



Évaluation du risque d'inondation le long du Moyen fleuve Niger et dans le bassin inférieur de la rivière Sirba Burkina Faso - Niger

Rapport

Maurizio Tiepolo, Muhammad Abraiz, Ousmane Baoua, Giorgio Cannella,
Giacomo Cazzola, Daniele Ganora, Mohammed Ibrahim Housseini,
Alejandro Marmolejo Gutiérrez, Francesco Saretto, Riccardo Vesipa, Gérard Zongo

13 juillet 2026



AGENCE ITALIENNE
POUR LA COOPÉRATION
AU DÉVELOPPEMENT

AID 012487

SLAPIS-Sahel est un projet qui a débuté le 22 juin 2023 pour mettre en place un système d'alerte précoce contre les inondations dans le bassin transfrontalier (Burkina Faso-Niger) de la rivière Sirba. SLAPIS est un projet de renforcement des capacités locales cofinancé par l'Agence Italienne pour la Coopération au Développement (AICS). Le projet est mis en œuvre par le Politecnico de Turin (chef de file), l'Institut de BioEconomie du Conseil National de la Recherche d'Italie, l'Agence Nationale de Météorologie (ANAM) et la Direction Générale des Ressources en Eau (DGRE) du Burkina Faso, la Direction de la Météorologie Nationale (DMN) et la Direction des Ressources e Eau (DRE) du Niger. L'équipe du Politecnico de Turin assure la coordination du Projet et collabore à la réalisation des résultats attendus (i) Formation, (ii) Connaissance des risques, (iii) Réduction des risques, (iv) Diffusion scientifique. Toutes ces activités ont été lancées. À l'exception de la coordination du projet, une partie importante des activités a porté sur la définition de la méthodologie d'analyse et d'évaluation du risque d'inondation, ainsi que sur la planification de la réduction du risque. Cette méthodologie a finalement été définie en accord avec les Partenaires.

Les Auteurs et leur contribution

Maurizio Tiepolo, professeur d'Aménagement du territoire-urbanisme, DIST-Politecnico de Turin (coordination de l'étude, méthodologie, dommages, évaluation du risque). Muhammad Abraiz, doctorant en Géomatique, DIATI-Politecnico de Turin (modèle numérique de surface). Ousmane Baoua, météorologue, DMN, Niamey (coordination de l'enquête de terrain). Giorgio Cannella, doctorant en Géomatique, DIATI, Politecnico de Turin (base de données, cartographie). Giacomo Cazzola, urbaniste PhD, DIST-Politecnico de Turin (base de données, cartographie). Daniele Ganora, professeur d'Hydrologie DIATI (méthodologie, hydrologie). Mohammed Ibrahim Housseini, responsable DH, MHAÉ, Niamey (hydrologie). Alejandro Marmolejo Gutiérrez, ingénieur, boursier en Hydraulique, DIATI-Politecnico de Turin. Francesco Saretto, doctorant en Hydrologie, Université de Wageningen (hydrologie). Riccardo Vesipa, professeur d'Hydraulique, DIATI-Politecnico de Turin (méthodologie et modélisation hydraulique). Gérard Zongo, Géographe géomaticien, DEIE, Ouagadougou (coordination de l'enquête de terrain).

2

Remerciements

Les Auteurs remercient les participants des communes de Gothèye, Karma, Kourteye, et Namaro à l'atelier de novembre 2025 à Niamey, M. Ousman Baoua (DMN) qui a coordonné les enquêtes de terrain le long du fleuve Niger, MM. Abdoul Samadou Souley Issa pour les vérifications de terrain, M. Gérard Zongo (DGRE) qui a coordonné les enquêtes à Bambori, Doundé, Haaba, Koygouroual, Kourou, Tangangari en juin-juillet 2026 et les enquêteurs.

Financement

Ce rapport a bénéficié du soutien du projet SLAPIS Sahel, financé par l'Agence Italienne pour la Coopération au Développement (AID 12487).

Comme citer ce rapport

Tiepolo M., Abraiz M., Baoua O., Cannella G., Cazzola G., Ganora D., Housseini M.I., Marmolejo Gutiérrez A., Saretto F., Vesipa R., Zongo G. 2026. Évaluation du risque d'inondation le long du Moyen fleuve Niger et dans le bassin inférieur de la rivière Sirba, Burkina Faso – Niger. Rapport. Projet SLAPIS Sahel, 64 pages.

Table des matières

Liste des figures et des tableaux	4
Acronymes	7
Résumé analytique	9
1. Introduction	11
2. Le risque d'inondation le long du Moyen fleuve Niger en amont de Niamey	13
2.1 Méthodologie	11
2.1.1 Identification des risques	12
2.1.2 Analyse des risques	12
2.1.2.1 Apports hydrologiques	13
2.1.2.2 Données topographiques	17
2.1.2.3 Modélisation hydraulique	17
2.1.2.4 Dommages attendus	21
2.1.2.5 Niveau de risque	22
2.1.3 Évaluation des risques	22
2.2 Résultats	22
2.2.1 Identification des risques	22
2.2.2 Analyse des risques	23
2.2.3 Évaluation des risques	29
3. Risque d'inondation dans le bassin inférieur de la rivière Sirba.....	34
3.1 Présentation de la zone	34
3.2 Méthodologie.....	35
3.2.1 Débit du réseau hydrographique	35
3.2.2 MNS	37
3.2.3 Modélisation hydraulique	38
3.2.4 Identification des enjeux	41
3.2.5 Morphologie des établissements humains	42
3.2.6 Niveau du risque	43
3.2.7 Traitement du risque	43
3.2.8 Risque résiduel et rapport coût-bénéfice	43
3.3 Résultats.....	45
3.3.1 Analyse du risque	45
3.3.1.1 Caractère de la menace	45
3.3.1.2 Débit de crue	46
3.3.1.3 Extension de la plaine inondable	47
3.3.1.4 Morphologie des établissements humains	47
3.3.1.5 Dynamique des établissements humains au fil du temps	48
3.3.1.6 Enjeux	48
3.3.1.7 Dommages potentiels	54
3.3.1.8 Niveau de risque	55
3.3.2 Évaluation du risque dans le bassin inférieur de la rivière Sirba	55
3.3.2.1 Traitement du risque	55
3.3.2.2 Risque résiduel et coût-bénéfice	55
3.3.3 Implications de l'évaluation du risque d'inondation sur le projet SLAPIS	55
3.3.4 Limites de l'évaluation du risque d'inondation	56
4. Conclusion	56
Références	57

Matériel supplémentaire	60
Annexes	
1 Karma Ouadi hydrogramme total	61
2 Instantaneous Unit Hydrograph pour le bassin de Karma	61
3 Coût-bénéfice du traitement des inondations locale et guinéenne TR 10 et 100 ans	62

Liste des figures

Figure 1. Zone d'étude	Page 8
Figure 2. Diagramme de flux de la méthode	11
Figure 3. Disponibilité des données sur le débit des rivières et précipitations par station	12
Figure 4. Maillage du modèle hydraulique (a) et le oued Karma qui menace l'AHA de Koutoukalé (b)	13
Figure 5. Modèle numérique de surface (MNS) dérivé de PlanetScope, à une résolution de 4 m, créé au-dessus du fleuve Niger et du bassin de l'oued Karma	14
Figure 6. Site d'analyse de sensibilité. (a) Tronçon témoin de Touré le long de la rivière Sirba par rapport à la zone d'étude du fleuve Niger. (b) Étendue du MNS dérivé de drones et profils en travers utilisés pour l'analyse de sensibilité WSE	16
Figure 7. Profil du terrain et élévation simulée de la surface de l'eau à la section transversale 8, à partir du DSM dérivé de PlanetScope et du DSM dérivé du drone	17
Figure 8. Inspection de terrain sur les AHA de Karma (haut) et les rizières traditionnelles inondées à Gothèye (bas)	18
Figure 9. Hydrogramme du fleuve Niger, obtenu à partir de la station de jaugeage de Niamey, pour les années 2024 et 2025	18
Figure 10. Carte d'exposition à l'inondation guinéenne avec RP100 dans les secteurs de Gothèye (à gauche) et de Karma (à droite)	23
Figure 11. Bâtiments sensibles à l'inondation guinéenne RP100 à Korsile, Namaro, Sansane Haoussa et Silboli	24
Figure 12. Inondations du ouadi Karma avec TR 10 et TR 30 ans. Exposition de Koutoukalé AHA aux crues du ouadi Karma avec TR 10 et TR 30 ans	25
Figure 13. Risques associés à l'inondation guinéenne TR 10 ans	26
Figure 14. Oued Karma le 9 novembre 2025	28
Figure 15. Point de rupture de l'AHA de Koutoukalé sur la rive de l'oued Karma	28
Figure 16. Mesures de réduction des risques pour l'oued Karma, Sansane Haoussa et Gothèye	29
Figure 17. Le bassin versant de la rivière Sirba et le réseau hydrographique étudié	31
Figure 18. Disponibilité des données annuelles sur le débit des cours d'eau du bassin de la Sirba et de bassins similaires de la région	32
Figure 19. Modèles statistiques GEV et Gumbel ajustés à l'aide de L-moments calculés à partir des données observées et des modèles régionaux	34
Figure 20. MNS des rivières étudiées dans le bassin transfrontalier de la Sirba	35
Figure 21. Domaine de calcul dans le bassin de la rivière Sirba	35
Figure 22. Maillage et domaine de calcul le long de la rivière Sirba au Burkina Faso	36
Figure 23. Profondeur d'inondation TR 100 des rivières Yali, Faga et Sirba	37
Figure 24. Profondeur d'inondation TR100 à la confluence des rivières Yali, Faga et Sirba	37
Figure 25. Grange (1), maison (2), puits (3) dans le village de Haba, commune de Bartiébougou, après photo-interprétation visuelle de l'image GE de janvier 2025	38
Figure 26. Tamperi, commune de Sebba : enjeux selon la profondeur d'inondation	39
Figure 27. Hameau étalé (à gauche) et village compact (à droite), exposés aux inondations, avec un TR de 100 ans	40
Figure 28. Diagramme de flux de la méthode	40
Figure 29. Réseau hydrographique du bassin inférieur de la Sirba avec les points du débit modélisé dans le tableau 12	41
Figure 30. Les onze localités les plus exposées à l'inondation centennale	48
Figure 31. Bâtiments exposés à des inondations TR100 selon la profondeur d'inondation < 1 m, 1-2 m, > 2 m à Bambori (commune de Sebba), Bosongri, Dar Salam et Hasbialalou (commune de Solhani), et Haba (commune de Bartiébougou)	51
Figure 32. Bâtiments exposés à inondations TR100 selon la profondeur d'inondation <1 m, 1-2 m, >2 m à Kourou et Koygouroua (commune de Mansila), Koygouroua, Sebba, et localité inconnue (commune de Mansila)	52
Figure 33. Magasins situés dans une zone inondable, avec rez-de-chaussée surélevé, à Haba (commune de Bartiébougou)	53

Figure 34. Utilisation de la carte des enjeux selon la profondeur d'inondation TR 100 ans (gauche) pour le zonage réglementaire du plan communal de sauvegarde (droite) dans le cas du village de Hasbialahou (commune de Solhani)	55
--	----

Liste des tableaux

Tableau 1. Débit du fleuve, période de retour et probabilité	Page 20
Tableau 2. Cultures (m ²) exposées au type d'inondation et à la profondeur de l'eau par municipalité	21
Tableau 3. Population et bâtiments exposés aux inondations guinéennes et locales avec TR de 10, 30 et 100 ans	22
Tableau 4. Surface au sol du bâtiment (m ²) exposée aux inondations, type et profondeur d'eau selon la municipalité	24
Tableau 5. Dommages et risque d'inondation par commune et type d'inondation	27
Tableau 6. Analyse FFOM participative de 15 mesures de réduction des inondations	27
Tableau 7. Priorisation de 13 mesures locales	29
Tableau 8. Risque résiduel lié aux inondations guinéennes TR 10 et TR 100	30
Tableau 9. Rapport coût-bénéfice du traitement des risques d'inondations locales et guinéennes TR10 et TR100	30
Tableau 10. Extension du réseau fluvial étudiée	31
Tableau 11. Résumé des modèles régionaux de L moments acceptés	35
Tableau 12. Mesures potentielles en fonction de la profondeur d'inondation	43
Tableau 13. FFOM du traitement du risque	44
Tableau 14. Priorisation des mesures	44
Tableau 15. Caractéristiques des menaces dans le bassin de la Sirba	46
Tableau 16. Débits de pointe aux points cibles des bassins du Yali, du Faga et du Petit Sirba, sur différentes sections créées pour tenir compte de l'influence des tributaires sur les rivières	46
Tableau 17. Largeur minimale et maximale des crues avec un TR centenaire le long des rivières du bassin de la Sirba.....	47
Tableau 18. Morphologie des établissements humains inondables	45
Tableau 19. Évolution du nombre de logements entre 2009 et 2025 dans la zone inondable TR 100.	48
Tableau 17. Surface au sol (m ²) des bâtiments exposés à une inondation locale, pour des TR de 5, 10 et 100 ans, dans le bassin de la Sirba au Burkina Faso	43
Tableau 16. Surface au sol (m ²) des bâtiments exposés à l'inondation avec TR 5, 10 et 100 ans selon la profondeur d'inondation	44
Tableau 17. Morphologie des établissements humains inondables	45
Tableau 18. Évolution du nombre de logements entre 2009 e 2025 dans la zone inondable TR 100 ans ...	45
Tableau 19. Bâtiments selon la profondeur d'inondation dans les dix localités les plus exposées à une crue de TR 100	50
Tableau 20. Surface au sol (m ²) des bâtiments exposés à une inondation locale, avec des RP de 5, 10 et 100 ans, dans le bassin de la Sirba, au Burkina Faso	50
Tableau 21. Surface des bâtiments exposée à l'inondation avec TR 5, 10 et 100 ans selon la profondeur d'inondation	54
Tableau 22. Bâtiments selon la profondeur d'inondation dans les dix localités les plus exposées à une crue de TR 100	54
Tableau 23. Vulnérabilité des bâtiments	54
Tableau 24. Mesures en place et potentielles	55
Tableau 25. Mesures en place et potentielles dans 9 localités	55
Tableau 26. Surface des bâtiments exposés à l'inondation dans les localités riveraines de la Faga, de Sirba et de Yali	56

