtenue par les stratégies privilégiées dans d'autres unités de gestion intégrée).

Tableau 5-7 Résultats à long terme : Mugere

Mugere	Capacité ajustée VAN (\$)		TRIE (%)		Robuste VAN ajustée à la capacité (\$)	Rang
Résumé	FaibleCP	ÉlevéCP	FaibleCP	ÉlevéCP		
Principal contrôle des inondations 1	-10,031,115	-10,036,729	-11%	-11%	-10,036,729	6
Principal contrôle des inondations 2	-4,803,918	-4,645,109	-9%	-8%	-4,803,918	4
Équilibré 1	-3,378,572	-1,157,328	-3%	-1%	-3,378,572	3
Équilibré 2	-5,561,063	-3,269,831	-4%	-2%	-5,561,063	5
E&V menée 1	1,936,044	3,171,750	15%	22%	1,936,044	1
E&V menée 2	-556,324	1,406,346	-1%	2%	-556,324	2

Note : Les valeurs de la VAN ont été ajustées pour tenir compte de la probabilité de réalisation à court ou moyen terme.

L'ajustement est appliqué aux coûts et aux bénéfices de manière égale. Le taux de rendement interne économique (TRIE) n'est pas affecté par cet ajustement

5.2.7 Comparaison entre les bassins versants

Tableau 5-8 résume les stratégies privilégiées sur la base des résultats à long terme. L'investissement dans l'amélioration du contrôle de la planification et des mesures non structurelles est important dans l'ensemble de la zone d'étude. Dans les UIBV de

Mutimbuzi et de Mugere, le maintien de l'infrastructure physique existante, associé à de bons choix de planification, constitue un moyen efficace de gérer les risques. Dans le Ruzizi, des investissements dans des infrastructures physiques d'ambition modérée seront nécessaires pour compléter les mesures non structurelles. Cependant, pour réussir à Ntahangwa, Muha et Kanyosha, il sera nécessaire d'investir dans des infrastructures physiques plus ambitieuses afin de réduire les risques d'inondation, en combinaison avec une planification améliorée et des mesures non structurelles.

Tableau 5-8 Résultats à long terme : Classement relatif des bassins versants

	Ruzizi	Mutimbuzi	Ntahangwa	Muha	Kanyosha/Kizingwe	Mugere
Performance à long terme						
Stratégie privilégiée	EV2	EV1	Eq-2	Eq-2	Eq-2	EV1
Objectif d'aléa	Modéré	Base de référence	Élevé	Élevé	Élevé	Base de référence
Objectif d'exposition et de vulnérabilité	Élevé	Élevé	Élevé	Élevé	Élevé	Élevé
VA CapEX (moyenne future)	57,729,492	21,089,976	237,649,374	32,474,405	57,366,320	4,280,444
Indicateurs de performance (non ajustés)						
Max VAN	45,275,914	93,051,387	335,693,627	37,767,526	47,165,475	7,929,375
Max TRIE	8%	30%	18%	10%	8%	22%
VAN robuste	32,407,522	46,580,819	253,492,021	21,212,539	30,981,170	4,840,111
Indicateurs de performance (capcity ajustée)						
Max VAN	29,429,344	37,220,555	218,200,858	32,102,397	30,657,559	3,171,750
Max TRIE	8%	30%	18%	10%	8%	22%
VAN robuste	21,064,889	18,632,328	164,769,814	18,030,658	20,137,761	1,936,044
Score	2	4	1	5	3	6

5.3 Alignement

Tableau 5-9 présente la contribution potentielle de la gestion des risques d'inondation à des objectifs économiques, sociaux et environnementaux plus larges dans chaque UIBV. La justification de la note attribuée à chaque UIBV est également résumée dans le tableau.

Tableau 5-9 Alignement - Contribution potentielle de la gestion des inondations à des objectifs économiques, sociaux et environnementaux plus larges

Considération	Rang	Notes
Alignement		
Économique - Contribution aux objectifs de développement économique		Basé sur l'ampleur du développement proposé (en utilisant un indicateur du développement résidentiel d'ici les années 2050 dans le cadre de la projection de croissance élevée, nombre de propriétés)
Ruzizi	6	8187 - nouvelles propriétés résidentielles
Mutimbuzi	2	49365 - nouvelles propriétés résidentielles
Ntakangwa	1	139466 - nouvelles propriétés résidentielles
Muha	4	31650 - nouvelles propriétés résidentielles
Kanyosha/Kizingwe	3	37913 - nouvelles propriétés résidentielles
Mugere	5	10920 - nouvelles propriétés résidentielles
Social - Contribution à l'équité sociale et à la résilience		Basé sur le nombre de ménages socialement vulnérables exposés aux inondations
Ruzizi	3	3313 - ménages vulnérables
Mutimbuzi	1	6509 - ménages vulnérables
Ntakangwa	2	4434 - ménages vulnérables
Muha	6	400 - ménages vulnérables
Kanyosha/Kizingwe	4	1905 - ménages vulnérables
Mugere	5	982 - ménages vulnérables
Environnement - Avantages pour la nature et les personnes		Basé sur la possibilité de sauvegarder ou de restaurer des caractéristiques naturelles et d'offrir des espaces d'agrément
Ruzizi	2	Sauvegarde la réserve naturelle de Ruzizi et promeut l'écotourisme
Mutimbuzi	3	Sauvegarde le traitement de l'eau, reconnaît la nécessité de traiter les terrains contaminés et, grâce à un bon aménagement du territoire, maintien l'espace pour la rivière.
Ntakangwa	1	La restauration du bassin versant en amont peut influencer les débits de crue. Amélioration de l'aménagement des plages grâce à la protection des rives du lac
Muha	4	Comme Kanyosha
Kanyosha/Kizingwe	4	L'aménagement du territoire joue un rôle central dans la prévention du développement dans les rivières fonctionnelles et les plaines inondables des rives des lacs
Mugere	4	Comme Kanyosha

5.4 Bassins versants prioritaires

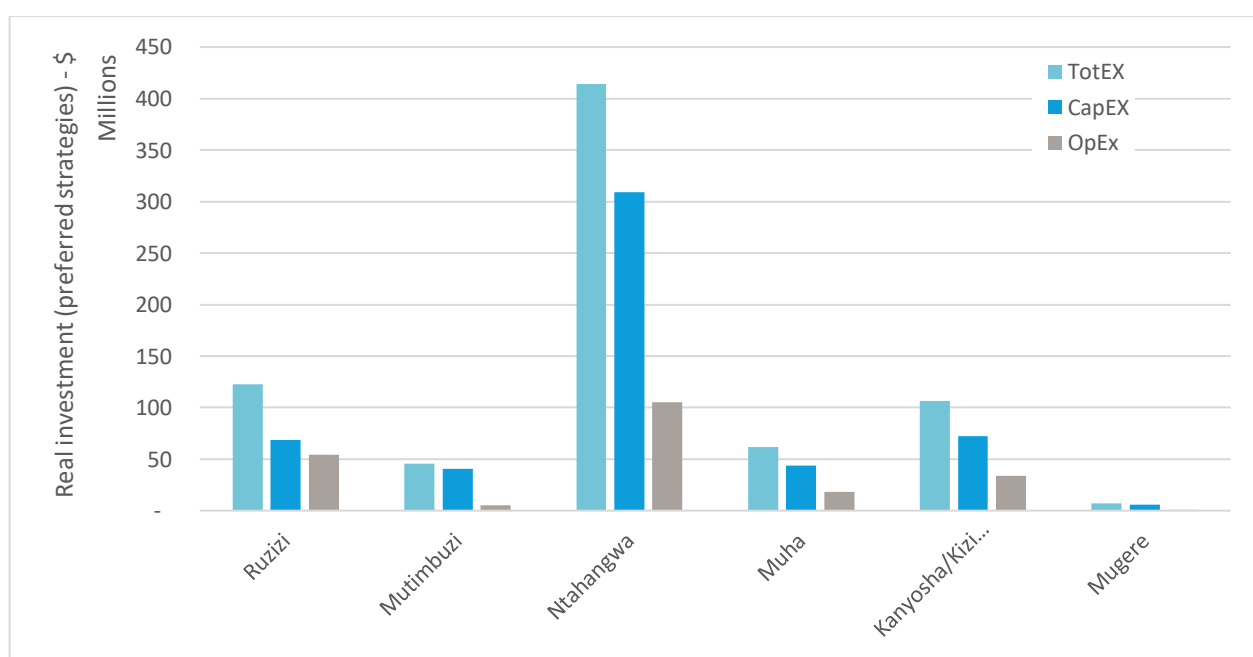
L'évaluation de l'urgence, des résultats à long terme et de l'alignement sont combinés pour identifier les bassins versants prioritaires pour l'action (Tableau 5-10). La stratégie privilégiée dans chaque UIBV mise en évidence dans le Tableau 5-10 reflète l'analyse des résultats à long terme, telle qu'elle est résumée pour chaque UIBV. L'évaluation met en évidence trois bassins versants prioritaires (par ordre de priorité) : Ntakangwa, Mutimbuzi et Ruzizi. L'action dans les autres UIBV est également importante, avec des possibilités significatives de réduire les risques actuels dans les

UIBV Muha et Kanyosha et d'éviter les risques futurs grâce à une meilleure planification dans le Mugere.

Tableau 5-10: Hiérarchisation par bassin versant : Un résumé

		Stratégie privilégiée		Urgence	Résultats à long terme	Alignement			Score global	Rang prioritaire
		Ambitions de gestion				Économique	Social	Environnement		
				Pondération des critères						
			Exposition et de vulnérabilité	1.0	1.0	0.3	0.3	0.3		
Ruzizi	EV2	Modéré	Élevé	3	2	6	3	2	8.7	3
Mutimbuzi	EV1	Base de référence	Élevé	2	4	2	1	3	8.0	2
Ntahangwa	Eq-2	Élevé	Élevé	1	1	1	2	1	3.3	1
Muha	Eq-2	Élevé	Élevé	5	5	4	6	4	14.7	5
Kanyosha/Kizingwe	Eq-2	Élevé	Élevé	4	3	3	4	4	10.7	4
Mugere	EV1	Base de référence	Élevé	6	6	5	5	4	16.7	6

L'investissement nécessaire pour mettre en œuvre les stratégies privilégiées dans la zone d'étude est estimé à 750 millions de dollars (coût d'investissement réel à l'horizon 2050), dont environ 500 millions de dollars de dépenses d'investissement et 250 millions de dollars de coûts d'exploitation. Les besoins d'investissement varient d'un point à l'autre de l'UIBV, comme l'illustre la Figure 5-1.



[À gauche: Real Investment (preferred strategies) - \$ / Investissements réels (stratégies privilégiées) - \$]

L'investissement réel correspond aux dépenses non actualisées sur l'ensemble de la période d'évaluation

Figure 5-1: L'investissement réel de la stratégie privilégiée varie selon les bassins versants

5.4.1 Influence de la pondération et des hypothèses

La pondération supposée des différents critères utilisés pour hiérarchiser les investissements influe sur la stratégie privilégiée au sein de chaque UIBV.

L'hypothèse la plus importante concerne la faisabilité des stratégies alternatives, en particulier la modération des résultats associés aux stratégies axées sur l'exposition et la vulnérabilité. Une part importante des risques actuels et futurs pourrait être réduite grâce à une combinaison de mesures de relocalisation des propriétés les plus exposées, de mesures de résilience au niveau des propriétés et de contrôle du développement futur. Si l'on y parvient (avec le plein consentement et la participation des personnes concernées), les stratégies axées sur l'exposition et la vulnérabilité, avec peu d'investissements supplémentaires dans l'infrastructure physique, s'imposeraient comme la stratégie privilégiée dans la zone d'étude. L'inclusion d'une pondération pour refléter la difficulté de mettre en œuvre avec succès une telle stratégie (voir plus haut). Tableau 4-2) favorise l'adoption d'une approche plus équilibrée, basée sur un portefeuille. Les mesures d'exposition et de vulnérabilité restent importantes (toutes les stratégies privilégiées prévoient des mesures d'exposition et de vulnérabilité), mais elles sont associées à des investissements dans les infrastructures physiques.

6 Actions de la prochaine étape

Les prochaines étapes présentées ci-dessous sont conçues pour soutenir les progrès vers la résilience aux inondations tout en tenant compte du contexte plus large des financements disponibles et des ressources. L'objectif des prochaines étapes est de fournir des investissements à fort impact pour la gestion des risques d'inondation, tout en renforçant les systèmes et les capacités du gouvernement central et de la ville ; combinant ainsi le soutien au développement urbain et la fourniture de services résilients, tout en minimisant les nouveaux risques à mesure que les villes de Bujumbura et de Gatumba continuent de se développer. Les activités sélectionnées pour la prochaine étape reflètent les priorités identifiées pour réduire les risques d'inondation aujourd'hui et à long terme, tout en soutenant les objectifs plus larges de développement social, économique et environnemental.

6.1 Thème 1 - Planification : Développer des stratégies de captage détaillées et des conceptions pour des actions à faible regret

Sur la base de l'évaluation et des visites dans les pays, des stratégies de haut niveau ont été élaborées pour chaque UIBV, comme indiqué ci-dessous. Un processus de planification détaillé est maintenant nécessaire pour élaborer un plan stratégique réalisable et adaptable de manière appropriée pour chaque UIBV. Cela comprend les études de pré-faisabilité (et les coûts), ainsi que les études de faisabilité pour les activités à faibles regrets associées (comme indiqué dans le thème 2).

6.1.1 Priorité de planification n° 1-1 - Ntakangwa

Le risque d'inondation est plus important à Ntakangwa (en termes absolus de densité) que dans toute autre zone. Le risque d'inondation est généré par toutes les sources d'inondation (lac, sources fluviales et pluviales). Le risque d'inondation pluviale est cependant la principale source de risque. La majeure partie de la zone est densément peuplée, avec un espace limité pour l'eau, et un développement important dans les plaines d'inondation fonctionnelles. La région est également une zone économique en plein développement, avec un nombre croissant de zones commerciales et de marchés, ainsi que de logements.

La stratégie privilégiée identifiée par l'évaluation comprend des investissements dans un portefeuille complet de mesures (à la fois structurelles et non structurelles). Il s'agit notamment d'investir dans une série de mesures d'infrastructure physique (Figure 6-1). Sur la base des enseignements tirés de l'évaluation et des visites dans le pays, une stratégie générale visant à engager des discussions plus approfondies avec le gouvernement et un processus participatif plus large est présentée dans le tableau suivant Figure 6-2.

La restauration du bassin versant supérieur est un aspect important de la stratégie (promue en tant qu'investissement à faible regret, voir ci-dessous le thème n° 2). L'amélioration de la gestion des surfaces urbaines, le drainage conventionnel et la création de bassins de rétention urbains pour ralentir l'écoulement sont autant d'éléments importants.

L'amélioration du niveau de protection contre les inondations des lacs est un aspect clé de la réduction du risque d'inondation dans ce bassin versant. L'amélioration de la protection du lac est un moyen de réduire le risque d'inondation et de fournir des résultats multiples pour l'agrément et l'environnement, ce qui indique une opportunité à faible regret (comme discuté dans le thème 2).

Les digues qui retiennent les réservoirs de traitement des eaux usées sont en mauvais état (cet aspect important sera confirmé par des évaluations plus détaillées). Le renforcement de ces digues contribuera grandement à éviter le déversement contrôlé d'eau contaminée et l'inondation de la communauté locale. Pour réussir, cette action devra être associée à des améliorations locales de la gestion des cours d'eau adjacents (y compris le remplacement des digues ad hoc et la garantie d'un écoulement sans entrave à travers le pont qui relie le complexe de traitement et les digues de retenue).

L'intégration de la gestion des inondations et l'amélioration de la gestion des déchets solides seront des éléments importants dans ce bassin versant (comme dans une grande partie de la zone d'étude). Les culées de pont et les ponceaux retiennent facilement la végétation et les débris anthropiques. La reconfiguration des ponts et la réduction de la mobilisation des débris depuis les berges du canal seront des éléments essentiels de la résilience aux inondations.

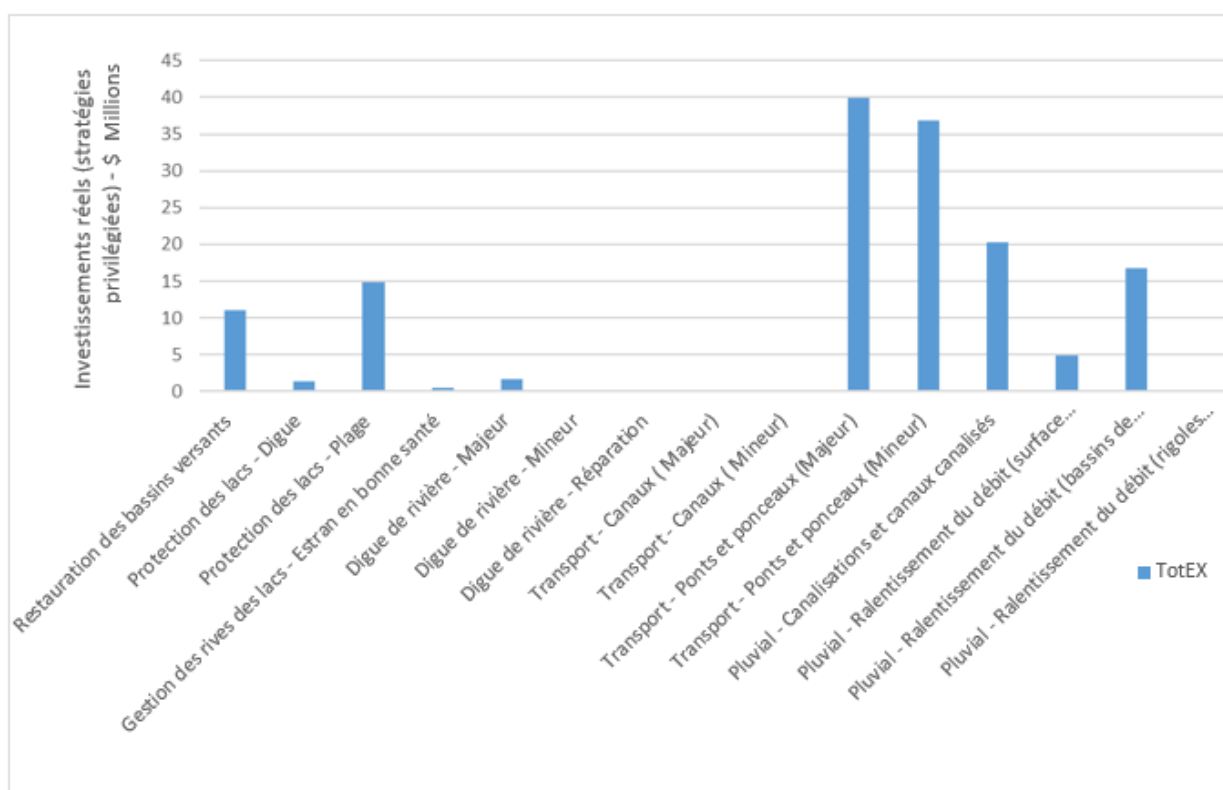


Figure 6-1: Ntahangwa - Ventilation indicative des investissements en infrastructures