Acronymes

AHA – Aménagement Hydro Agricole
AHP – Analytical Hierarchical Process
AICS – Agence Italienne pour la Coopération au Développement
ANAM – Agence Nationale de Météorologie du Burkina Faso
B – Bénéfices
C – Coûts
D – Dommages
DGRE – Direction Générale des Ressources en Eau
DRE – Direction des Ressources e Eau
DIATI – Département d'Ingénierie de l'Environnement, du Territoire et des Infrastructures
DIST – Département Interuniversitaire d'études, plan et politiques pour le Territoire
DMN – Direction de la Météorologie Nationale du Niger
EAH – Eau, Assainissement, Hygiène
ENVI – Environment for Visualizing Imagery
ERI – Évaluation du Risque d'Inondation
ESE – Élévation de la Surface de l'Eau simulée
ETH – Eidgenössische Technische Hochschule
€ – Euro
FAIR – Findable, Accessible, Interoperable, Reusable
FFOM – Forces Faiblesses Opportunités Menaces
GE – Google Earth
GEV – Valeurs extrêmes généralisées
H – Altitude moyenne du bassin
ha – hectare
K – Mil
MEFP – Ministère de l'Economie et des Finances
MEHA – Ministère de l'Environnement, de l'Hydraulique et de l'Assainissement
MNS – Modèle Numérique de Surface
MNT – Modèle Numérique du Terrain
NDWI – Normalized Difference Water Index
OCDE – Organisation de Coopération et de Développement Economiques
ORSEC – Organisation de la Réponse de Sécurité Civile
OSM – Open Street Map
QGIS – Quantum Geographic Information System
PRFI – Pays à Revenu Faible ou Intermédiaire
Q – Débit
Q GIS – Quantum GIS
R – Risque
RC – Rez-de-chaussée
SAP – Système d'Alerte Précoce
SCAP-RU – Système Communautaire d'Alerte Précoce et de Réponse aux Urgences
SFDRR – Sendai Framework for Disaster Risk Reduction
Smod – Surface inondée prédite
Sobs – Surface inondée observée
SRTM – Shuttle Radar Topographic Mission
TR – Temps de Retour
UTG – Unités de Traitement Géographique

Page blanche

En bref

Le long du cours moyen du fleuve Niger, en amont de Niamey

- La crue guinéenne avec un temps de retour de 10 ans est la plus dangereuse
- Onze localités, principalement insulaires, sont les plus exposées
- Les dégâts aux cultures, plus que les dégâts aux bâtiments, déterminent le niveau de risque
- L'alerte précoce, les barrages des AHA, l'accès à l'eau potable, l'assainissement et l'hygiène réduisent le risque
- Le traitement du risque est économiquement avantageux à Karma et à Namaro

Dans le bassin transfrontalier de la Sirba

- La crue centennale menace deux fois plus de bâtiments que la crue avec temps de retour de 5 ans
- La moitié des bâtiments exposés à une crue centennale sont concentrés dans dix localités
- Surélévation et matériaux durables permettraient de protéger 55 % des bâtiments exposés
- Un relogement serait nécessaire pour 18 % des bâtiments exposés à une crue centennale
- Les cartes peuvent être utilisées dans les plans communaux de sauvegarde et les plans ORSEC

Résumé analytique

Le fleuve Niger, en amont de Niamey, et la rivière Sirba, son principal affluent de rive droite, traversent une région semi-aride entre le Niger et le Burkina Faso. Ces dernières années, ce réseau hydrographique a connu des crues répétées, causant d'importants dégâts jusqu'à la ville de Niamey. Le fleuve a inondé une région densément peuplée et cultivée, essentielle à l'approvisionnement alimentaire de la capitale et à la subsistance des populations riveraines. À l'inverse, le bassin inférieur de la Sirba est une zone enclavée. Cette région est administrativement divisée en 12 municipalités : Bitinkondji, Gotheye, Karma, Kourteye, Namaro et Torodi au Niger ; Bartiéboungou, Boundoré, Kourou, Mansila, Sebba et Solhani au Burkina Faso.

Le long du cours moyen du Niger et dans le bassin inférieur de la Sirba, le suivi des débits du réseau fluvial demeure insuffisant pour permettre une alerte précoce aux crues. Cette évaluation du risque d'inondation (ERI) vise à identifier le niveau du risque et son traitement sur 68 km du fleuve Niger en amont de Niamey et sur 555 km du réseau hydrographique du bassin de la Sirba. La compréhension des zones inondables et des dommages potentiels selon différents scénarios d'inondation permettrait de créer un système d'alerte précoce fondé sur l'impact.

La principale innovation de cette ERI réside dans l'utilisation de données géospatiales à haute résolution et l'intégration de décisions prises par les communautés exposées aux inondations, ce qui permet une coproduction de connaissances rare en Afrique de l'Ouest et dans les pays à revenu faible ou intermédiaire. Une deuxième innovation consiste à avoir rendu l'accès à toutes les données et informations sur lesquelles repose l'ERI ouvert et gratuit, conformément aux recommandations de l'OCDE et aux principes FAIR.

Le rapport est divisé en deux parties : la première est consacrée au fleuve Niger, la seconde au bassin de la Sirba. Nous avons utilisé la modélisation hydrologique et un modèle numérique de surface à une résolution spatiale de 4 m, généré spécifiquement à partir d'images satellitaires PlanetScope, pour alimenter la modélisation hydraulique. Dans le bassin de Sirba, étant donné la faible différence entre les zones inondables avec TR 30 et 100 ans et l'extension significative de la zone inondable avec TR 10 ans, nous avons choisi les scénarios avec TR 5, 10 et 100 ans, alors que, le long du fleuve Niger, les TR 10, 30 et 100 ans ont été choisis. Dans les zones inondables modélisées, les bâtiments et les cultures ont été identifiés par photo-interprétation visuelle d'images à très haute résolution accessibles sur Google Earth, puis vérifiés sur le terrain à l'aide d'échantillons de bâtiments et de cultures irriguées. La valeur de remplacement a ensuite été estimée pour chaque catégorie de biens. Dans cette ERI, le risque est défini comme le produit de l'aléa et des dommages potentiels.

L'ERI souligne que, le long du fleuve Niger, le risque le plus élevé (en termes de probabilité de causer des dommages) est généré par la crue guinéenne, avec une période de retour de dix ans, par rapport aux crues à TR plus longues et aux crues locales. Ce risque est dû à la présence de vastes sites horticoles au moment de la crue (décembre-janvier) et à la durée moyenne de la crue, qui atteint 99% de son niveau maximal pendant un mois. Les dommages aux bâtiments contribuent moins au risque. Onze sites sont les plus exposés, situés principalement sur les îles fluviales en amont de la confluence de la rivière Sirba avec le fleuve Niger. Les mesures recommandées comprennent le renforcement et l'extension des digues à protection des aménagements hydro-agricoles, la mise en place d'un système d'alerte précoce, ainsi que l'accès à l'Eau potable, à l'Assainissement et à l'Hygiène (EAH). La construction de polders, la mise en place de batardeaux et la réinstallation des habitants et des sites maraîchers dans des zones sûres semblent actuellement irréalisables. Le traitement du risque est rentable à Karma et Namaro, mais pas à Gotheye et Kourteye.

Dans le bassin de la Sirba, l'estimation des dégâts causés par les inondations en termes monétaires n'est pas encore disponible. Cependant, nous savons que la surface des bâtiments exposée à une crue locale centennale est le double de celle des bâtiments le long du fleuve Niger exposés à une inondation du même type et de la même fréquence. La part de la surface bâtie exposée à une profondeur d'inondation TR100 supérieure à 2 m est de 27 %, tandis que celle exposée à moins d'un mètre s'établit à 40 % et celle entre 1 et 2 m est autour de 33 %. Cela implique un relogement limité des populations, en faveur de la surélévation du rez-de-chaussée et de l'utilisation de matériaux durables, qui permettraient de protéger 40 % de la surface exposée. Dix localités concentrent 56 % de la surface exposée à une crue centennale, principalement le long de la rivière Faga.

1. Introduction

Il y a dix ans, face à la fréquence croissante des catastrophes naturelles, les États membres des Nations Unies ont adopté le Cadre de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe 2015-2030 [1]. Ce cadre privilégie la compréhension des risques de catastrophe au niveau local grâce à des évaluations préventives menées en collaboration avec les communautés exposées [2]. Ainsi, les recommandations des organisations de base, des militants [3] et des scientifiques ont été intégrées à ses principes directeurs, soulignant l'urgence de l'action locale [4-5], de la participation [6-8] et de l'intégration des connaissances techniques et locales [9-10].

Au cours de la décennie suivante, le Bureau des Nations Unies pour la réduction des risques de catastrophe a publié des lignes directrices pour appuyer les évaluations préventives des risques. Parmi les résultats les plus visibles de ces efforts figure l'extension des évaluations des risques d'inondation (ERI) aux zones rurales des pays à revenu faible et intermédiaire (PRFI). Les ERI ont été élaborées selon trois principales méthodes. L'analyse de susceptibilité [11-14] était la méthode la plus couramment utilisée. Elle employait des indicateurs d'aléa et de vulnérabilité pondérés par l'Analytic Hierarchy Process (AHP), telle que définie par Saaty [15]. La modélisation hydraulique, basée sur les travaux de Büchele et al. [16] et d'Apel et al. [17] et pratiquée depuis le début des années 2010 [18-19], arrivait en deuxième position. Enfin, l'identification des zones inondables à partir d'observations de la Terre, fondée sur le travail fondateur de Brivio et al. [20] et appliquée ultérieurement dans divers contextes [21], était moins fréquente.

Ces évaluations étaient élaborées à partir de données géographiques imprécises et obsolètes [22-23], de données de terrain limitées [24], rarement dans le cadre d'un processus participatif, et conduisaient souvent à une surestimation des niveaux de risque [25]. Parallèlement, seul un nombre limité d'ERI abordaient l'évaluation des risques [26-27], et celles qui le faisaient se limitaient à des sites spécifiques [28-31] ou à des bassins versants [32-33]. Faute de prise en compte de ces limites, les ERI demeurent des outils imprécis et isolés, incapables de contribuer à la gestion des risques.

Cette ERI vise à remédier aux lacunes persistantes en matière d'identification des aléas, de participation et de stratégies de réduction des risques. Ce défi soulève une question fondamentale : comment les améliorations apportées aux ERI peuvent-elles optimiser la gestion des risques ? Pour y répondre, nous avons mené une évaluation participative à haute résolution le long d'un tronçon du fleuve Niger, en amont de Niamey et dans le bassin inférieur de la Sirba. L'évaluation porte sur deux mécanismes d'inondation distincts : les crues fluviales dans la plaine inondable du Niger et de la Sirba et les crues soudaines pluviales dans l'oued Karma, un sous-bassin versant du Niger. Dans cette zone rurale semi-aride densément peuplée, exposée à des inondations catastrophiques, l'information était rare et l'accès au terrain était limité par l'insécurité. Malgré ces limitations, nous avons émis l'hypothèse que la détermination du risque d'inondation par l'intégration de données géographiques à haute résolution et de connaissances locales, grâce à un processus participatif, était non seulement faisable, mais également essentielle à l'identification de mesures de réduction des risques viables. Dans les contextes ruraux des PRFI, l'originalité de cette étude réside dans la finesse de la géoinformation et sa intégration à des méthodes participatives à toutes les phases de l'ERI.

En collaboration avec neuf collectivités riveraines, nous identifions les menaces liées aux inondations, estimons les niveaux de risque par modélisation hydraulique des crues et vérifications de terrain, évaluons la contribution des affluents mineurs aux inondations des cultures, identifions les mesures de réduction des dommages attendus et estimons les coûts et les avantages associés. L'ensemble de ces étapes montre comment une ERI participative et détaillée peut améliorer la gestion des risques à l'échelle locale.

Zone d'étude

Cette évaluation des risques d'inondation couvre un tronçon du cours moyen du Niger, entre sa confluence avec le Dargol et la ville de Niamey, ainsi que le bassin inférieur de la Sirba, principal

affluent du Niger dans cette section. L'évaluation des risques le long de ce réseau hydrographique est importante en raison de la densité de peuplement, des cultures commerciales et de subsistance et parce qu'elle permet d'anticiper l'alerte d'inondation à la ville de Niamey. Le fleuve Niger connaît deux types d'inondations : une crue de saison sèche, provenant du Haut-Niger (Guinée, Mali), avec un pic en décembre-janvier, et une crue due aux précipitations locales, entre juillet et septembre, provoquée par l'apport de rivières et d'ouadis. La Sirba est la principale rivière tributaire du Moyen Niger. Le principal ouadi est le Karma. La rivière Sirba est alimentée par un vaste bassin transfrontalier entre le Niger et le Burkina Faso et ne connaît que des inondations locales. Elle résulte de la confluence de trois bras (Yali, Faga et Sirba) peu avant la frontière entre le Burkina Faso et le Niger. L'étude examine d'abord le fleuve Niger et l'ouadi Karma, puis le bassin inférieur de la rivière Sirba.

2. Le risque d'inondation le long du Moyen fleuve Niger en amont de Niamey

L'ERI a été menée dans une zone rurale de 450 km² s'étendant sur 58 km le long du fleuve Niger, en amont de Niamey. Sur la rive droite, six oueds et les rivières Dargol et Sirba se jettent de façon intermittente dans le fleuve Niger, tandis que la rive gauche présente un réseau hydrographique de onze oueds (Figure 1).

La région bénéficie d'un climat chaud et semi-aride, avec une saison des pluies de juin à septembre. Durant cette période, les affluents du bassin moyen peuvent provoquer des crues locales. À l'inverse, les précipitations dans le bassin supérieur du Niger entraînent la crue guinéenne [34], qui atteint la zone d'étude pendant la saison sèche, de novembre à février. Le territoire situé entre les deux routes nationales parallèles au fleuve Niger présente une densité de population de 160 habitants/km². Il comprend quatre villes rurales et 91 hameaux, dont 36 sont situés sur 13 îles. Administrativement, il relève des municipalités de Bitinkodji, Gothèye, Karma, Kourteye et Namaro. Les moyens de subsistance d'environ 72 000 habitants [35] sont assurés par l'horticulture, la riziculture dans des aménagements hydro-agricoles (AHA) et dans des champs traditionnels plus petits, le millet pluvial (*Pennisetum glaucum*), souvent cultivé en association avec le niébé (*Vigna unguiculata*) ou l'arachide (*Arachis hypogaea*), et l'élevage.

Compte tenu de ces conditions hydroclimatiques et territoriales, l'analyse a porté sur deux systèmes générateurs d'inondations distincts. Le premier est le fleuve Niger lui-même, pour lequel les inondations fluviales ont été évaluées le long de son cours principal et de sa plaine d'inondation. Sur le tronçon analysé, la largeur du chenal actif varie d'environ 0,6 à 3,5 km, les largeurs maximales se situant entre les confluences du Dargol et du Sirba. Dans ce secteur, le fleuve présente de multiples bras secondaires actifs et de nombreuses îles.

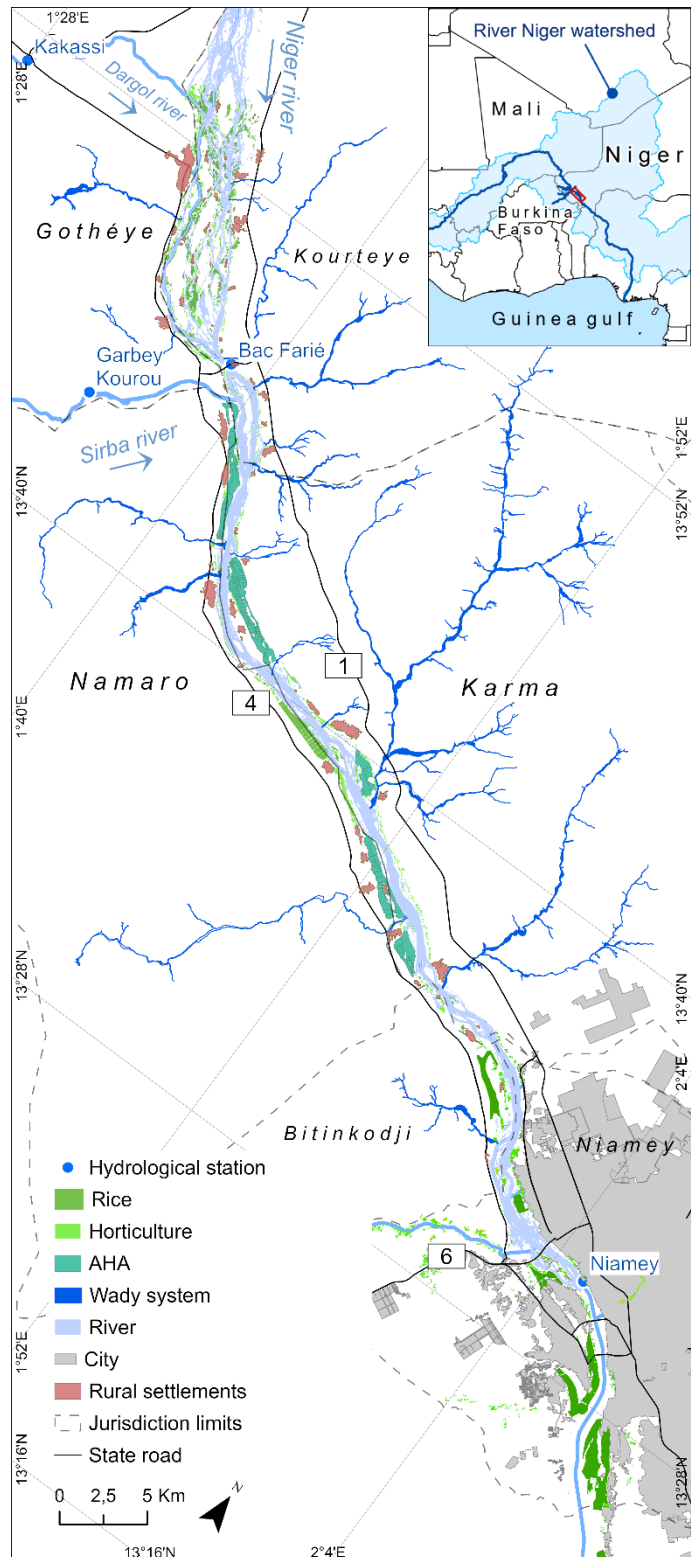


Figure 1. Zone d'étude.

En raison du régime hydrologique saisonnier décrit précédemment, l'analyse fluviale a pris en compte à la fois les crues locales générées pendant la saison des pluies et la crue guinéenne provenant du bassin supérieur pendant la saison sèche.

Le second système générateur d'inondations est l'oued Karma, situé sur la rive gauche. Bien que la zone de Karma soit déjà incluse dans l'évaluation plus large des inondations fluviales, l'oued a fait l'objet d'une analyse séparée pour les crues soudaines pluviales, car la communauté locale l'a identifié comme une source récurrente de dégâts pendant la saison des pluies. Ce phénomène affecte particulièrement l'AHA de Koutoukalé. Le bassin versant du oued Karma, considéré pour l'analyse pluviale, couvre environ 382 km², avec une longueur d'écoulement maximale d'environ 36 km, un facteur de forme de 0,295 et une pente moyenne du terrain d'environ 17 %. Ces caractéristiques morphométriques favorisent une concentration rapide du ruissellement lors d'épisodes de fortes pluies, ce qui rend le bassin pertinent pour l'analyse des crues soudaines.

2.1 Méthodologie

L'ERI comprend l'identification, l'analyse et l'évaluation des risques [36]. Le niveau de risque est exprimé en termes monétaires, comme le produit de l'aléa et des dommages potentiels (D) [29, 37-39]. L'analyse des risques associe l'hydrologie, la topographie, l'hydraulique et la modélisation des dommages. L'hydrologie définit la probabilité et l'ampleur des scénarios d'inondation analysés et fournit les hydrogrammes spécifiques au temps de retour (TR), utilisés comme conditions aux limites hydrauliques. La topographie fournit un modèle numérique de surface (MNS), qui sert de base spatiale à la modélisation hydraulique. Ce modèle transforme les données hydrologiques et topographiques en rasters de profondeur d'inondation maximale, à partir desquels l'étendue de l'inondation est calculée. Les D et le risque sont ensuite estimés à partir de ces données hydrauliques. L'évaluation des risques comprend l'identification participative des mesures de réduction des risques, l'estimation de leur impact potentiel et une analyse coûts-bénéfices utilisant une méthode quantitative [40] intégrant les connaissances locales et techniques [41] (Figure 2).

14

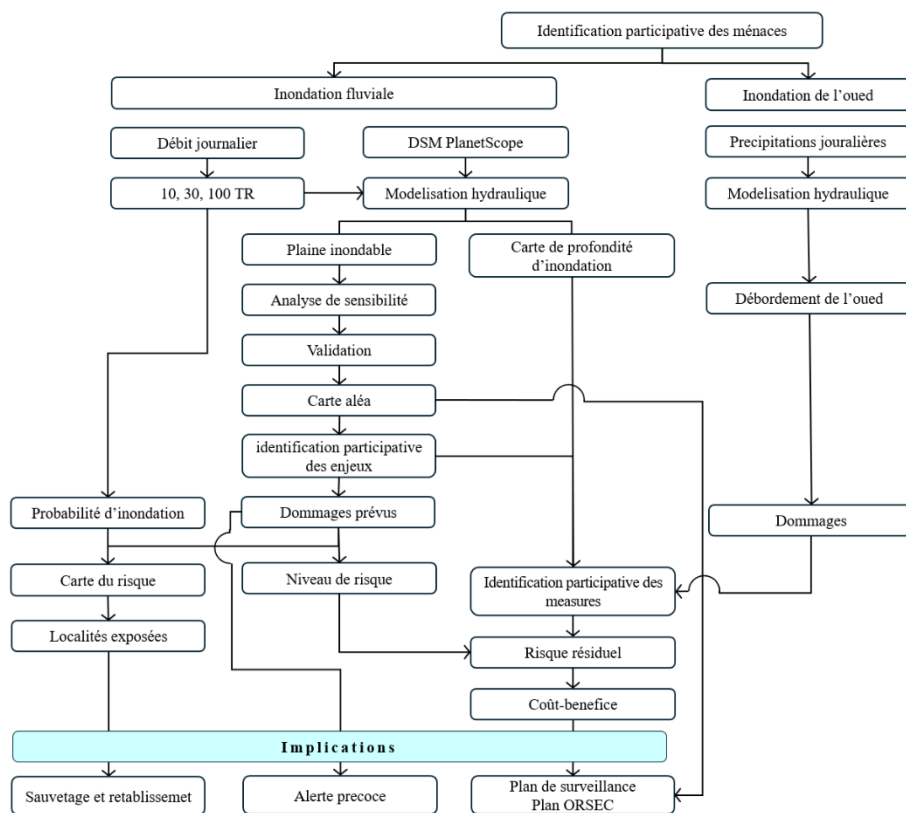


Figure 2. Diagramme de flux de la méthode.

2.1.1 Identification des risques

L'identification des risques a été menée les 30 et 31 octobre 2024 en présence des maires, des services de l'agriculture et de l'environnement, des systèmes d'alerte précoce et d'intervention d'urgence, ainsi que de représentants des agriculteurs, des éleveurs et des maraîchers des communes de Karma et de Namaro.

2.1.2 Analyse des risques

L'analyse des risques a été réalisée séparément pour les deux mécanismes de génération d'inondations identifiés dans la zone d'étude : les crues fluviales le long du fleuve Niger et les crues soudaines pluviales dans l'oued Karma. Pour les deux mécanismes, l'analyse a suivi la même séquence : estimation hydrologique des hydrogrammes spécifiques à chaque période de retour, simulation hydraulique bidimensionnelle de la propagation et de l'inondation, extraction des rasters de profondeur d'inondation maximale et des étendues d'inondation dérivées, estimation des dommages attendus aux biens exposés et calcul des niveaux de risque à l'aide de la probabilité associée à chaque TR.

2.1.2.1 Apports hydrologiques

Les apports hydrologiques ont été estimés séparément pour les scénarios fluviaux et pluviaux et ont servi à générer les hydrogrammes utilisés comme conditions d'entrée dans les modèles hydrauliques.

Risque fluvial. Afin d'analyser les crues extrêmes dans la zone d'étude, les observations hydrologiques des stations de Kakassi (fleuve Dargol), Garbey Kourou (fleuve Sirba) et Niamey (fleuve Niger) ont été traitées selon la méthode décrite par Tiepolo et al. [42]. La disponibilité temporelle des données de débit utilisées à chaque station est illustrée à la figure 3.

15

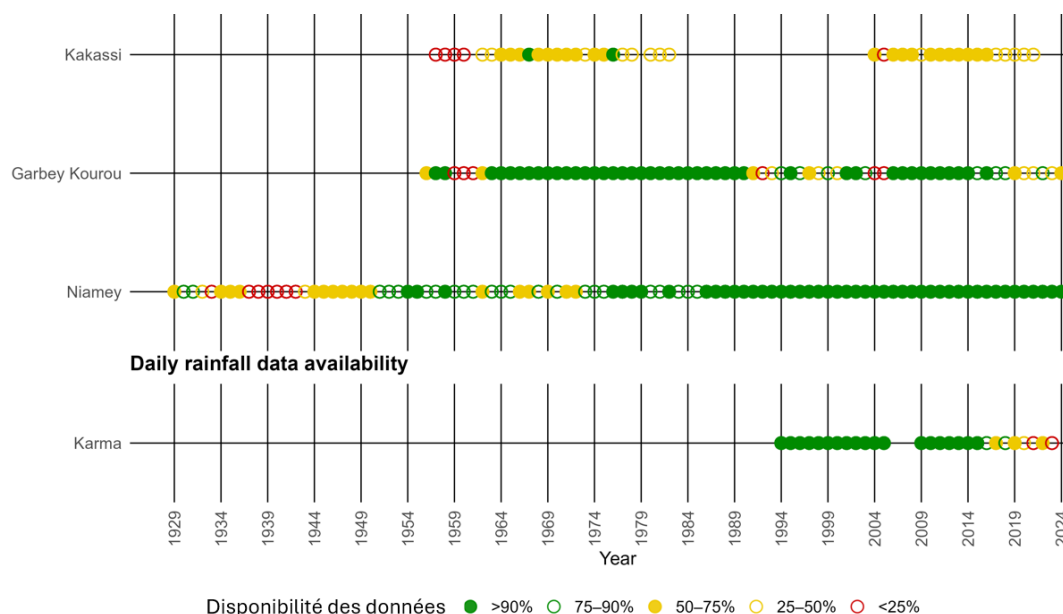


Figure 3. Disponibilité de données quotidiennes sur le débit des rivières et les précipitations journalières par station.

Les distributions de pics obtenues ont été ajustées à la distribution généralisée des valeurs extrêmes par la méthode des L-moments. Pour la station de Kakassi, dont les données sont limitées, la distribution de Garbey Kourou, pondérée par la surface du bassin versant, a été appliquée après confirmation de l'homogénéité entre les deux bassins – définie ici comme la présence de la même

distribution de fréquence locale, à un facteur d'échelle spécifique à chaque site – grâce au test proposé par Hoskings et Wallis, donnant les résultats suivants [43] : $H_1 = 0,03$, $H_2 = 0,02$, $H_3 = 0,58$. Les événements extrêmes pour cette station ont ensuite été calculés comme suit :

$$Q_{Kakassi}^T = Q_{Garbey Kourou}^T * \alpha \quad (1)$$

où $\alpha = A_{Dargol \text{ basin}} / A_{Sirba \text{ basin}} = 0.186$.