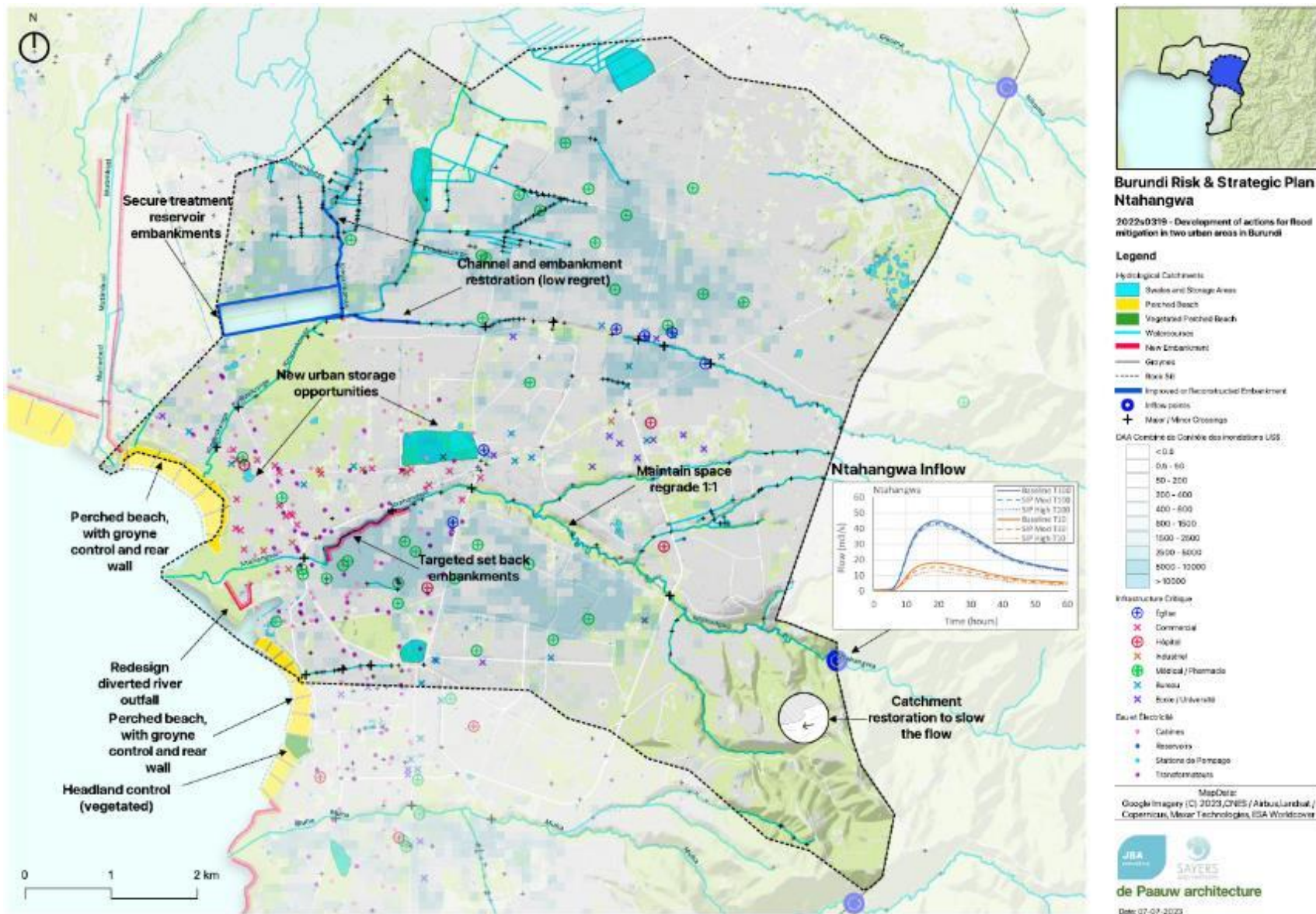


Figure 6-2: Schéma stratégique de Ntangani

6.1.2 Priorité de planification n° 1-2 - Ruzizi et Mutimbuzi

Pour la prochaine étape de la planification stratégique, il est recommandé de développer une stratégie combinée pour les UIBV de Ruzizi et Mutimbuzi. Ceci reflète le partage de la zone des rives du lac et la connexion de l'UIBV de Mutimbuzi aux plaines inondables des rivières Ruzizi et Mpanda. Les idées concernant les stratégies de haut niveau pour ces zones sont discutées ci-dessous.

6.1.2.1 Mutimbuzi

Mutimbuzi a une proportion plus élevée de ménages socialement vulnérables exposés aux inondations que n'importe quel autre UIBV. Le risque d'inondation (en termes de dommages annuels attendus) est cependant beaucoup plus faible qu'ailleurs.

La stratégie privilégiée identifiée par l'évaluation se concentre sur des mesures non structurelles d'exposition et de vulnérabilité, ainsi que sur des investissements visant à maintenir les digues existantes et à améliorer la protection contre les inondations à partir du lac. Cela inclut des investissements dans une série de mesures d'infrastructure physique (Figure 6-3). L'amélioration de la digue existante le long du Mutimbuzi et la protection contre les inondations du lac sont des caractéristiques de la stratégie préférée. La capacité à réduire les pics d'inondation sur la rivière Mubazi à la limite de la UIBV par la restauration du bassin versant en amont semble limitée (reflétée par la nature relativement développée d'une grande partie des bassins versants). Éviter une augmentation des pics de crue nécessitera des efforts de conservation.

Au sein du UIBV, la restauration des terres dégradées, en particulier celles qui apparaissent comme des zones de remblais informels, est importante et permettra l'intégration nécessaire des déchets solides et des stratégies de gestion des inondations. Il sera important de continuer à contrôler la production de ruissellement dans le bassin versant (par le biais d'un drainage conventionnel et d'approches naturelles pour ralentir le flux), ainsi que d'utiliser des cartes détaillées des risques d'inondation (telles que celles développées ici) pour contrôler l'emplacement des nouveaux développements et la forme de ces développements.

Une vue d'ensemble de l'ébauche de stratégie visant à lancer une discussion plus approfondie est présentée dans le tableau suivant Figure 6-4.

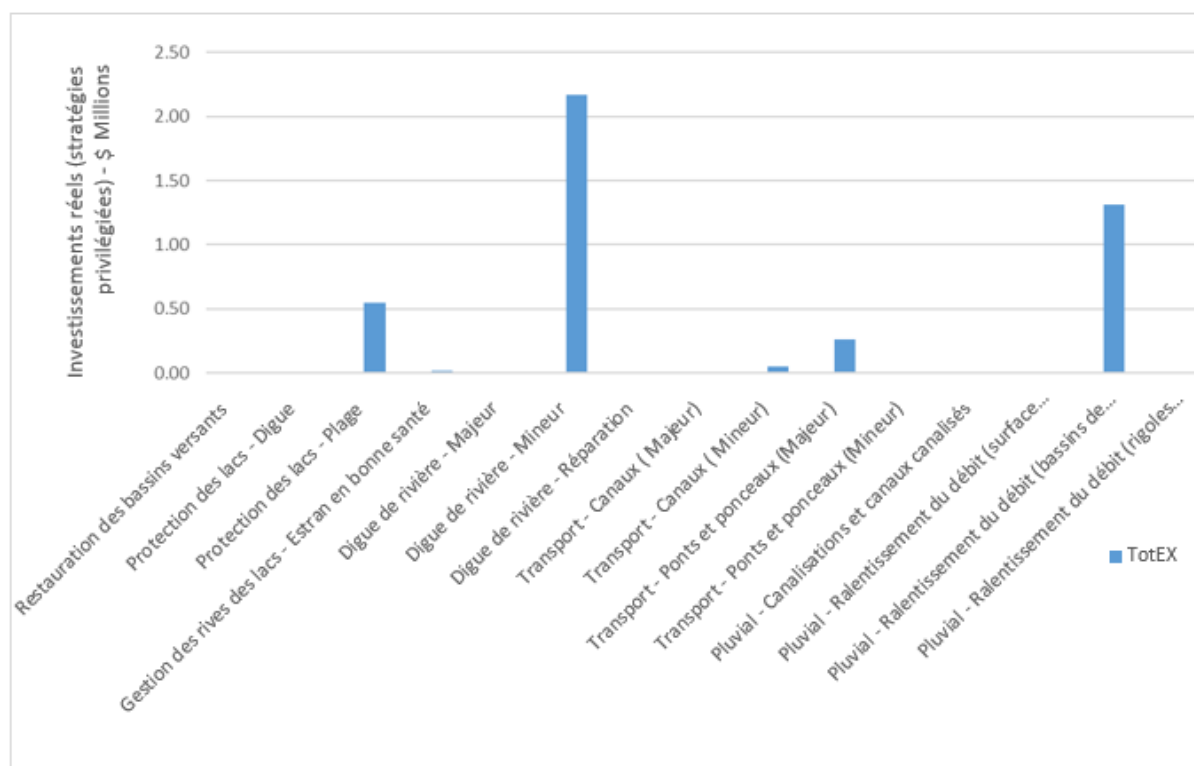


Figure 6-3: Mutimbuzi - Désagrégation indicative des investissements en infrastructures

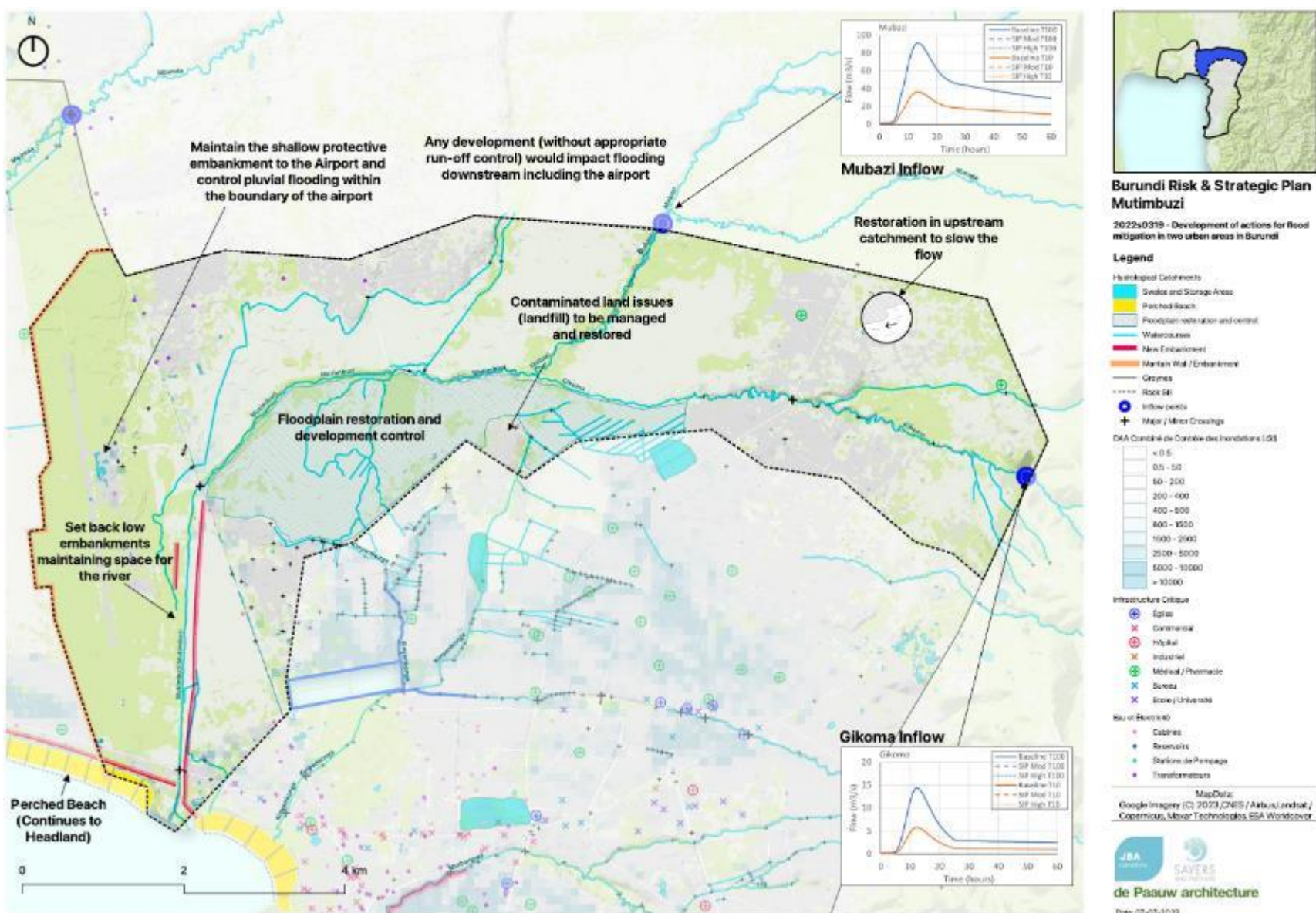


Figure 6-4: Schéma de la stratégie de Mutimbuzi

6.1.2.2 Ruzizi (Gatumba)

Gatumba est l'une des zones les plus vulnérables socialement au Burundi et subit les inondations du lac, de la rivière Ruzizi et des pluies locales. La stratégie privilégiée identifiée par l'évaluation comprend des investissements dans une combinaison de mesures (Figure 6-5). Sur la base des résultats de l'évaluation et des visites dans le pays, une stratégie générale a été élaborée afin d'entamer des discussions avec le gouvernement du Burundi et un processus participatif plus large avec les personnes vivant dans la région et celles qui y sont liées (en particulier les femmes et les groupes ayant des droits fonciers existants). Les grandes lignes de la stratégie sont présentées dans la Figure 6-6.

La stratégie cherche nécessairement à faire face aux inondations fréquentes du lac, des rivières Ruzizi et Mpanda et de leurs affluents locaux, ainsi qu'aux inondations pluviales, en combinant des digues de protection contre les inondations et un meilleur drainage (y compris lorsque les niveaux d'eau de la Ruzizi sont élevés). Le tracé des nouvelles digues reflète la nécessité de fournir de l'espace pour le développement futur et de maintenir l'espace pour la rivière et le fonctionnement naturel du delta de la Ruzizi qui sous-tend la santé de la réserve naturelle de la Ruzizi.

Un développement futur bien contrôlé par le biais d'un plan de zonage convenu et appliqué sera important ici. Cela inclut la prise en compte de la relocalisation potentielle de certaines des propriétés les plus exposées aux inondations fréquentes (en particulier celles qui sont exposées aux inondations fréquentes du lac au sud de la route du bord du lac). Il sera également important de mettre en place des mesures de résilience au niveau des propriétés qui sont susceptibles de rester en dehors de la zone inondable fonctionnelle de la Ruzizi (en dehors de la protection des digues proposées).

La capacité à réduire les pics d'inondation par la restauration du grand bassin versant en amont des rivières Ruzizi et Mpanda semble limitée. Cela reflète l'état relativement bon (et la nature non développée) d'une grande partie du bassin versant en amont. La conservation du bassin versant sera cependant un objectif important pour éviter une augmentation des pics d'inondation.

Au cours de la visite dans le pays en mai 2023, l'opportunité de détourner une plus grande proportion des hauts débits à travers la Petite Ruzizi orientale pour atténuer les débits de crue à Gatumba a été discutée. Bien qu'une telle approche puisse contribuer (à réduire le risque d'inondation à Gatumba et potentiellement à revigorer la santé de la Ruzizi orientale), des engagements transfrontaliers seront nécessaires si une telle option doit être explorée plus avant.

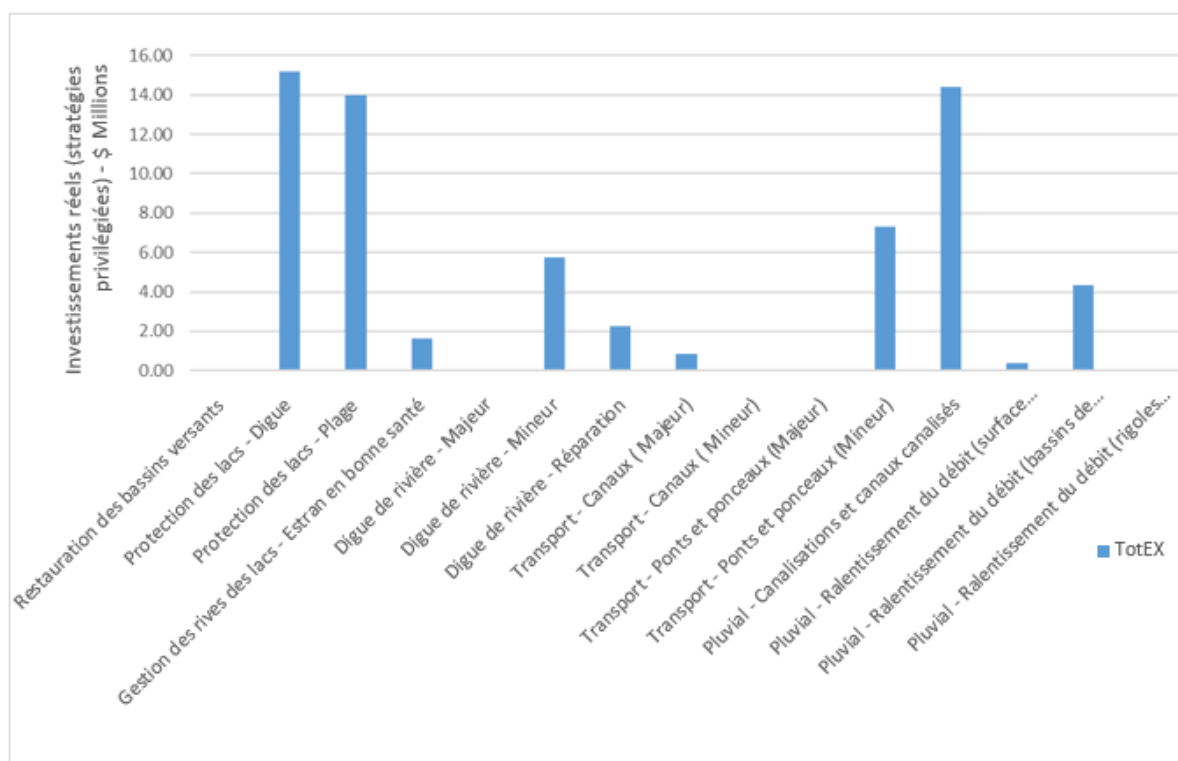


Figure 6-5: Ruzizi - Désagrégation indicative des investissements en infrastructures

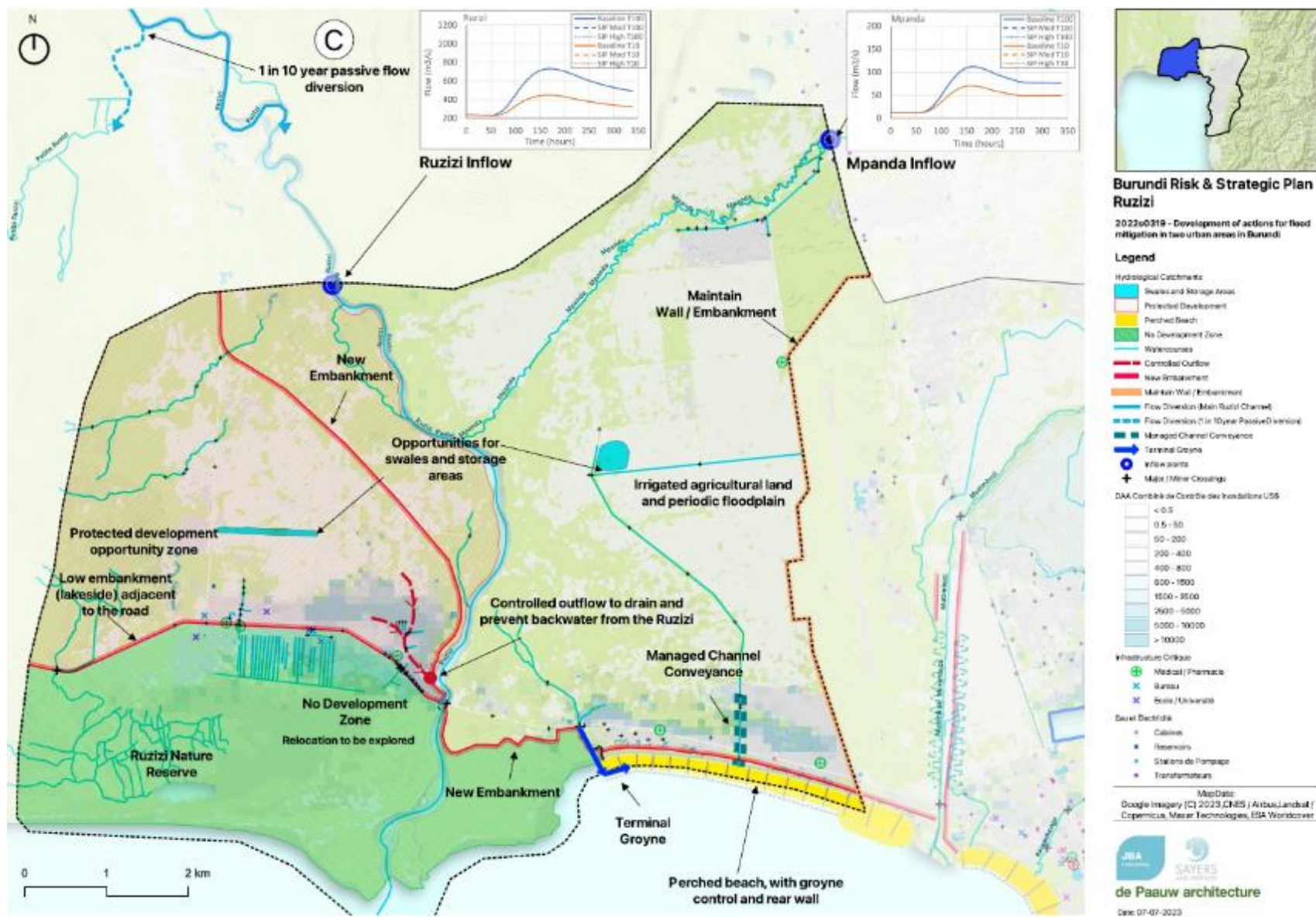


Figure 6-6: Ruzizi - Aperçu de la stratégie

6.1.3 Priorité de planification n° 1-3 - Kanyosha et Mugere

Pour la prochaine étape de la planification stratégique, il est recommandé de développer une stratégie combinée pour les UIBV de Kanyosha et de Mugere. Bien qu'il s'agisse de zones différentes en termes de développement existant et de densité du risque, la recommandation de développer une stratégie combinée reflète l'opportunité d'une approche intégrée de la gestion des inondations par les eaux de surface et du développement au sein de cette zone combinée. Les idées concernant les stratégies de haut niveau pour ces zones sont discutées ci-dessous.

6.1.3.1 Kanyosha

Le risque d'inondation dans l'unité centrale de Kanyosha est important (deuxième après Ntahangwa en termes de densité de risque). Bien qu'elle n'ait pas été identifiée comme une priorité pour les investissements à faible risque, cette situation reflète la nécessité d'élaborer un plan stratégique détaillé pour traiter une série de problèmes avant de pouvoir définir les investissements de manière rigoureuse. La zone est sujette à des inondations lacustres, fluviales et pluviales, avec une morphologie fluviale dynamique et une pression de développement importante. La stratégie privilégiée identifiée par l'évaluation comprend l'investissement dans un portefeuille équilibré de mesures (à la fois structurelles et non structurelles), y compris l'investissement dans une gamme de mesures d'infrastructure physique (Figure 6-7).