Le calcul des hydrogrammes a été réalisé séparément pour la période comprise entre juin et octobre et pour celle comprise entre novembre et mai, afin de tenir compte du comportement bimodal du fleuve Niger présenté à la section 2.1. Les hydrogrammes utilisés pour la simulation hydraulique ont été définis conformément au schéma de la Fig. 2 et à l'équation :

$$(2) \quad [Q]_{Niamey}^T(d+1) = Q_{Upstream}^T(d) + Q_{Kakassi}^T(d) + Q_{(Garbey Kourou)}^T(d)$$

où d représente un jour générique de la saison. À noter qu'un décalage temporel d'une journée a été pris en compte à Niamey afin de représenter le temps de propagation de la crue entre les sections amont et aval (cette valeur a été obtenue à partir de simulations préliminaires). En pratique, pour la crue guinéenne, l'hydrogramme à la section amont du tronçon du Niger est défini par :

$$(3) \quad Q_{Upstream}^T(d) = Q_{Niamey}^T(d+1) - (\alpha + 1) \cdot Q_{(Garbey Kourou)}^T(d)$$

Tandis que, pour la crue locale :

$$(4) \quad Q_{Upstream}^T(d) = Q_{Niamey}^T(d+1)$$

en considérant que $Q_{(Garbey Kourou)} \approx Q_{Kakassi} \approx 0$.

Les débits obtenus ont servi à construire les hydrogrammes d'apport imposés à la limite amont du fleuve Niger et aux limites des affluents Sirba et Dargol du modèle hydraulique fluvial (Figure 4a).

Risque pluvial. L'analyse des crues pluviales s'appuie sur les données pluviométriques journalières observées de 1994 à 2025 à la station de Karma (Figure 3). Contrairement à l'analyse fluviale, cette composante a nécessité une transformation pluie-débit pour estimer les apports générés par les fortes précipitations locales sur le bassin de l'oued Karma.

Les événements pluviométriques journaliers extrêmes ont été collectés à l'aide de la distribution métastatistique des valeurs extrêmes [44]. Les hyétogrammes horaires ont ensuite été calculés selon la méthode de Chicago, paramétrée pour refléter les événements pluviométriques locaux typiques. Les pertes par infiltration ont ensuite été représentées par la méthode de Horton avec des paramètres calibrés localement [45], et les hydrogrammes de ruissellement ont été calculés à l'aide de la méthode de l'hydrogramme unitaire instantané (Annexe 1-2). En raison de la topographie du bassin versant de l'oued Karma et de la localisation de l'AHA de Koutoukalé, l'analyse a été menée séparément pour les deux sous-bassins contributeurs des cours d'eau 1 et 2 (Figure 4b). Les mêmes TR que pour l'aléa fluvial ont

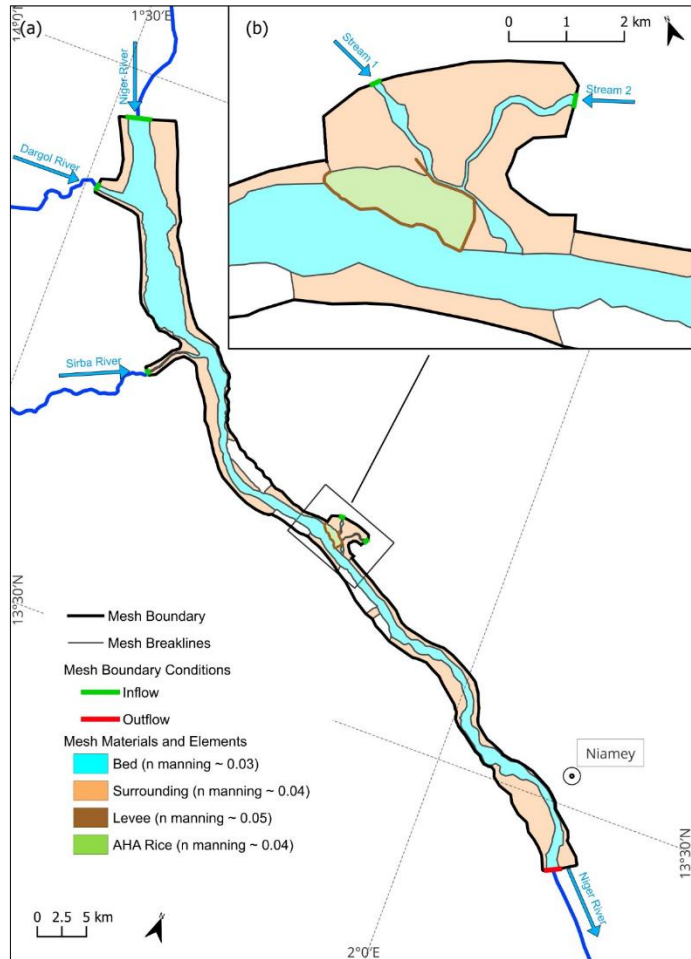


Figure 4. Maillage du modèle hydraulique (a) et le oued Karma qui menace l'AHA de Koutoukalé (b).

été retenus, conformément à un principe fondamental de l'analyse multirisque [46]. Les hydrogrammes de ruissellement obtenus ont servi de conditions aux limites d'entrée du modèle hydraulique pluvial pour chaque TR.

2.1.2.2 Données topographiques

Un MNS d'une résolution de 4 m a été utilisé comme principale donnée topographique pour les simulations hydrauliques. Ce MNS a été créé à partir de 13 paires d'images satellites PlanetScope acquises entre 2019 et 2021. Il est à noter que les images PlanetScope offrent une résolution spatiale de 3 m et une résolution spatiale au sol de 3 à 4 m, avec une couverture mondiale quotidienne. Le MNS a été créé à l'aide d'un processus séquentiel d'appariement d'images bistéréo, implémenté dans le module d'extraction de MNS d'ENVI. Ce processus comprenait l'estimation de l'altitude régionale à partir des métadonnées des images, l'introduction de points de contrôle au sol issus du MNT global de la mission SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), la génération de points de raccordement et d'images épipolaires, et le calcul des MNS stéréo [47]. Les MNS obtenus pour chaque paire stéréo ont ensuite été mosaïqués et moyennés afin de produire un modèle de surface continu à haute résolution spatiale couvrant les domaines du fleuve Niger et de l'oued Karma (Figure 5).

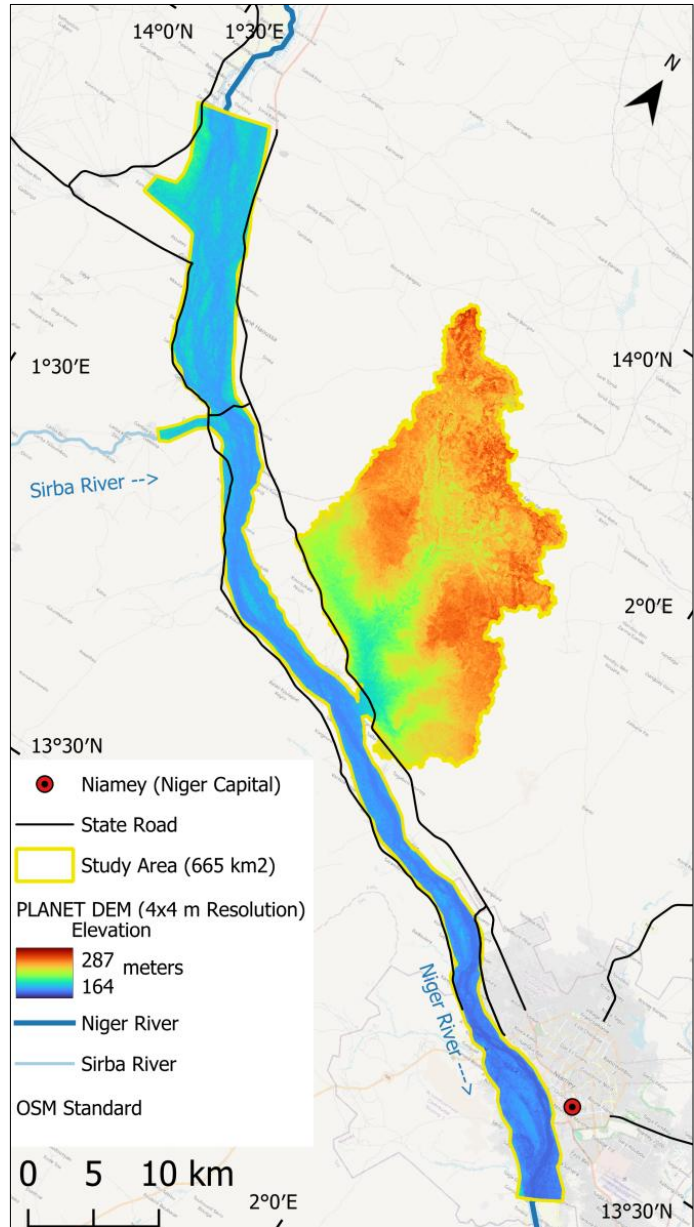


Figure 5. MNS dérivé de PlanetScope à une résolution de 4 m, créé au-dessus du fleuve Niger et du bassin de l'oued Karma.

2.1.2.3 Modélisation hydraulique

La modélisation hydraulique a permis de convertir les données hydrologiques et topographiques en rasters de profondeur maximale d'inondation afin d'estimer le niveau de risque.

Simulations hydrauliques 2D. Les scénarios d'aléas fluviaux et pluviaux ont été simulés à l'aide du solveur bidimensionnel instationnaire pour eaux peu profondes implémenté dans BASEMENT. Des domaines distincts ont été définis pour le fleuve Niger et l'oued Karma. Le domaine fluvial couvrait un tronçon d'environ 90 km du fleuve Niger, de sorte que les limites du modèle se situaient en dehors de la zone principale d'analyse des risques. Le domaine pluvial, quant à lui, couvrait l'oued Karma et sa confluence avec le fleuve Niger, en particulier la zone à haut risque de Koutoukalé. Chaque domaine a été discrétisé à l'aide d'un maillage triangulaire non structuré, défini par des lignes de rupture, des lignes de conditions aux limites et le MNS dérivé de PlanetScope. Les lignes de rupture délimitaient les domaines, contrôlaient la résolution locale du maillage et définissaient des zones de rugosité homogène. Dans le modèle fluvial, des hydrogrammes ont été imposés à la limite

amont du fleuve Niger et aux affluents Sirba et Dargol, avec une cote de surface libre fixe en aval. Dans le modèle pluvial, les hydrogrammes de ruissellement des deux bassins versants de l'oued Karma ont été imposés aux entrées des cours d'eau, tandis que les niveaux d'eau en aval provenaient d'une simulation distincte du fleuve Niger en conditions de débit moyen.

Le MNS a été utilisé pour interpoler les cotes du lit sur le maillage. En raison de l'utilisation d'un MNS plutôt que d'un MNT sur un terrain nu, la technique de correction du débit proposée par Choné et al. [48] a été appliquée aux simulations du fleuve Niger afin de pallier la représentation incomplète du lit submergé. Pour l'oued Karma, cette limitation était moins critique car le MNS a été produit pendant une période sèche et le milieu semi-aride présente une faible densité de végétation.

Les coefficients de rugosité de Manning ont été attribués en fonction des unités de surface cartographiées, avec $n = 0,04$ pour le chenal principal et $n = 0,05$ pour la plaine d'inondation largement dénudée. Lorsque le MNS ne représentait pas fidèlement la digue protégeant la zone de protection des berges de Koutoukalé, les cotes de crête ont été superposées directement au maillage. Les polygones non maillés ont été considérés comme des zones protégées par des digues à écoulement nul, à l'exception de la digue du ouadi, qui a été maillée explicitement afin d'évaluer les risques de submersion.

Des simulations ont été réalisées pour les scénarios de retour à la normale de RP 10, 30 et 100 ans, à l'aide de machines virtuelles hébergées dans le cloud. Les principaux résultats étaient les rasters de profondeur d'eau maximale et les zones inondées dérivées, exportés à une résolution de 4 m pour correspondre au MNS et traités dans QGIS pour la production de cartes et l'évaluation des dommages.

Analyse de sensibilité. Une analyse de sensibilité a été menée afin d'évaluer l'influence de l'incertitude verticale du MNS dérivé de PlanetScope sur les profondeurs d'eau simulées. En l'absence de repères topographiques haute résolution dans le tronçon du fleuve Niger, l'analyse a utilisé des données auxiliaires issues d'une étude antérieure [49] pour la localité de Touré, située le long de la rivière Sirba, à environ 34 km en amont de son confluent avec le Niger (Figure 6a). Le cours inférieur de la rivière Sirba présente les mêmes caractéristiques géomorphologiques et climatiques que la zone d'étude, et les deux zones sont couvertes par le même MNS dérivé de PlanetScope. Un MNS acquis par drone, d'une résolution horizontale de 0,08 m, était disponible pour un tronçon de rivière de 1,8 km à Touré et servait de jeu de données topographiques de référence. Treize profils en travers ont été tracés le long du tronçon témoin afin de comparer le MNS dérivé de PlanetScope avec celui acquis par drone et d'étayer l'analyse de sensibilité hydraulique (Figure 6b). Les deux MNS ont ensuite été utilisés indépendamment comme données topographiques dans des simulations hydrauliques 2D du tronçon témoin. Six débits, compris entre 500 et 1300 m³/s, ont été simulés afin d'évaluer l'influence des données topographiques sur les profondeurs d'eau résultantes.

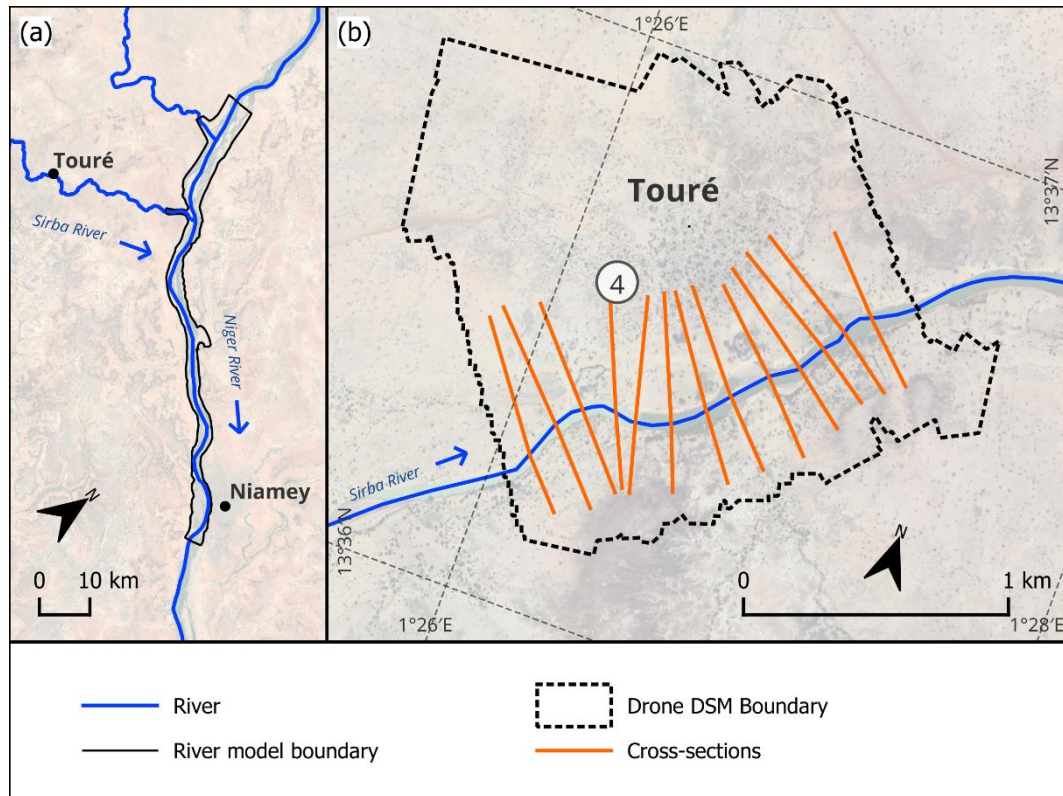


Figure 6. Site d'analyse de sensibilité. (a) Tronçon témoin de Touré le long de la rivière Sirba par rapport à la zone d'étude du fleuve Niger. (b) Étendue du MNS dérivé de drones et de profils en travers utilisés pour l'analyse de sensibilité WSE ; le profil en travers 4 est présenté sur la figure 7.

L'erreur résiduelle moyenne entre les simulations basées sur les MNS PlanetScope et drone a diminué de 0,35 m à $Q = 500 \text{ m}^3/\text{s}$ à 0,14 m à $Q = 1300 \text{ m}^3/\text{s}$, ce qui correspond à environ 5 % des profondeurs d'eau simulées dans les conditions de débit de référence. Les profils de terrain et l'élévation de la surface de l'eau simulée (ESE) pour des débits de $750 \text{ m}^3/\text{s}$ et $1200 \text{ m}^3/\text{s}$ ont été définis comme l'élévation de la surface libre de l'eau au-dessus du niveau de la mer, obtenue à partir des MNT dérivés de PlanetScope et de drone (Figure 7). Les pics locaux visibles sur les profils d'ESE sont des artefacts numériques liés à des discontinuités d'altitude abruptes dans le MNT, en particulier sur la surface dérivée de drone où les petits détails du terrain ou de la surface sont représentés avec plus de précision. Ces oscillations locales ne doivent donc pas être interprétées comme des variations physiquement significatives du niveau d'eau ; la comparaison porte sur la concordance globale entre les niveaux d'eau simulés obtenus à partir des deux sources topographiques. À titre de comparaison, un test indépendant de sensibilité à la rugosité a montré qu'une augmentation du coefficient de Manning (n) de 0,040 à 0,045 entraînait des variations de profondeur d'eau du même ordre de grandeur, soit environ 0,25 à 0,45 m. L'incertitude associée au MNS dérivé de PlanetScope est donc comparable à l'incertitude liée à la rugosité attendue dans la modélisation hydraulique 2D et n'introduit pas d'erreur disproportionnée dans les estimations de profondeur d'inondation utilisées pour l'analyse des risques.

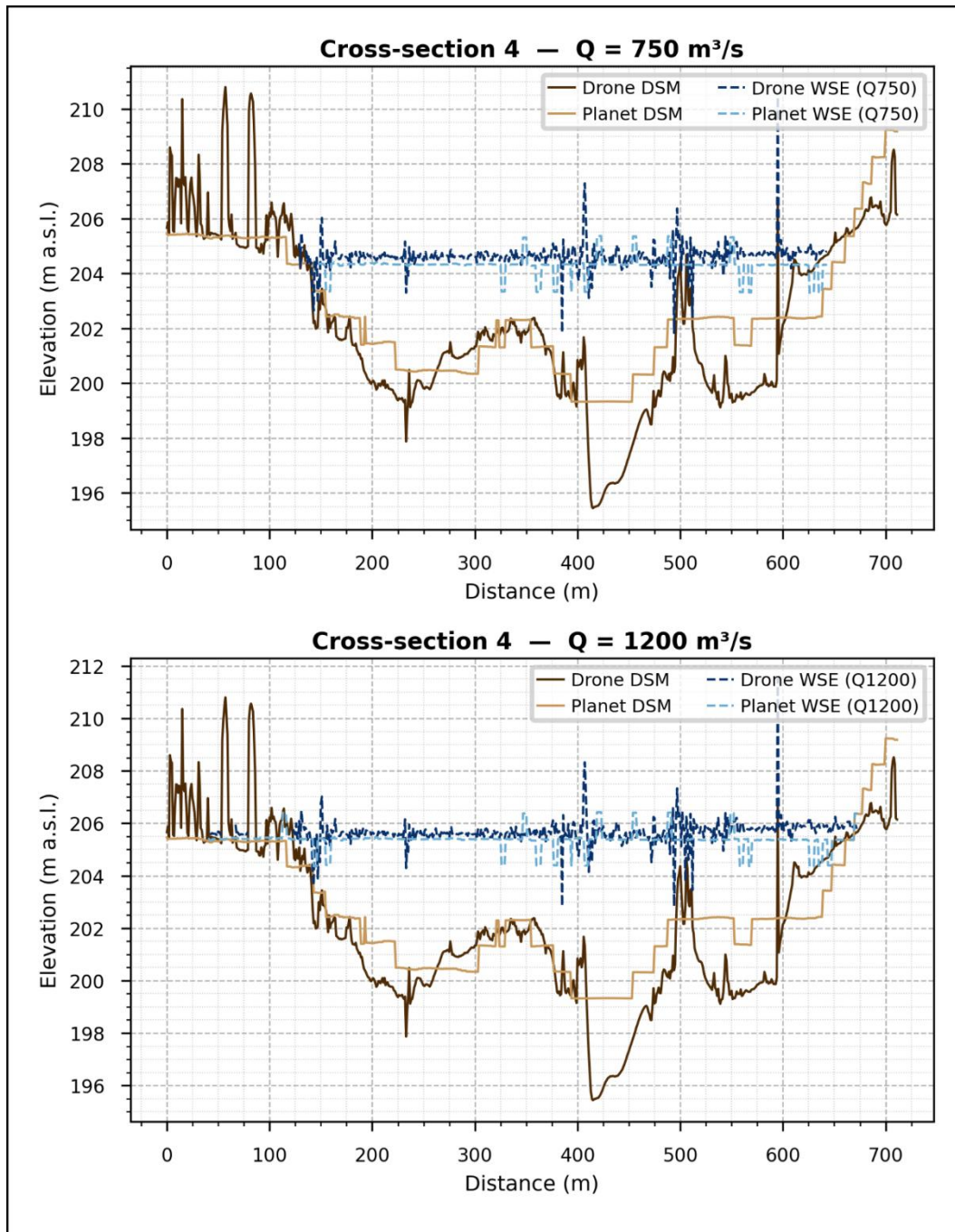


Figure 7. Profil du terrain et élévation simulée de la surface de l'eau (ESE) à la section transversale 8 en utilisant le DSM dérivé de Planet et le DSM dérivé du drone pour $Q=750 \text{ m}^3/\text{s}$ et $Q=1200 \text{ m}^3/\text{s}$.

Validation. La carte des aléas a été validée en comparant les limites des zones inondables des 20 août 2024 et 16 février 2025, extraites des images Sentinel-2 à l'aide de l'indice d'eau par différence normalisée modifié (NDWI), avec la surface inondée issue du modèle hydraulique. Ces dates correspondent aux pics de crue locaux et guinéens les plus récents. Pour chaque crue, la performance du modèle a été quantifiée à l'aide de l'indice suivant [50] :

$$F = (S_{\text{mod}} \cap S_{\text{sobs}}) / (S_{\text{mod}} \cup S_{\text{sobs}}) \times 100 \quad (5)$$

où S_{mod} représente la surface inondée prédite et S_{sobs} la surface inondée observée, dérivée des données satellitaires. Les valeurs de F varient de 0% à 100 %, indiquant le degré de concordance

spatiale entre l'inondation prédite et l'inondation observée. Dans cette étude, l'indice a varié de 55 % à 68 % selon la saison des crues.

2.1.2.4 Dommages attendus

Les dommages attendus (D) sont définis comme la valeur monétaire des biens matériels situés dans la zone touchée [51]. Les cultures et les bâtiments ont été identifiés par photo-interprétation visuelle d'images Google Earth. Les cultures ont ensuite été classées en fonction de la morphologie des parcelles et des pratiques culturales. Une vérification sur le terrain a été effectuée en février 2024, lorsque 24 parcelles ont été sélectionnées aléatoirement et inspectées par des agents de vulgarisation agricole (Figure 8).



Figure 8. Inspection de terrain sur les AHA de Karma (haut) et les rizières traditionnelles inondées à Gothèye (bas).

La fonction de dommage pour les rizières a été définie comme le nombre de jours de submersion par stade de croissance, l'impact variant selon la phase phénologique. Les D pour l'agriculture ont été calculés à partir du rendement moyen de chaque culture et des prix correspondants, tels que rapportés

par le Système d'information sur les marchés ruraux [42]. Pour les bâtiments, l'analyse a pris en compte l'emprise au sol, la profondeur de l'eau et la durée de l'inondation. Il est à noter que l'environnement bâti de la zone d'étude est caractérisé par des maisons en pisé de plain-pied, avec peu de structures construites en matériaux durables. Ces maisons en pisé sont dépourvues de seuils de porte. Par conséquent, les inondations prolongées dues aux crues guinéennes ont entraîné l'effondrement partiel ou total des bâtiments touchés. L'impact sur les bâtiments a été estimé à partir des valeurs de compensation stipulées dans des projets publics récents au Niger [42]. Les données relatives aux puits et forages géoréférencés proviennent du service statistique du Ministère de l'Environnement, de l'Hydraulique et de l'Assainissement.

2.1.2.5 Niveau de risque

Pour chaque collectivité locale, le niveau de risque a été calculé en multipliant la probabilité d'inondation par la valeur des biens exposés : (i) bâtiments, (ii) puits, (iii) rizières traditionnelles, (iv) cultures horticoles à mi-février 2025, et (v) céréales et (vi) légumineuses à mi-août 2024.

2.2.3 Évaluation des risques

Les 15 mesures de réduction des risques d'inondation les plus courantes [52-53] ont été évaluées au moyen d'une analyse FOMorces, Faiblesses, Opportunités et Menaces) et hiérarchisées le 12 septembre 2025 en concertation avec le maire, le responsable de l'AHA et les agents de vulgarisation agricole, d'eau et d'assainissement des collectivités de Gothèye, Karma, Kourteye et Namaro. Le nombre de mesures nécessaires pour réduire le risque d'inondation, ainsi que leurs coûts respectifs, ont ensuite été estimés. Ces données ont permis de déterminer le risque résiduel. Le rapport coût-bénéfice incluait les économies annuelles par habitant sur les dépenses de santé, telles que rapportées dans la littérature [54-56]. Un horizon de 10 ans a été adopté, correspondant à la durée de vie typique des mesures sans maintenance, réduite à 4 ans pour les structures en demi-lune [57]. Chaque mesure était considérée comme réalisable en un an. La valeur actuelle nette a donc été calculée à l'aide du taux d'actualisation légal de 5,5 % fixé par la Banque centrale des États de l'Afrique de l'Ouest pour le Niger [58]. Lorsque cette valeur est supérieure à un, la réduction du risque est jugée économiquement justifiée.

22

2.3. Résultats

2.3.1. Identification des risques

Il convient de noter que les récentes crues locales dans la zone d'étude ont présenté des débits et des niveaux d'eau supérieurs à ceux des crues d'origine guinéenne (Figure 9). Parmi les 17 oueds se jetant dans le fleuve Niger dans la section considérée, l'oued Karma est le plus important et celui qui menace le plus les cultures riveraines.

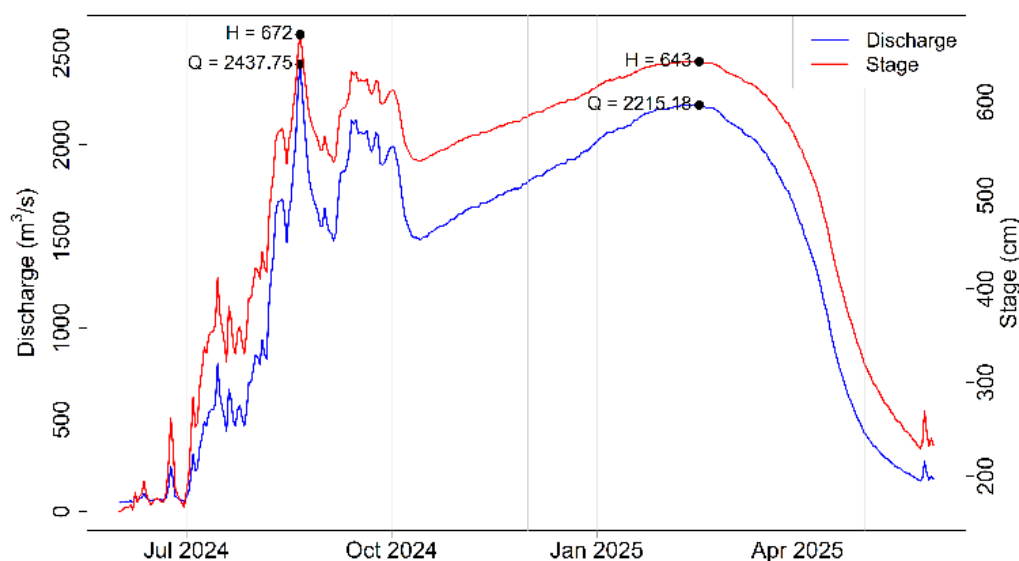


Figure 9. Hydrogramme du fleuve Niger obtenu à partir de la station de jaugeage de Niamey pour les années 2024 et 2025.