Sur la base des enseignements tirés de l'évaluation et des visites dans les pays, les grandes lignes de la stratégie à mettre en œuvre sont présentées dans le tableau ci-dessous. Figure 6-8. Un développement significatif a déjà eu lieu dans les zones proches des rives du lac. La stratégie comprend la suggestion d'un drain d'interception pour distribuer les eaux de surface arrivant du bassin versant supérieur plus abrupt vers des canaux de drainage liés pour acheminer les eaux de crue vers le lac. Des rigoles et des bassins de rétention sont également prévus pour ralentir l'écoulement. Un recul bien ciblé des berges du lac pour empêcher la propagation des eaux de crue du lac et des berges le long des tronçons en aval de la rivière Kanyosha font partie de la stratégie suggérée (avec des mesures d'exposition pour contrôler le développement et des mesures de résilience au niveau de la propriété).

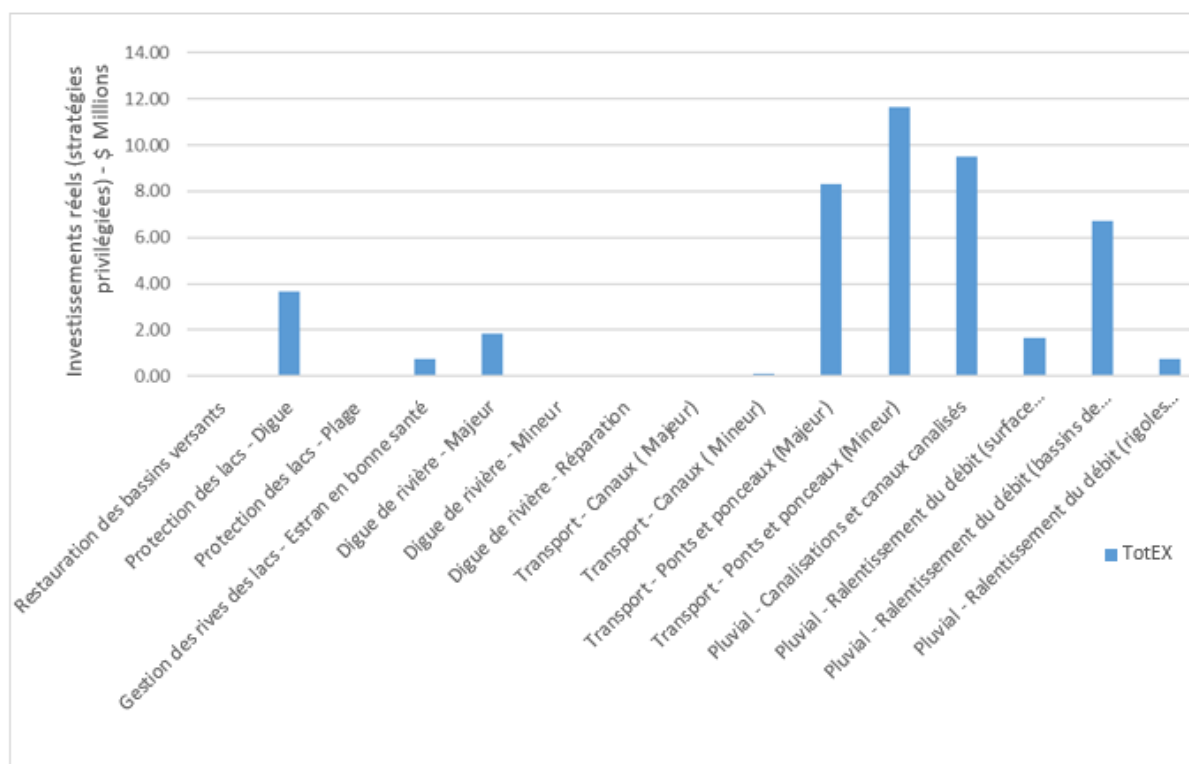


Figure 6-7: Kanyosha - Désagrégation indicative des investissements en infrastructures

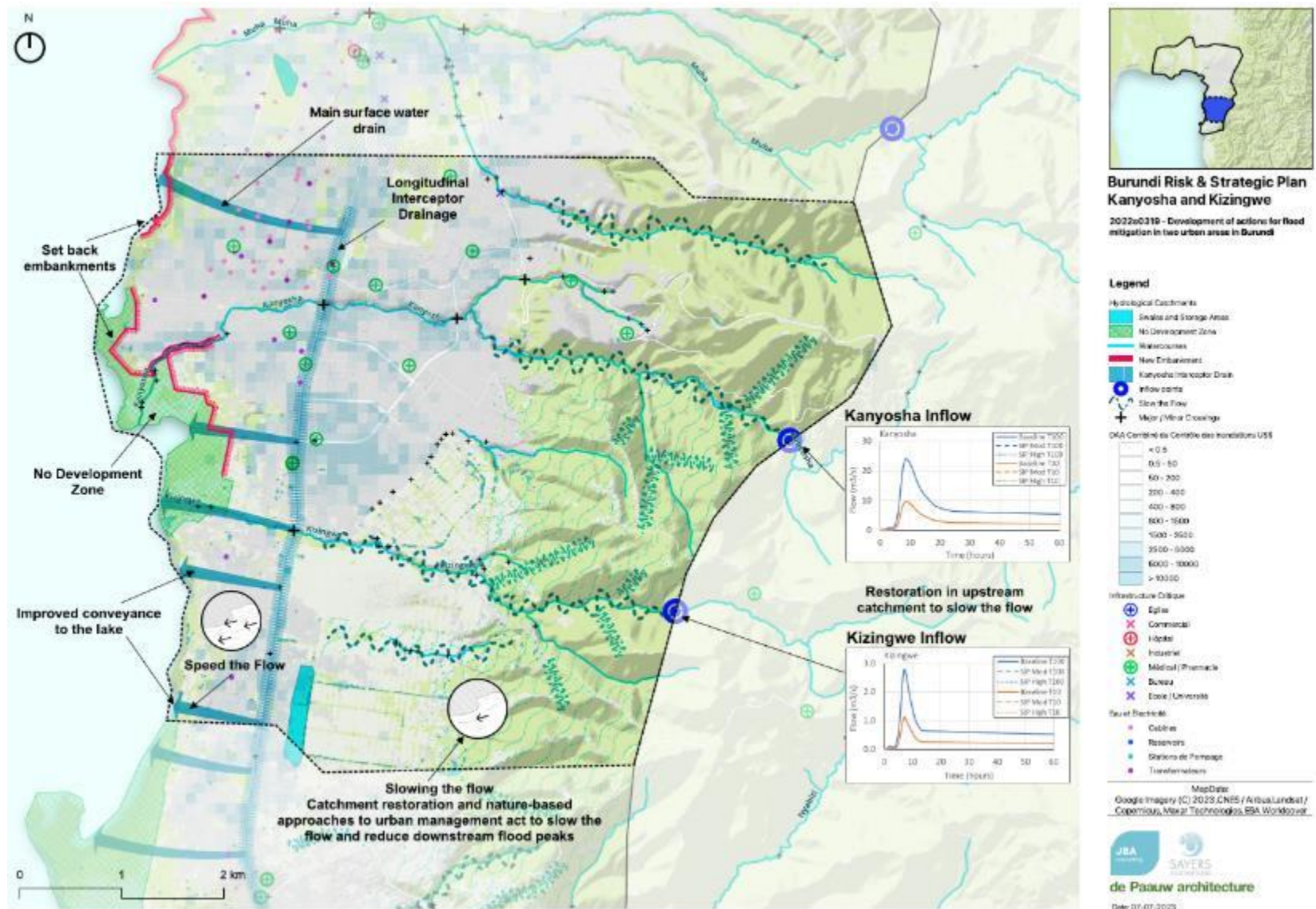


Figure 6-8: Kanyosha - Aperçu de la stratégie

6.1.3.2 Mugere

L'UIBV de la Mugere est l'un des bassins versants les moins développés. Par conséquent, il existe une fenêtre d'opportunité pour éviter les risques futurs en maintenant le comportement actuel du bassin versant (et en maintenant les infrastructures là où elles existent) et en prenant des décisions de planification qui évitent le développement dans les zones inondables. L'investissement dans la gestion des eaux de surface sera toutefois important, en particulier pour découpler le ruissellement des zones les plus escarpées de la UIBV et des zones de basse altitude près des rives du lac. Ce processus d'entretien se reflète dans le faible niveau d'investissement en infrastructures associé à la stratégie privilégiée identifiée par l'évaluation (Figure 6-9). Une suggestion de haut niveau dans la stratégie est d'étendre le drainage par incepteur proposé à Kanyosha à travers Mugere (Figure 6-10).

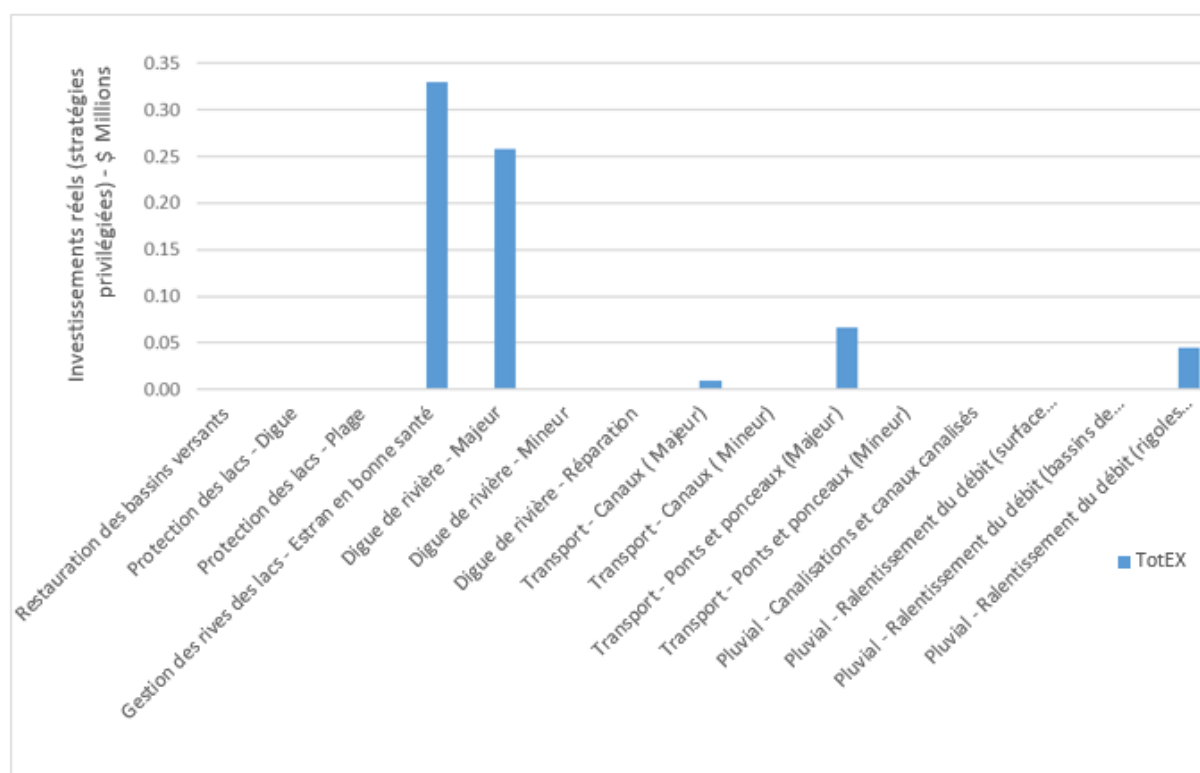


Figure 6-9: Mugere - Désagrégation indicative des investissements en infrastructures