2.3.2 Analyse des risques

Le débit du fleuve à Niamey lors des crues locales, pour des périodes de retour de 10, 30 et 100 ans, a atteint respectivement 2 394, 2 637 et 2 858 m³/s, tandis que celui des crues guinéennes a atteint 2 179, 2 342 et 2 486 m³/s (Tableau 1).

Tableau 1. Débit du fleuve, période de retour et probabilité.

Type d'inondation	TR	Probabilité	Station			
			Niamey (Niger) m ³ /s	Garbey Kourou (Sirba) m ³ /s	Kakassi (Dargol) m ³ /s	Kanta (Karma) m ³ /s
Locale	Ans	%				
	10	10	2 394	1 084	202	
	30	3	2 634	1 319	246	
	100	1	2 858	1 592	297	1 070
Guinéenne	10	10	2 179			
	30	3	2 342			
	100	1	2 486			

La modélisation hydraulique numérique a indiqué que la superficie de la plaine inondable dans la zone d'étude variait de 119 à 128 km². Les deux types de crues ont présenté des comportements nettement différents. D'après les hydrogrammes moyens reconstitués, les crues locales ont persisté pendant environ 2 jours à 99 % du débit de pointe et 27 jours à 95 % du débit de pointe. En revanche, les crues guinéennes ont duré environ un mois à 99 % du débit de pointe et 53 jours à 95 % du débit de pointe. Le débit estimé du ouadi Karma, pour des TR de 10, 30 et 100 (correspondant à des précipitations journalières de 109 mm, 130 mm et 178 mm), est de 629, 930 et 1 070 m³/s pour le cours d'eau 1 et de 27, 39 et 45 m³/s pour le cours d'eau 2. Les précipitations journalières de 120 mm enregistrées en 2012 (TR 20 environ) ont provoqué l'inondation de la zone de santé publique de Koutoukalé.

Les crues locales survenant entre le confluent du Dargol et du Niger et Niamey pourraient inonder entre 616 et 814 ha de cultures irriguées, selon que la TR soit de 10 ou de 100 ans. La riziculture traditionnelle et l'horticulture représentent respectivement 59% et 39% de la superficie exposée. Les

patates douces, les courges, le maïs et le gombo représentent les 2% restants. Les inondations guinéennes pourraient submerger entre 827 et 896 ha de cultures irriguées, selon les mêmes TR. Le riz traditionnel demeure la culture la plus exposée, suivi de l'horticulture. Lors d'une inondation guinéenne d'une TR centennale, 40% des cultures et 30% des surfaces horticoles pourraient être submergées par plus de 2 m d'eau (Tableau 2).

Tableau 2. Cultures (m²) exposées au type d'inondation et à la profondeur d'inondation par municipalité.

Culture Commune	Locale TR 10 ans			Locale TR 30 ans			Locale TP 100 ans		
	Profondeur d'inondation			Profondeur d'inondation			Profondeur d'inondation		
	<1m	1<2m	>2m	<1m	1<2m	>2m	<1m	1<2m	>2m
Patate douce									
Gothèye	49 882	16 787	6 651	21 593	16 963	7 648	21 953	17 850	8 382
Kourteye		24 148	11 586	52 430	33 625	14 746	52 942	36 307	17 646
Pumpkins									
Karma	5 388	4 611	906	6 243	4 445	4 483	15	4 523	4 684
Riz traditionnel									
Gothèye	101 452	72 086	27 034	95 056	78 382	30 532	85 766	85 320	36 416
Karma	58 812	55 003	60 181	46 819	74 868	87 997	69 252	89 301	94 299
Kourteye	1 391 455	1 204 822	656 484	1 461 760	1 297 546	737 715	1 480 431	1 349 109	794 542
Horticulture									
Bitikondji	38 567	22 196	2 368	46 764	23 464	2 377	52 481	25 998	5 761
Gothèye	258 637	113 880	29 414	262 435	153 917	41 509	251 042	229 622	109 653
Karma	375 668	304 496	228 390	385 578	384 657	293 727	350 671	384 882	462 056
Kourteye	347 309	306 996	205 913	361 642	333 852	239 573	364 209	311 726	335 946
Namaro	60 726	43 385	48 767	57 059	51 802	65 179	59 062	61 942	87 360
Total				1 113 478	947 692	642 365	1 077 465	1 014 170	1 000 776

Culture Commune	Guinéenne TR 10 ans			Guinéenne TR 30 ans			Guinéenne TR 100 ans		
	Profondeur d'inondation			Profondeur d'inondation			Profondeur d'inondation		
	<1m	1<2m	>2m	<1m	1<2m	>2m	<1m	1<2m	>2m
Patate douce									
Gothèye	15 172	19 375	16 333	15 894	20 087	17 970	17 121	20 649	19 014
Kourteye	51 345	39 791	28 438	52 354	42 115	29 477	52 957	44 333	31 217
Pumpkins									
Karma	3 916	3 849	782	5 863	4 545	2 893	5 640	4 363	4 593
Riz traditionnel									
Gothèye	72 675	119 466	71 844	71 377	120 235	73 600	77 708	125 528	78 279
Karma	55 514	61 660	48 511	52 157	67 560	73 619	46 844	75 704	88 200
Kourteye	1 047 476	1 657 570	2 062 138	984 794	1 637 442	2 229 229	935 407	1 524 135	2 454 393
Horticulture									
Bitikondji	13 259	12 413	1 428	46 837	23 359	2 377	46 764	23 464	2 377
Gothèye	320 384	196 381	89 686	315 344	231 214	125 070	291 287	282 883	171 521
Karma	365 014	284 409	209 848	380 847	344 313	254 893	382 252	390 750	298 464
Kourteye	401 881	457 574	393 675	399 673	466 380	423 384	388 309	469 059	463 006
Namaro	60 646	43 336	48 481	60 045	44 841	53 986	56 413	53 534	66 145
Total				1 202 746	1 110 107	859 710	1 165 025	1 219 690	1 001 513

Ce même événement pourrait affecter 42 localités, mettant en danger une population totale de 42 831 personnes (Tableau 3, Figure 10).

Tableau 3. Population et bâtiments exposés à inondation guinéenne et locale avec TR de 10, 30 et 100 ans.

n. Localité	Com mune	P 2012	Latitude E	Longitude N	Bâtiments exposés à une inondation guinéenne avec un TR de						Bâtiments exposés à une inondation locale avec un TR de					
					10 ans		30 ans		100 ans		10 ans		30 ans		100 ans	
					n.	m ²	n.	m ²	n.	m ²	n.	m ²	n.	m ²	n.	m ²
01 Saga Fondo	Bi	3 865	1,960656	13,584104	0	0		0		0	0	0	0	0	17	516
46 Hondobon	Go	1 210	1,582033	13,8252	8	287	8	287	20	680	7	177	7	177	19	624
79 Gothèye	Go	7 512	1,56836667	13,85605	81	4 027	90	4 269	97	4 746	42	2 059	47	2 251	44	2 201
81 Marizan	Go	134	1,55968333	13,87721667	28	932	28	932	28	932	24	797	26	857	26	861
02 Balankole	Ka	544	1,77855	13,67151667	0	0	3	119	9	344	0	0	9	311	9	344
08 Karma	Ka	8 505	1,81506667	13,67208333	0	0		0	9	608	0	0	8	568	12	749
12 Koutoukale Kourtey	Ka	2 536	1,7275	13,6853	0	0		0	12	363	0	0	8	263	11	308
03 Bangawi Zarma	Ka		1,84815	13,65526667	0	0		0		0	0	0	0	0	10	322
47 Hondobon Goungou	Ko	459	1,58875	13,82406667	36	1 491	38	1 595	43	1 788	19	842	19	842	20	867
48 Kaley Gorla	Ko	90	1,60111667	13,80795	6	242	7	290	7	290	0	0	0	0	2	115
19 Banizoumbou	Ko	124	1,59563333	13,83691667	8	630	8	630	8	630	1	37	2	125	1	39
34 Bac Farié	Ko	632	1,6487	13,7875	4	229	4	229	4	229	4	229	4	229	13	619
37 Bougueydo	Ko	51	1,61423333	13,80601667	5	68	5	68			0	0	0	0	0	0
38 Damale	Ko	439	1,58935	13,85133333	59	2 250	59	2 250	61	2 301	31	1 287	31	1 287	32	1 233
40 Djokori	Ko	164	1,58555	13,84576667	21	670	21	670	21	670	12	267	12	267	12	267
41 Doumani	Ko	89	1,6084	13,82171667	8	197	8	197	11	338	0	0	0	0	0	0
42 Farie Goungou	Ko	149	1,6286	13,79716667	2	71	2	71	2	71	0	0	0	0	2	71
46 Goubia	Ko	318	1,535308	13,934706	24	888	24	888	25	930	0	0	0	0	0	0
50 Kassani	Ko	711	1,5547	13,88385	29	1 123	31	1 277	34	1 384	28	1 070	28	1 070	31	1 153
52 Kobadje	Ko	561	1,60716667	13,81063333	65	2 121	65	2 121	68	2 202	46	1 456	49	1 532	51	1 582
54 Koria Haoussa	Ko	1 511	1,69086667	13,76235	2	62	3	89	7	171	2	61	4	120	7	171
56 Korsile	Ko	252	1,61911667	13,81616667	95	3 371	95	3 371	95	3 527	13	529	70	2 463	70	2 463
57 Koulbagou	Ko	961	1,59145	13,86658333	49	1 664	49	1 664	49	1 664	0	0	0	0	0	0
59 Loutou	Ko	60	1,61455	13,81305	17	690	17	690	17	690	0	0	9	424	11	446
60 Melle Goungou	Ko	262	1,58135	13,87011667	90	2 527	90	2 527	91	2 545	19	668	19	668	21	683
62 Sansane Haoussa	Ko	3 202	1,60813333	13,84618333	72	3 202	73	3 229	76	3 395	0	0	10	467	17	787
64 Silboli	Ko	460	1,61486667	13,82631667	91	3 191	98	3 388	115	3 974	6	367	41	1 588	44	1 558
66 Sirfey	Ko	101	1,58445	13,85168333	23	872	23	872	23	872	23	729	23	729	23	728
67 Sokole	Ko	501	1,57408333	13,86405	47	1 415	58	1 811	20	1 228	12	848	13	877	13	400
68 Sokole Djabo Bon	Ko	99	1,57883333	13,85218333	7	259	7	259	8	299	2	99	2	99	5	168
70 Tabinta	Ko	186	1,59938333	13,84923333	15	468	15	468	15	468	10	307	10	307	10	307
71 Tasile	Ko	71	1,57921667	13,86241667	16	664	16	664	16	664	7	309	10	395	11	395
73 Tchirgni Koiria	Ko	35	1,59473333	13,85955	15	636	15	636	17	676	5	292	5	292	7	256
74 Tcholondi	Ko	441	1,59898333	13,81933333	51	2 190	51	2 190	54	2 336	47	1 941	47	1 941	47	1 941
86 Assani	Ko		1,5625991	13,8883721	78	2 767	78	2 797	78	2 208	35	1 124	35	1 238	35	1 294
88 Rural settlement	Ko		1,5827413	13,8326294	25	1 002	25	1 003	25	1 002	14	630	14	630	15	674
89 Rural settlement	Ko		1,5907909	13,8323882	48	1 945	48	1 945	48	1 945	29	1 228	29	1 228	31	1 328
90 Rural settlement	Ko		1,6008501	13,8346939	11	348	11	348	11	348	11	348	11	348	11	348
32 Yoreiza Koiria	Na	2 440	1,87148333	13,61231667	0	0		0	18	719	0	0	0	0	0	0
17 Balati	Na	2 424	1,81563333	13,65125	5	183	5	183	8	284	6	181	7	225	19	692
28 Namaro	Na	5 557	1,71438333	13,68396667	4	635	4	635	12	1 588	4	635	4	635	18	1 466
31 Kolley Sorkay Do	Na	40	1,86345	13,63088333	9	236	9	236	10	266	10	276	10	276	14	349
Total		42 831			1 154	43 553	1 191	44 898	1 272	49 375	469	18 793	623	24 729	741	28 325

Bi-Bitinkodji; Go-Gothèye; Ka-Karma; Ko-Kourtey; Na-Namaro; TP-Temps de Retour

Le scénario d'inondation guinéen menace une surface bâtie deux fois plus importante que lors d'une inondation locale.

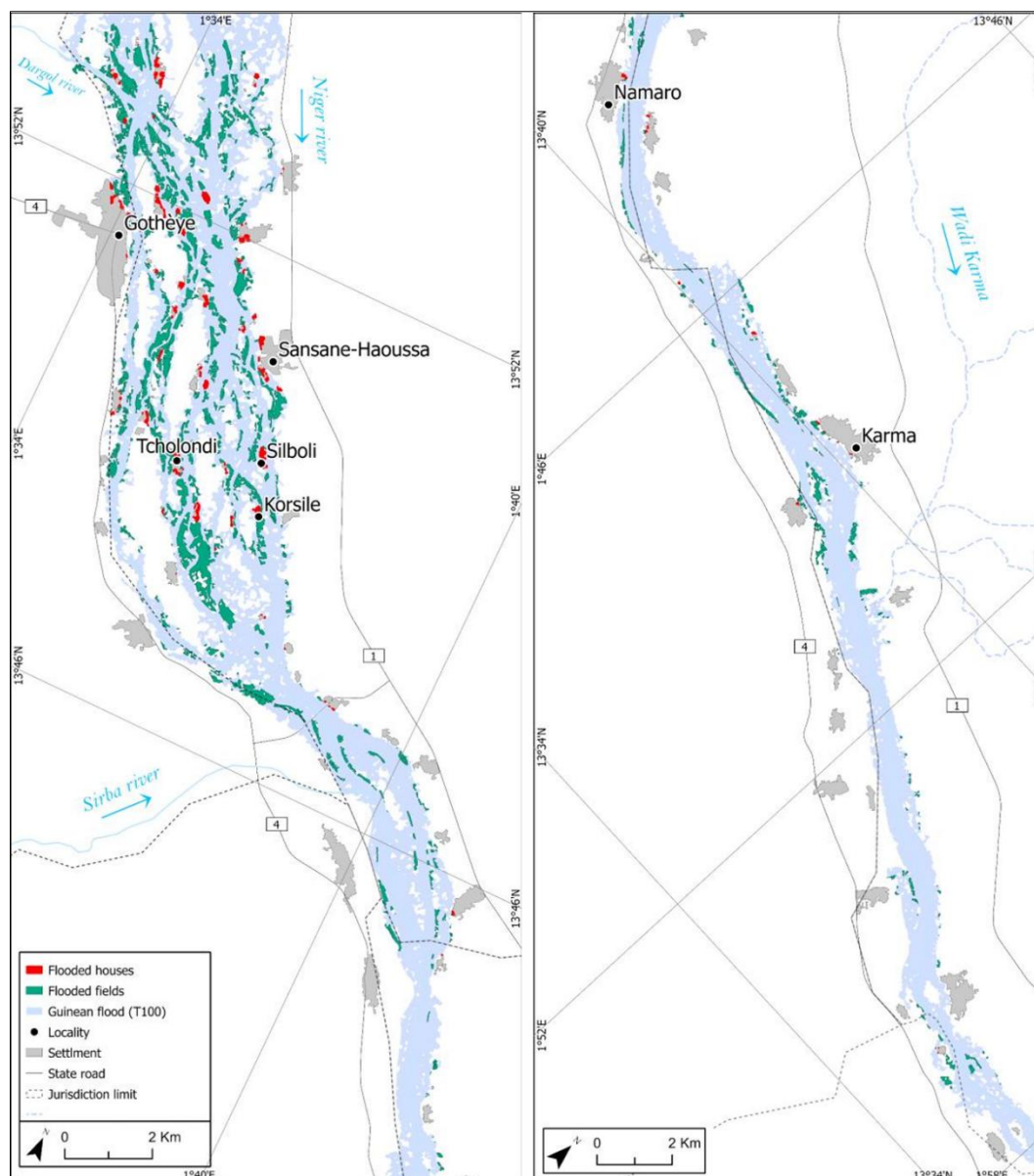


Figure 10. Carte d'exposition des inondations guinéennes avec TR 100 dans les secteurs de Gothèye (à gauche) et de Karma (à droite).

Lorsque l'on considère à la fois les terres agricoles et les bâtiments, les inondations guinéennes provoquent 30 % de dégâts supplémentaires par rapport aux inondations locales. Kourteye est la commune la plus touchée, représentant 51 % à 64 % des dégâts totaux, suivie de Karma (16 % à 28 %). Elle enregistre également la part la plus élevée de dégâts liés aux bâtiments, allant de 38 % à 48 % selon le scénario. Entre 57 % et 61 % de la surface bâtie exposée aux inondations est concentrée dans 10 localités. Korsile, Gothèye, Tcholondi et Sansane Haoussa sont les plus à risque en cas d'inondation guinéenne de niveau TR 100 ans. Gothèye, Silboli, Korsile et Kobadje sont les plus à risque en cas d'inondation locale de niveau TR 100 (Tableau 3, Figure 11). Entre 48 % et 63 % et entre 11 % et 22 % de l'empreinte seraient submergés dans des eaux de moins de 1 m et de plus de 2 m de profondeur, respectivement, selon le scénario (Tableau 4).

Tableau 4. Surface au sol du bâtiment (m²) exposée aux inondations, type et profondeur d'eau selon la municipalité.

Profondeur d'inondation	Commune	Type d'inondation et fréquence d'occurrence					
		Locale TR 10 ans	Guinéenne TR 10 ans	Locale TR 30 ans	Guinéenne TR 30 ans	Locale TR 100 ans	Guinéenne TR 100 ans
< 1m	Gothèye	707	2 000	839	2 189	1 243	2 290
	Karma			644	63	1 004	738
	Kourteye	8 807	17 922	11 208	20 198	15 717	21 305
	Namaro	962	932	600	932	1 184	671
	All	10 476	20 854	13 291	23 382	19 148	25 004
1 à 2m	Gothèye	268	770	268	835	283	930
	Karma			91	55	412	131
	Kourteye	3 518	12 491	5 457	13 452	5 728	14 514
	Namaro	51	50	489	50	1 176	571
		3 837	13 311	6 305	14 392	7 599	16 146
>2m	Gothèye	1 058	1 415	1 058	1 418	1 051	1 365
	Karma			253		320	229
	Kourteye	1 242	7 629	1 829	8 510	2 004	9 797
	Namaro					51	
		2 300	9 044	3 140	9 928	3 426	11 391
Tout profondeur	Gothèye	2 033	4 185	2 165	4 442	2 577	4 585
	Karma	0	0	988	118	1 736	1 098
	Kourteye	13 567	38 042	18 494	42 160	23 449	45 616
	Namaro	1 013	982	1 089	982	2 411	1 242
	All	16 613	43 209	22 736	47 702	30 173	52 541

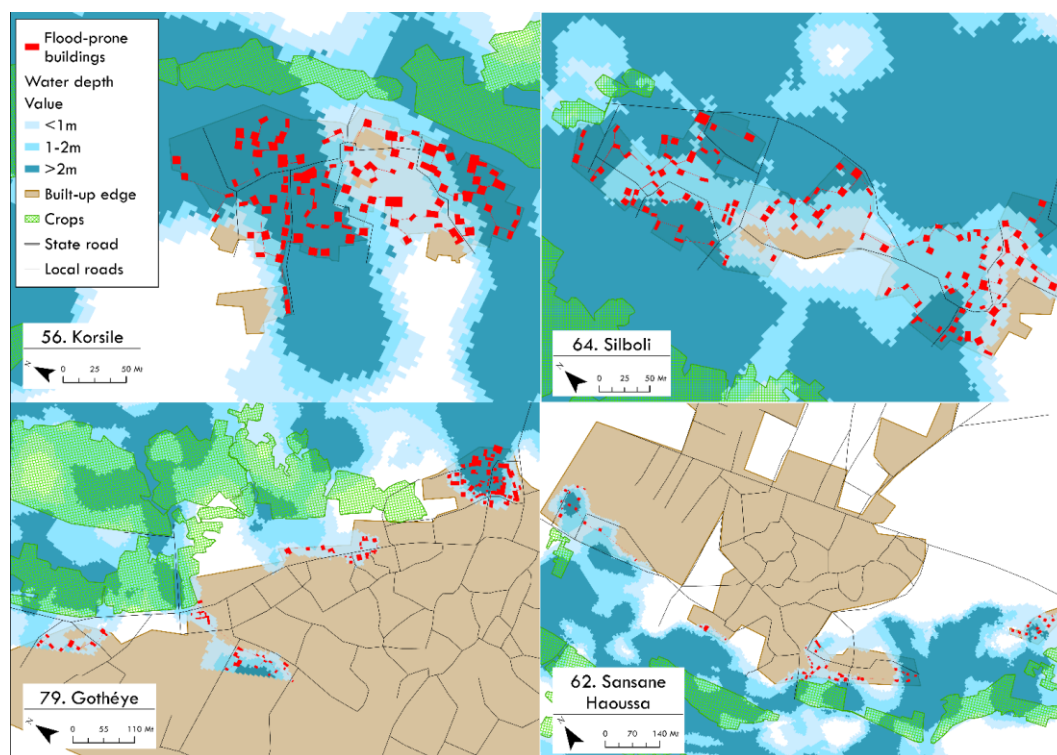


Figure 11. Bâtiments sensibles aux inondations guinéennes RP100 à Korsile, Namaro, Sansane Haoussa et Silboli.

Les inondations du ouadi Karma lors des années TR 10 et TR 30 submergeraient 140 à 146 ha des 197 ha de la zone AHA de Koutoukalé (Figure 11). La durée de la submersion et les sédiments transportés par l'eau entraîneraient la perte totale des cultures inondées.

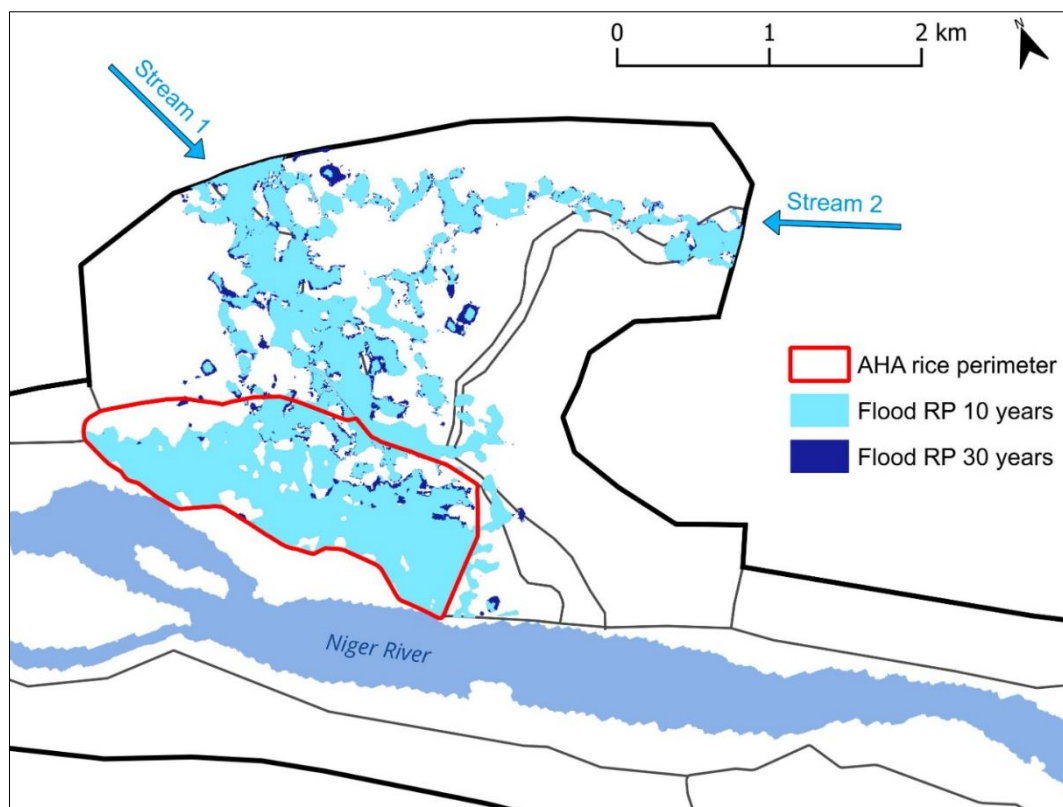


Figure 12. Inondations du ouadi Karma avec TR 10 et TR 30. Exposition de l’AHA de Koutoukalé aux crues du ouadi Karma avec TR 10 et TR 30.

28

L’inondation guinéenne RP 10 présente le risque le plus élevé (485 000 €). Kourteye enregistre le risque le plus important lié aux inondations guinéennes (312 000 €), suivi de Gothèye (73 000 €). Karma arrive en tête pour les inondations locales (119 000 €) (Tableau 5, Figure 12).

Tableau 5. Dommage (D) et Risque (R) d’inondation par commune et type d’inondation.

Type d’inondation	TR ans	Aléa	Bitinkodji		Gothèye		Karma		Kourteye		Namaro		Total	
			D	R	D	R	D	R	D	R	D	R	D	R
			K €	K €	K €	K €	K €	K €	K €	K €	K €	K €	K €	K €
Locale	10	0,1	50	5	460	46	1 190	119	1 709	171	164	16	3 573	357
	30	0,03	58	2	740	24	923	30	2 006	66	181	6	3 909	129
	100	0,01	67	1	600	6	1 375	14	2 139	21	375	4	4 560	46
Guinéenne	10	0,1	22	2	743	73	718	72	3 202	312	165	16	4 850	485
	30	0,03	58	2	751	27	826	32	3 261	113	165	6	5 062	169
	100	0,01	58	0	832	8	950	9	3 465	34	209	2	5 515	55

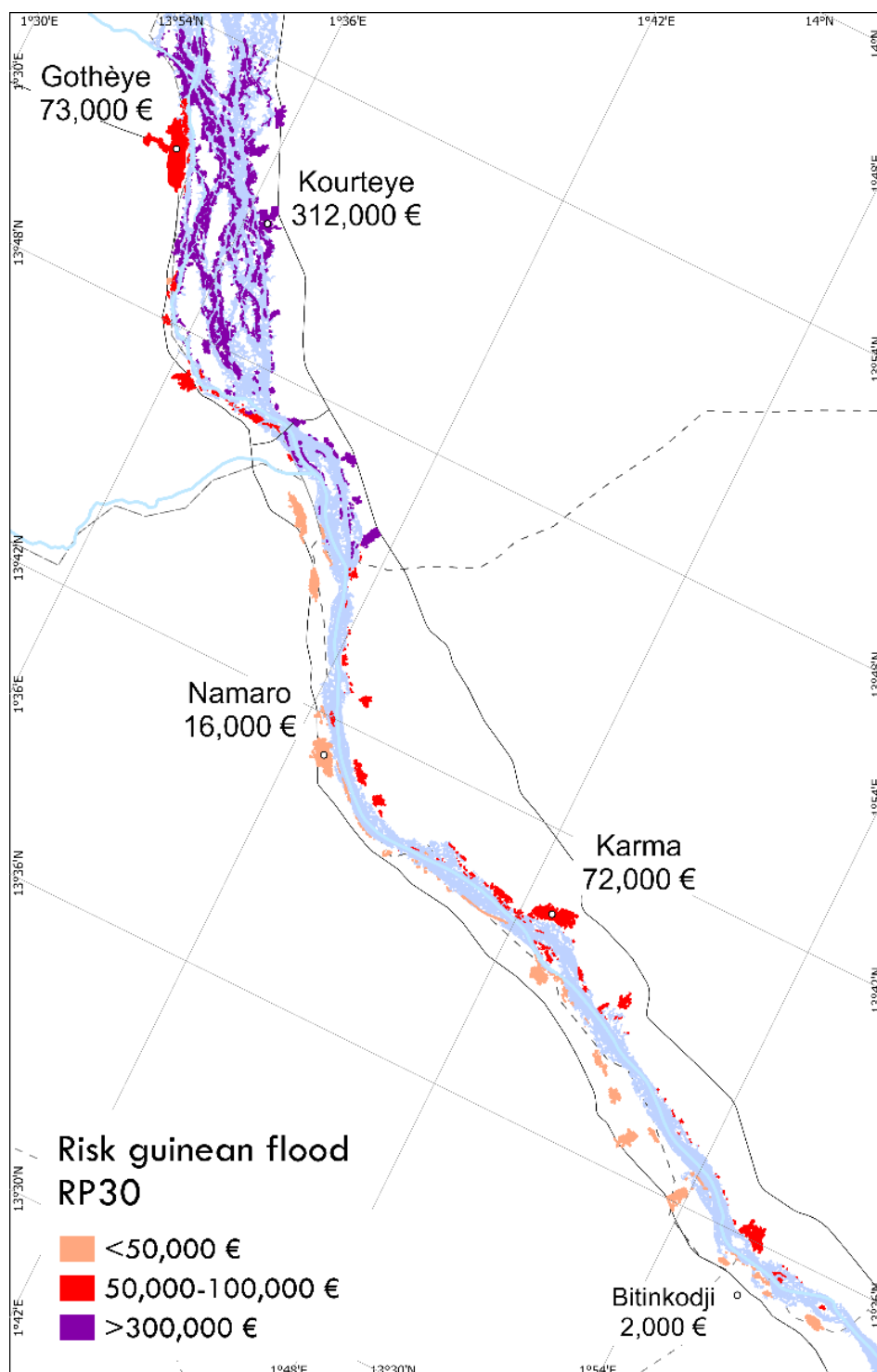


Figure 13. Risques associés à l'inondation guinéenne avec TR de 10 ans.