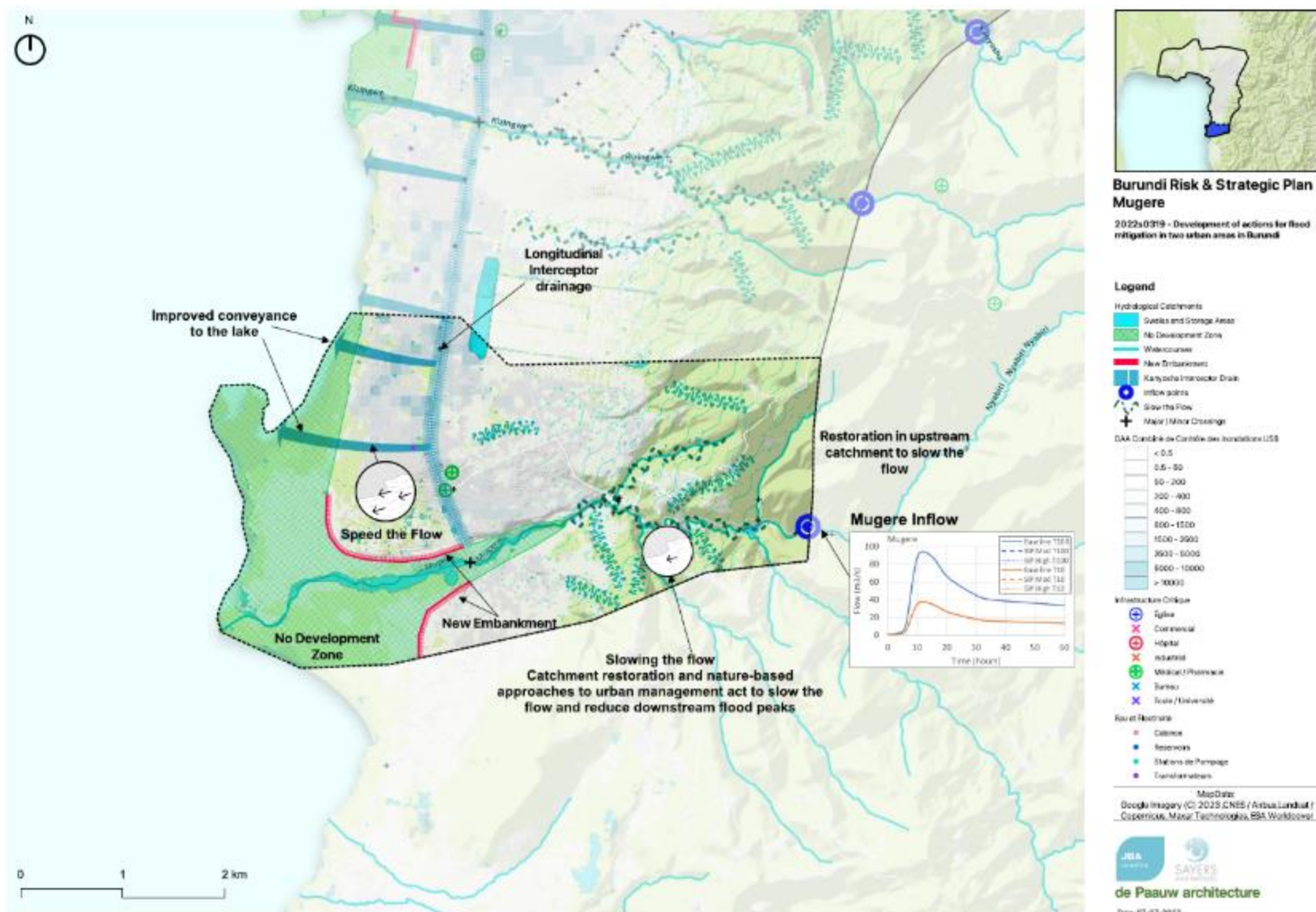


Figure 6-10: Mugere - Aperçu de la stratégie

6.1.4 Priorité de planification n° 1-4 - Muha

L'unité centrale de Muha est la plus petite de toutes les unités centrales et, par conséquent, le risque "absolu" est faible par rapport aux autres, mais la densité du risque est élevée (semblable à celle de Kanyosha). La stratégie privilégiée identifiée par l'évaluation consiste à maintenir la performance des infrastructures existantes (là où elles existent), ainsi qu'à investir de manière ciblée dans la protection des rives des lacs, à maintenir l'acheminement par les ponts et les ponceaux, et à profiter de l'occasion pour ralentir le débit grâce à des bassins de rétention des eaux de surface et à des rigoles (Figure 6-11). La réduction des risques actuels et futurs dépendra d'une bonne planification et de processus réglementaires permettant de réduire (et d'éviter d'augmenter) les mesures d'exposition et de vulnérabilité. Sur la base des enseignements tirés de cette évaluation et des visites effectuées dans le pays, les grandes lignes de la stratégie à développer sont présentées dans la Figure 6-12.

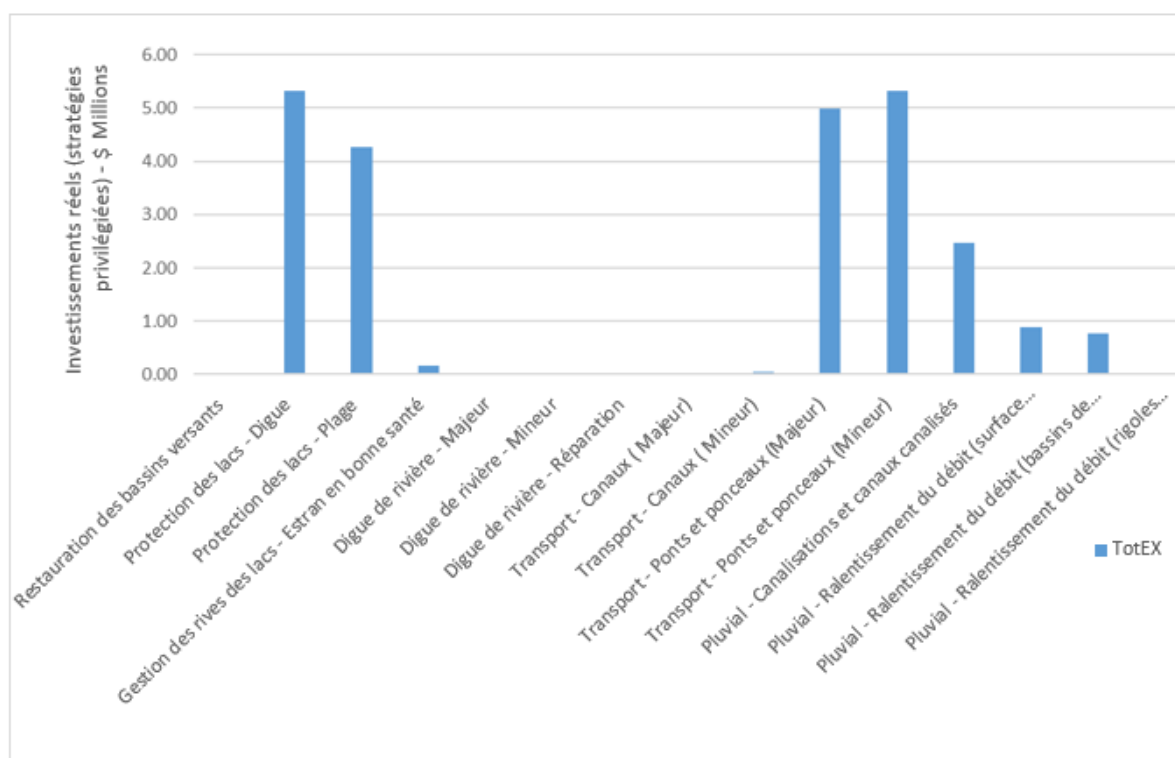


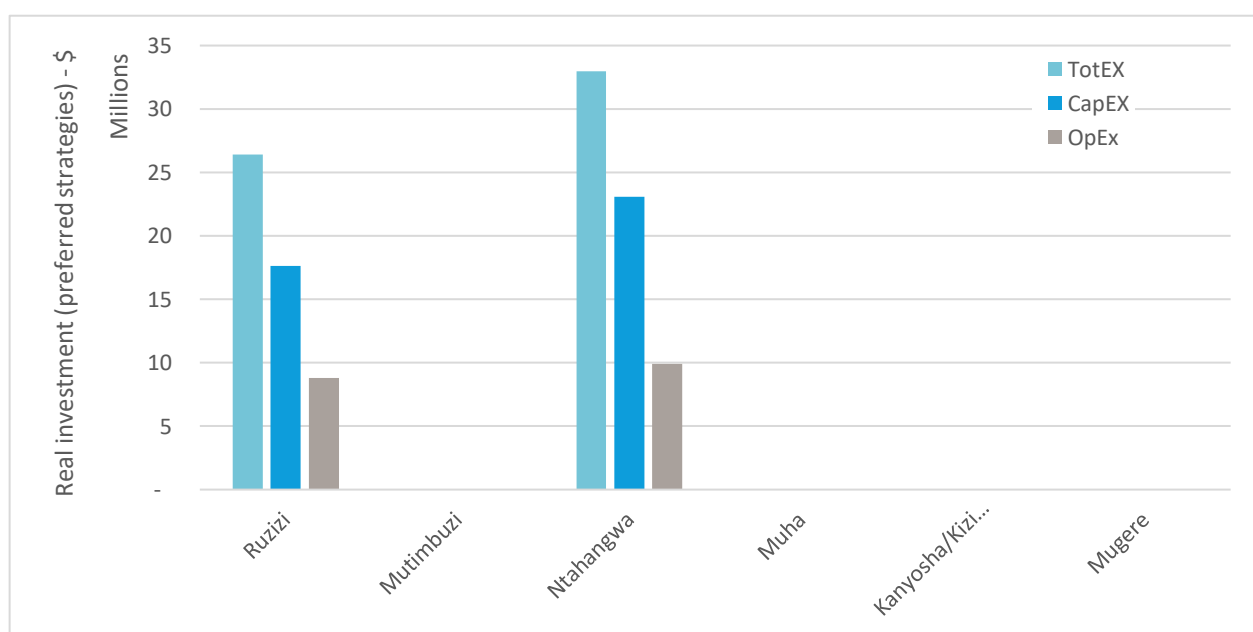
Figure 6-11: Priorité 2 - Muha - Ventilation indicative des investissements dans les infrastructures



Figure 6-12: Priorité 5 - Muha - Aperçu de la stratégie

6.2 Thème n° 2 - Infrastructures physiques à faibles regrets dans les bassins versants prioritaires

Dans les trois bassins versants prioritaires de Ntahangwa, Mutimbuzi et Ruzizi, une série d'interventions d'infrastructure physique à faible regret peut être identifiée. Elles sont considérées comme à faibles regrets car elles sont susceptibles de faire partie de la solution pour la gestion des risques d'inondation, quelle que soit l'évolution de la stratégie dans les études de suivi et les discussions ultérieures avec le GdB (par exemple, sur les prochaines étapes immédiates des phases de faisabilité et de conception). Les actions à faible regret identifiées ont un coût total estimé à ~59 millions de dollars, dont ~41 millions de dollars CapEx jusqu'à ~2026 et ~18 millions de livres OpEx jusqu'à 2050 (Figure 6-13). L'ensemble initial de mesures à faible regret est discuté ci-dessous (à confirmer en tandem avec les plans stratégiques plus détaillés pour chaque bassin versant qui sont développés).



(L'investissement réel correspond aux dépenses non actualisées sur l'ensemble de la période d'évaluation).

Figure 6-13: Investissement réel des activités à faible regret dans les bassins versants

6.2.1 Action à faible regret #2-1 - Restauration du bassin versant en amont, Ntahangwa

La restauration du bassin versant supérieur de la rivière Ntahangwa est un aspect important et à faible regret de la stratégie globale de gestion des risques d'inondation dans l'unité UIBV de Ntahangwa. La modélisation de haut niveau entreprise ici suggère que la restauration de ce bassin versant a le potentiel de réduire les débits de crue à la limite des zones urbaines en aval (par une combinaison de terrassement,

de reboisement et de petits barrages de retenue). Un consultant doit maintenant affiner cette analyse pour parvenir à une solution qui maximisera la réduction des pics d'inondation (et maximisera les bénéfices sociaux et environnementaux associés) grâce à la restauration du bassin versant. L'amélioration de la gestion des sédiments sera une considération importante, parallèlement à la réduction des pics de crue, dans la conception de l'approche de la restauration.

Objectif : Conserver et restaurer les bassins versants en amont de la zone d'étude afin de "ralentir le flux" et de réduire les pics de crue et donc les inondations.

Échelle d'investissement du projet : Il est prévu qu'environ 50 km² de bassin versant devront être restaurés.

Coût anticipé de la mise en œuvre du projet : ~ 12 millions de dollars d'investissement réel, dont ~ 10 millions de livres sterling de dépenses d'investissement avant 2026 et 2 millions de dollars de dépenses opérationnelles.

Prochaine étape : Développer des niveaux de faisabilité, des conceptions et des coûts pour la gestion des risques d'inondation pluviale.

6.2.2 Action à faible regret #2-2 - Amélioration de l'intégrité des digues du réservoir et des risques d'inondation des communautés locales, Ntahangwa

Au cours du développement du PIS, diverses options ont été discutées pour améliorer la résistance aux inondations de la communauté adjacente aux bassins de décantation du traitement de l'eau. L'intégrité des digues des bassins de décantation qui forment le réservoir est en mauvais état par endroits (sur la base d'une évaluation visuelle initiale) et une inspection détaillée et, si nécessaire, des travaux correctifs sont nécessaires. Bien qu'il soit possible que de nouvelles installations de traitement soient développées dans les années à venir, la sécurisation des digues existantes reste une tâche importante qui est considérée ici comme à faible regret.

En outre, un confluent de rivières passe par un pont qui relie le site qui reçoit les eaux usées et les bassins de tranquillisation. Il est important d'éviter le blocage de ce pont par des débris afin d'éviter les charges extrêmes sur les digues de retenue et de réduire le risque de rejet incontrôlé d'eau contaminée dans la communauté locale. La réduction du risque d'inondation pour cette communauté impliquera également le remplacement des digues ad hoc existantes et l'amélioration du drainage informel de la communauté. Ces actions importantes peuvent être considérées comme des mesures à faibles regrets pour améliorer la résilience aux inondations.

Les coûts de cette action sont difficiles à déterminer étant donné le niveau stratégique de l'évaluation présentée ici. Des études de faisabilité sont maintenant nécessaires pour explorer cette question plus en détail et passer rapidement à la mise en œuvre.

Objectif : Assurer l'intégrité des digues qui retiennent les bassins de tranquillisation des eaux usées et réduire le risque d'inondation pour la communauté locale.

Échelle d'investissement du projet : Coût prévu de la mise en œuvre du projet : ~ 6,5 millions de dollars Dépenses totales, dont ~ 4,5 millions de livres sterling de dépenses d'investissement avant 2026 et 2 millions de dollars de coûts d'exploitation jusqu'aux années 2050.

Prochaine étape : Développer les niveaux de faisabilité, les conceptions et les coûts parallèlement au développement du plan stratégique détaillé pour le bassin versant de Ntahangwa.

6.2.3 Action à faible regret #2-3 - Restauration des rives du lac et protection contre les inondations

Les inondations du lac Tanganyika sont une préoccupation majeure à Bujumbura et Gatumba, au Burundi. Un aspect important et à faible regret d'une stratégie globale de gestion des risques d'inondation dans la région est de fournir une protection contre les inondations lacustres. Le lac Tanganyika fait partie de la géologie du rift Albertin et est l'un des lacs les plus profonds du monde. Des pentes bathymétriques abruptes existent au-delà d'un estran étroit. Les rives du lac sont un lieu de loisirs et un habitat important. Une étude de faisabilité est maintenant nécessaire pour développer un moyen approprié de fournir une protection contre les inondations ainsi que des avantages plus larges. Les zones les plus susceptibles d'être concernées sont celles de Ntahangwa, Mutimbuzi et Ruzizi.

Au cours de cette étude, plusieurs options ont été discutées pour améliorer la protection contre les inondations du lac, et deux d'entre elles ont été retenues pour un examen plus approfondi :

- Là où il y a de l'espace, reculer les digues ou les murs en favorisant des estrans en bonne santé (zones humides ou plages). Cela comprendra probablement la construction de digues en terre et la restauration sensible de l'estran (comme dans le delta de la Ruzizi).
- Lorsque l'estran du lac est étroit, il peut être possible de créer de l'espace en "avançant la ligne" (pour rétablir une largeur de plage historique), par exemple par la création d'une plage perchée. Il s'agira probablement d'étudier la faisabilité et la conception d'une plage de sable renourrie et d'une pointe de rocher submergée. Un mur de vagues à l'arrière et des aménagements (pour l'accès et l'utilisation de la plage) seront également des éléments importants à prendre en compte.

Bien que toutes ces zones soient susceptibles de nécessiter une protection renforcée contre les inondations du lac, seule la façade à travers Ntahangwa est considérée comme une mesure à faible regret. La forme et l'alignement de la protection des rives

du lac à Ruzizi et Mutimbuzi dépendront des discussions ultérieures et de l'accord concernant la stratégie globale dans ces zones et peuvent changer.

Objectif : Réduire les risques d'inondation du lac en maintenant ou en améliorant de manière appropriée la protection des rives du lac, tout en maximisant les possibilités de bénéfices plus larges.

Échelle d'investissement du projet : ~16 millions de dollars de dépenses totales (investissement réel), ~10 millions de dollars de dépenses d'investissement d'ici à 2026 et ~6 millions de dollars de dépenses opérationnelles jusqu'aux années 2050.

Prochaine étape : Recueillir des données supplémentaires (y compris des données bathymétriques et géologiques détaillées pour étayer la faisabilité ou non de conceptions alternatives) et développer des conceptions et des coûts au niveau de la faisabilité pour la protection multifonctionnelle des rives du lac.

6.2.4 Action à faible regret #2-4 - Réduire les inondations pluviales à Gatumba

Dans le cadre de l'évaluation stratégique de haut niveau, les actions visant à réduire le risque d'inondation pluviale à Gatumba dans le bassin versant de la Ruzizi ont été identifiées comme un investissement à faible regret. Gatumba est également l'une des zones les plus vulnérables socialement au Burundi et subit des inondations provenant du lac, de la rivière Ruzizi et des précipitations locales. Il faudra veiller à ce que les solutions proposées tiennent compte de ces interactions. Il est prévu qu'une combinaison de bassins de stockage, de canaux de drainage et de pompes fasse partie de la solution à faible regret pour permettre un développement continu de la zone dans les années à venir.

Objectif : Réduire les risques d'inondation pluviale (eaux de surface) résultant d'événements pluvieux intenses et de courte durée.

Échelle d'investissement du projet : ~19 millions de dollars de dépenses totales (investissement réel), ~12 millions de dollars de dépenses d'investissement d'ici à 2026 et ~7 millions de dollars de dépenses d'exploitation jusqu'aux années 2050.

Prochaine étape : Développer des conceptions et des coûts de faisabilité pour la gestion des risques d'inondation pluviale.

6.3 Thème n° 3 - Faisabilité : Élaborer une stratégie détaillée en matière d'infrastructures critiques et concevoir des actions à faibles regrets.

Les villes résistantes aux inondations dépendent d'infrastructures critiques résistantes aux inondations. La majorité des infrastructures essentielles dans la région de Bujumbura et de Gatumba n'ont pas été conçues en tenant compte des risques d'inondation. La protection des infrastructures existantes d'approvisionnement en eau et en électricité peut être améliorée de manière significative par des interventions

relativement simples telles que la surélévation des équipements électriques (par exemple, les arrivées de courant et les panneaux de contrôle des pompes d'approvisionnement en eau), l'installation d'une protection temporaire ou permanente contre les inondations sur les bâtiments clés, et/ou le remplacement des pompes par des types de pompes submersibles.

Deux actions prioritaires ressortent de l'étude, comme indiqué ci-dessous.

6.3.1 Priorité de planification n° 3-1 - Stratégie de résilience des infrastructures critiques

De nombreux bassins versants comprennent des infrastructures essentielles (énergie, eau (potable et déchets), services de santé et d'urgence, etc.) L'emplacement d'une grande partie de ces infrastructures a été identifié au cours de l'étude, mais la façon dont elles sont connectées et leur état restent largement inconnus. Plusieurs initiatives sont en cours de discussion au sein du GdB (et de divers investisseurs, organisations privées et donateurs), axées sur l'amélioration des services d'infrastructure, y compris le développement de sources d'eau potable supplémentaires (ou de remplacement) et le traitement (potentiellement dans la région de Mutimbuzi). Pour progresser, il est désormais nécessaire d'élaborer une stratégie détaillée en matière d'infrastructures essentielles. Celle-ci devra dresser un inventaire détaillé des infrastructures critiques existantes (et des connexions de réseau) et identifier les futurs plans sectoriels (pour le remplacement ou l'expansion, par exemple, des secteurs de l'eau, de l'énergie, des déchets, des transports et de la santé). Le processus de planification doit prendre en compte les risques multiples, y compris, mais sans s'y limiter, l'analyse des risques d'inondation développée ici.

Objectif : Développer un plan d'investissements prioritaires pour assurer la résilience du réseau d'infrastructures critiques existant et éviter d'exacerber les vulnérabilités aux inondations en planifiant mal les développements futurs des services d'infrastructure.

Échelle d'investissement du projet : 300-500 000 dollars Stratégie détaillée de résilience des infrastructures critiques.

Prochaine étape : Élaborer une stratégie détaillée en matière d'infrastructures critiques pour l'ensemble de la zone d'étude.

6.3.2 Action à faible regret n° 3-1 - Prise d'eau potable, traitement et distribution primaire résistants aux inondations

La station de pompage qui fournit plus de 90 % de l'eau potable de Bujumbura et de Gatumba est exposée aux risques d'inondation. La majorité de l'eau potable de la région provient du lac. Il est impératif d'améliorer la résistance aux inondations des stations de pompage d'eau potable - la prise d'eau (située près du lac), les pompes de

distribution principales (situées à l'intérieur des terres dans les usines de traitement) et de sécuriser les murs de retenue des étangs de tranquillisation eux-mêmes. Il est à noter qu'à plus long terme, d'autres sources d'approvisionnement en eau peuvent être mises en place. Les discussions sur les autres sources d'approvisionnement n'en sont toutefois qu'à leurs débuts et les résultats sont incertains. Dans ce contexte, et compte tenu du coût relativement faible de l'investissement destiné à améliorer la résistance aux inondations de l'infrastructure d'eau potable existante, il s'agit d'une action à faible regret.

Il y a des inquiétudes sur le manque de redondance d'installations de pompage existantes et les défis permanents liés à l'envasement de la prise d'eau (à environ 2 km au large). Ces questions ne sont pas des questions de résilience aux inondations en tant que telles, et ne sont donc pas incluses dans les activités à faibles regrets ici. Il existe cependant une opportunité de s'inscrire dans un débat plus large sur la résilience de l'eau et d'agir pour accroître la résilience du site aux inondations tout en améliorant la fiabilité (et le volume) de l'approvisionnement.

Objectif : Améliorer la résistance aux inondations des stations de pompage de la prise d'eau potable et de la distribution principale et protéger les murs de retenue des bassins de tranquillisation de l'eau potable.

Échelle d'investissement : 1 million de dollars (à l'exclusion de toute amélioration des pompes, des prises d'eau ou des réseaux de canalisations, etc.)

Prochaine étape : Élaborer des études de faisabilité détaillées pour la mise en œuvre des mesures de résilience.

6.4 Thème 4 - Renforcer les capacités pour mieux gérer les risques d'inondation

Le renforcement de la capacité à traiter les causes sous-jacentes des risques d'inondation dans le contexte du changement climatique et des pressions du développement est à la base des progrès à long terme vers la résilience aux inondations. Sans capacité, les risques sont susceptibles d'augmenter inutilement, et l'investissement pourrait être gaspillé ou conduire à une mauvaise adaptation qui exacerbe en fait le risque d'inondation. Toutes les activités de renforcement des capacités présentées ci-dessous sont considérées comme à faibles regrets.

6.4.1 Renforcement des capacités - Activités

Il existe des possibilités de renforcer les capacités dans six domaines principaux, résumés ci-dessous. La capacité dans ces domaines n'est pas simplement une "bonne chose à avoir", mais elle est cruciale pour progresser vers la résilience aux inondations et la mise en œuvre des plans stratégiques présentés ici.

6.4.1.1 Capacité #4-1 Aménagement du territoire et réglementation : Planification sensible aux inondations

Les politiques en place tentent d'éviter le développement dans les plaines inondables fonctionnelles du lac et des rivières. Il est entendu que la planification de la politique de gestion des rives du lac, par exemple, comprend une "zone tampon de non-développement" qui s'étend sur 300 m à partir de la rive du lac. Une politique similaire est en place le long des rivières, qui comprend une "zone tampon de non-développement" de 25 m pour le bord du canal des rivières principales. Ces deux politiques sont toutefois largement ignorées. Le développement de la capacité à utiliser la cartographie détaillée des risques développée ici dans le cadre d'une politique d'aménagement informée et ciblée (y compris les processus d'application de ces politiques) sous-tend toutes les stratégies privilégiées présentées ici.

6.4.1.2 Capacité n° 4-2 - Prévision et alerte et services associés

Il n'existe pas de système de prévision des inondations ni de système d'alerte associé. Cela fait bien sûr partie de toute stratégie. La prévision des précipitations intenses et, peut-être plus important encore, l'alerte qui conduit à l'action représentent un défi. Ces activités comprendront probablement la mise en œuvre d'un système d'alerte précoce hydrométéorologique à Bujumbura, par le biais, entre autres, d'investissements dans l'infrastructure, l'équipement et la formation : (i) des investissements dans l'infrastructure, l'équipement et la technologie, et le développement des capacités pour l'évaluation des risques multirisques, la prévision des risques, la diffusion et la communication, la planification de la préparation, la sensibilisation et l'engagement communautaire pour une meilleure préparation aux catastrophes ; (ii) un dialogue politique pour identifier les politiques prioritaires, les améliorations réglementaires et institutionnelles pour accroître la résilience aux inondations et à la sécheresse ; (iii) l'introduction d'une sécurité et d'une prévention des catastrophes basées sur les données pour collecter et communiquer les informations sur les risques hydrométéorologiques, les avertissements et les alertes, et soutenir la gestion des interventions en temps réel ; (iv) la préparation de plans de continuité des activités et d'amélioration des performances. Ce point fait l'objet d'une initiative en cours de la Banque mondiale et n'est mentionné ici qu'à titre d'information.

6.4.1.3 Capacité n° 4-3 - Gestion des actifs

La compréhension des infrastructures de contrôle des inondations (digues, réseaux de drainage, etc.) et des infrastructures associées (telles que les ponts et les ponceaux et les caractéristiques des infrastructures naturelles, telles que la santé et le niveau des rives des lacs) est essentielle si l'on veut qu'elles soient gérées efficacement. Il s'agit notamment de connaître l'emplacement, la géométrie et l'état des ouvrages, mais aussi d'obtenir des informations sur la manière dont leur état peut

évoluer en temps réel. Par exemple, comprendre l'obstruction d'un passage principal ou la surcharge d'une conduite de drainage critique. La combinaison de bonnes pratiques de gestion des actifs et de liens avec des initiatives émergentes (telles que l'opportunité de relier la gestion des inondations et l'initiative SMART explorée dans la ville) devrait être explorée et des capacités pratiques appropriées devraient être mises en place.

6.4.1.4 Capacité n° 4-4 - Planification à long terme - Gestion des rives des lacs

L'Autorité du lac Tanganyika (ALT - ou d'autres organismes similaires) a la possibilité de développer une approche coordonnée à l'échelle du lac entier pour comprendre son comportement et définir des objectifs politiques cohérents pour la gestion des rives du lac. Au minimum, il s'agirait de comprendre la mobilité des sédiments, les objectifs de conservation et le partage des bonnes pratiques de gestion. L'accord et la définition d'objectifs politiques pour le littoral (en termes d'activités de gestion, de littoral naturel, de plage, etc.) et l'incorporation d'objectifs de développement (expansion des ports, etc.) fourniraient une vision cohérente à long terme qui informerait les besoins en matière de gestion des risques d'inondation et serait en adéquation avec eux. L'approche proposée pour la planification de la gestion des rives des lacs a été appliquée dans plusieurs autres pays, y compris le processus de planification de la gestion des rives au Royaume-Uni, afin de s'assurer que la planification de la gestion des lacs et des bassins versants est bien coordonnée.

6.4.1.5 Capacité n° 4-5 - Planification à long terme - Gestion des bassins versants

La restauration et la conservation des bassins versants sont des éléments importants de la gestion des risques d'inondation à Bujumbura et à Gatumba. Le développement des capacités autour de la planification du bassin, y compris le développement d'une vision à long terme pour le bassin, fournit la base pour le développement de plans thématiques (tels que les stratégies de gestion des risques d'inondation) qui soutiennent des objectifs de développement plus larges. Cela inclut le développement de plans de développement à long terme crédibles qui reflètent le développement urbain mais aussi l'énergie (et d'autres initiatives) qui peuvent influencer le fonctionnement du bassin. De tels plans à long terme n'existent pas actuellement. Le développement de la capacité et du leadership nécessaires à l'élaboration de tels plans constitue la base de choix d'investissement judicieux.

6.4.1.6 Capacité n° 4-6 Planification intégrée du développement urbain - Qualité de l'eau, déchets et inondations

La gestion des risques d'inondation n'est pas autonome. Pour être efficace, la gestion des risques d'inondation doit être considérée comme faisant partie d'un processus

plus large de planification du développement intégré. Au minimum, la gestion des risques d'inondation est étroitement liée aux questions suivantes

- Stratégies de gestion des déchets solides (pour réduire le recrutement, le transport et le dépôt de déchets solides, y compris la promotion du changement de comportement).
- Développement de sources d'eau potable plus sûres (réservoirs et zones de protection des eaux souterraines/SUDS).
- Développement des infrastructures - routes, énergie, conception résiliente.
- Qualité de l'eau - y compris la gestion des charges de sédiments et de la pollution transportée par les eaux de ruissellement urbaines.

6.4.2 Renforcement des capacités - Besoin d'investissement

Des investissements continus seront nécessaires pour renforcer et maintenir les capacités. Pour "lancer" ce processus, un investissement de base significatif sera probablement nécessaire. Compte tenu de la combinaison, il est prévu que cet investissement se situe dans une fourchette de 15 à 25 millions de dollars.

A Portefeuille de mesures : actions individuelles

B Cartes des bassins versants - dangers et risques actuels

C Annexe : Liste des données probantes sur l'évaluation des coûts

Bureaux à

Bristol
Coleshill
Doncaster
Dublin
Édimbourg
Exeter
Glasgow
Haywards Heath
Leeds
Limerick
Newcastle sur Tyne
Newport
Peterborough
Portsmouth
Saltaire
Skipton
Tadcaster
Thirsk
Wallingford
Warrington

Siège social
1 Broughton Park
Old Lane North
Broughton
SKIPTON
Nord du Yorkshire
BD23 3FD
Royaume-Uni

+44(0)1756 799919
info@jbaconsulting.co
m
www.jbaconsulting.com
Suivez-nous  

Jeremy Benn
Associates Limited

Enregistré en
Angleterre 3246693

JBA Group Ltd est
certifié pour :
ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 27001:2013
ISO 45001:2018