2.3.3 Évaluation des risques

Les mesures non structurales de réduction des risques comprennent les cartes d'aléas et d'exposition, le plan de sauvegarde communal et un système d'alerte précoce aux inondations. Les collectivités locales considèrent ces outils comme utiles, bien que les cartes ne soient pas applicables à l'échelle des communautés. Des opportunités de mise en œuvre peuvent se présenter grâce à l'aide au développement (Tableau 6).

Tableau 6. Analyse FFOM participative de 15 mesures de réduction des inondations

Mesure	Force	Faiblesse	Opportunité	Menace
Carte d'alea et des enjeux	4 Connaissance des zones inondables	3 Incompréhensible pour le public	Aide au développement	Production cartographique
		Manque de ressources		Validation de la carte
Plan de sauvegarde	Connaissance des mesures de prévention	2 Inutilisable par les villageois	Aide au développement	
		Manque de ressources		
		Difficile à comprendre		
Alerte précoce	2 Informer le public	2 Insuffisance des canaux d'information	SCAP/RU	
	2 Utilisable à tous les niveaux	Sensibilisation		
Signaux d'inondation	Connaissance de zone inondable	2 Sensibilisation	Aide au développement	
	2 Facile à comprendre	2 Destruction ou enlèvement	Appel à la diaspora	
		Pas facile à réaliser		
Échelle limnimétrique	Très efficace	Manque de ressources		
Batardeaux	3 Prévention efficace	2 Moyens de mobilisation de la main-d'œuvre		
	Facile à réaliser			
Sacs de sable	Mesure bien connue dans la région	2 Ephémère		
	Efficace	Entretien		
	2 Facile à réaliser	Disponibilité des sacs		
		Manque de ressources		
Latrine surélevée	Amélioration de l'hygiène domestique	2 Manque d'expertise	Aide au développement	
	Disponibilité des matériaux	Manque de ressources		
		Coût élevé		
Puits surélevé	4 Prévention efficace	2 Manque de ressources Difficile à réaliser par la population	Main-d'œuvre qualifiée	
Forage surélevé	Amélioration de l'hygiène	3 Manque d'expertise	Aide au développement	
	2 Efficace	Coût élevé		
Rez-de-chaussée surélevée	3 Prévention efficace	2 Pénurie de matériaux de construction		
	Facile à préparer	Coût élevé		
Polder	2 Efficace	2 Coût élevé		
Extension sur des terres non inondables	2 Maison protégée contre les futures inondations	2 Terrain indisponible		Refus des propriétaires fonciers
Réinstallation	3 Flood protection	3 Refus de quitter le site 2 Absence de trame d'accueil		Refus des propriétaires fonciers
Jardins déplacés vers un terrain plus élevé	2 Protection des cultures	2 Disponibilité des terrains		
		2 Sol impropre à la culture		
		2 Accès à l'eau		

Les mesures structurelles dépendent de la profondeur de l'eau. Les sites horticoles pourraient être déplacés sur des terrains plus élevés afin de les protéger des inondations guinéennes d'une durée d'un mois et entraînant une submersion de plus de 1 m de profondeur, à condition que le sol et l'irrigation soient adaptés. Les bâtiments susceptibles d'être inondés par des niveaux d'eau inférieurs à 0,5 m

lors d'inondations locales peuvent être protégés par des barrières d'entrée mobiles et des sacs de sable autour des murs en pisé. Les latrines, les puits et les forages devraient être surélevés. Cependant, ces mesures sont insuffisantes pour les inondations guinéennes d'une profondeur similaire en raison de leur durée prolongée. Dans de tels cas, et pour les inondations qui produisent des profondeurs d'inondation comprises entre 1 et 2 m, la construction de digues est recommandée. Les habitants des bâtiments exposés à des profondeurs d'eau supérieures à 2 m devraient être relogés. Une zone non inondable doit être définie pour chaque extension d'agglomération. Sur les îles, les terrains sûrs pour cette extension sont souvent rares, voire inexistants, sauf dans les zones déjà bâties (Figure 10).

L'AHA de Koutoukalé doit être protégée des crues de l'oued Karma par la gestion des eaux de ruissellement provenant des hautes terres, qui couvrent 35 % de la surface du bassin. Généralement, les zones dont la pente est inférieure à 5 % sont aménagées avec des digues trapézoïdales et des demi-lunes, mais seulement 692 ha ont été traités, dont 57 % en zones basses. L'utilisation de gabions est recommandée pour protéger les berges de l'oued bordant l'AHA contre l'érosion [53, 59] (Figures 14 et 15).



31

Figure 14. Oued Karma le 9 novembre 2025. Photographie d'Abdoul Samadou Souley Issa.



Figure 15. Point d'entrée de la crue éclair dans la réserve naturelle de Koutoukalé, sur la rive de l'oued Karma. Photographie d'Abdoul Samadou Souley Issa.

Ces mesures devraient être étendues aux hautes terres les plus proches de l'AHA, totalisant 5 204 ha et utilisant des digues trapézoïdales et des demi-lunes pour l'usage pastoral et forestier (Figure 16).

Les sacs de sable, la restauration et l'extension des digues de l'AHA, des gabions, des digues en demi-lune et des digues trapézoïdales dans le bassin versant de l'oued Karma, l'assainissement, l'hygiène, le système d'alerte précoce, la signalisation des crues et les différentes phases de gestion des crues sont prioritaires, tandis que la réinstallation des populations, le déplacement des cultures vers des terrains plus élevés, la création de polders et la construction de barrières anti-inondation à l'entrée du bassin sont moins prioritaires (Tableau 7).

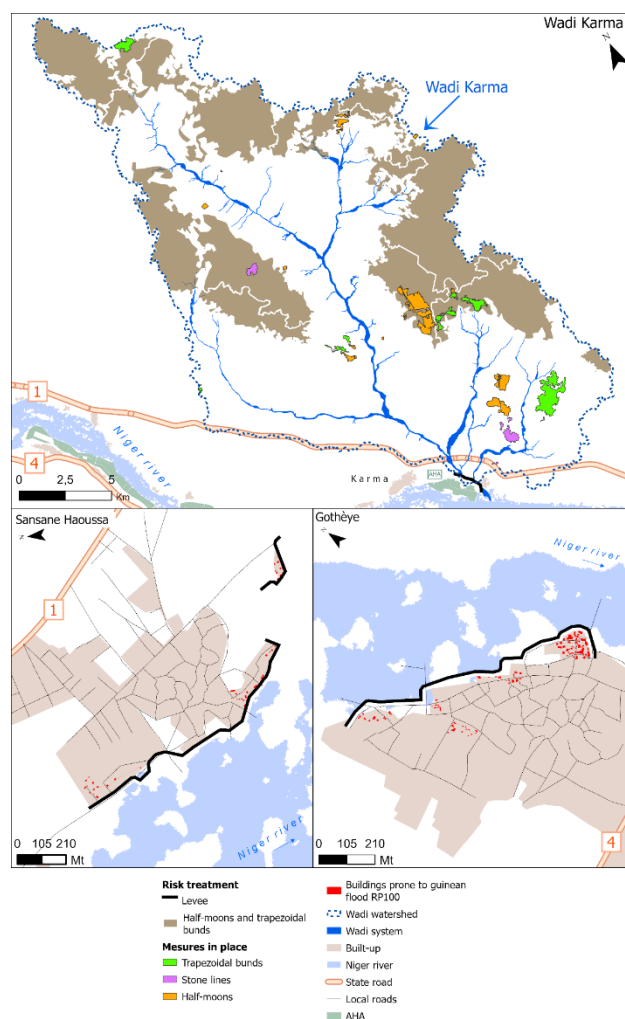


Figure 16. Mesures de réduction des risques pour Karma Wadi, Sansane Haoussa et Gothèye.

Tableau 7. Priorisation de 13 mesures locales.

Mesure	Critères de priorisation								Score 32 max
	Connaissance	Disponibilité de			Abordable	Entretien	Acceptation	Changement législatif	
		Main d'œuvre	Terre	Materiel					
Sacs de sable	4	4	4	4	4	3	4	4	31
EAH	3	3							
SAP	3	3	3	3	3	3	3	2	23
Signaux	3	3	2	2	2	2	3	3	20
Échelle limnimétrique	4	4	4				4	4	20
Carte aléa	3	2	3	1		3	3	2	18
Plan de sauvegarde	2	1	3	2	2	3	2	3	18
Polder hameau	2	2	1	2	3	3	3	2	18
Réinstallation	3	2	1	2		3	2	2	15
Extension sur site non inondable	3	2	1	2		3	2	2	14
Déplacement des cultures	2	1	1	1		2	2	2	11
Polder village	1	1	1	1		1	1	2	8
Batardeaux	1	1	1	1	1	1	1	1	8

Le traitement des crues locales de niveau TR 10 consiste à rehausser et à renforcer les digues existantes le long de l'AHA et à les étendre afin de protéger contre les débordements du fleuve Sirba et de l'oued Karma. Le traitement des inondations guinéennes comprend la protection des bâtiments exposés à des profondeurs d'eau allant jusqu'à 1 m à l'aide de sacs de sable et de digues, ainsi que le remplacement des latrines par des modèles surélevés et améliorés. Ces mesures visent à couvrir la moitié de la surface au sol des bâtiments exposés. Au-delà de la protection des bâtiments, ces interventions visent à préserver la santé publique lors des inondations, qui entraînent souvent des diarrhées, la fièvre typhoïde et des décès [60]. À Kourteye, le risque d'inondation de niveau TR 10 (guinéenne TR 10) devrait passer de 100 à 69 après les travaux de traitement. De même, à Namaro, le risque d'inondation de niveau TR 100 (guinéenne TR 100) pourrait être réduit à 63. Dans ces mêmes zones, le risque d'inondation local (TR 10 et TR 100) ne descend pas sous 75 (Tableau 8).

Tableau 8. Risque résiduel lié aux inondations locales et guinéennes TR 10 et TR 100.

Type et fréquence d'inondation	Risk (R) R Résiduel (RR)	Bitinkodji K €	Gothèye K €	Karma K €	Kourteye K €	Namaro K €	Total K €
Locale TR 10	R	5	47	119	230	17	417
	RR	5	42	119	191	12	371
	RR indice (R=100)	100	91	100	83	75	89
Locale TR 100	R	1	7	13	21	4	42
	RR	1	6	10	16	3	16
	RR indice (R=100)	100	89	76	75	76	86
Guinéenne TR 10	R	2	74	72	320	17	485
	RR	2	55	72	221	12	381
	RR indice (R=100)	100	74	100	69	75	78
Guinéenne TR 100	R	1	9	9	29	5	58
	RR	1	8	9	24	3	44
	RR indice (R=100)	100	87	100	82	63	80

33

Dans les zones inondables, le rehaussement et le renforcement des digues par un revêtement en pierre, leur extension, la protection de 600 m de la rive gauche du Wadi Karma par des gabions et l'aménagement des hautes terres du bassin du Karma par des digues en demi-lune et trapézoïdales engendrent des coûts (Annexe 3).

Les avantages comprennent la réduction des pertes de récoltes dues aux inondations et l'amélioration du rendement fourrager des hautes terres aménagées. Dans les zones habitées, les coûts incluent la protection des bâtiments par des sacs de sable et des digues, la signalisation dans les zones inondables, la mise en place de stations de surveillance du niveau du cours d'eau et le remplacement des latrines par des modèles surélevés et améliorés. Les avantages correspondants comprennent la protection des bâtiments exposés à des profondeurs d'eau allant jusqu'à 1 m et des économies annuelles sur les dépenses de santé pouvant atteindre 10 € par habitant [54-56]. La réduction des risques est économiquement justifiée à Karma et Namaro, mais pas à Gothèye et Kourteye (Tableau 9).

Tableau 9. Rapport coût-bénéfice du traitement des risques pour les inondations locales et guinéennes TR10 et TR 100.

Type et fréquence d'inondation	Lieu	Gothèye	Karma	Kourteye	Namaro
Locale TR 10	AHA	-	0,1	-	0,5
	Bâti	0,4	0	0,4	21,2
Local TR 100	AHA	-	0,1	-	0,5
	Bâti	0,4	32	0,6	19
Guinéenne TR 10	AHA	-	-	-	-
	Bâti	0,4	1,4	0,6	26
Guinéenne TR100	AHA	-	-	-	-
	Bâti	0,4	39,9	0,6	26

3. Risque d'inondation dans le bassin inférieur de la rivière Sirba

3.1 Présentation de la zone

L'étude du risque d'inondation pluviale dans le bassin transfrontalier du fleuve Sirba porte sur la partie terminale du bassin, en aval des stations de jaugeage de Sebba (sur le fleuve Yali), de Liptougou (sur le fleuve Faga) et de Bassieri (sur le fleuve Koloukou ou Sebba au Burkina Faso). Le réseau hydrographique étudié s'étend sur 555 km, dont 332 km au Burkina Faso et 223 km au Niger (Figure 17, Tableau 10).

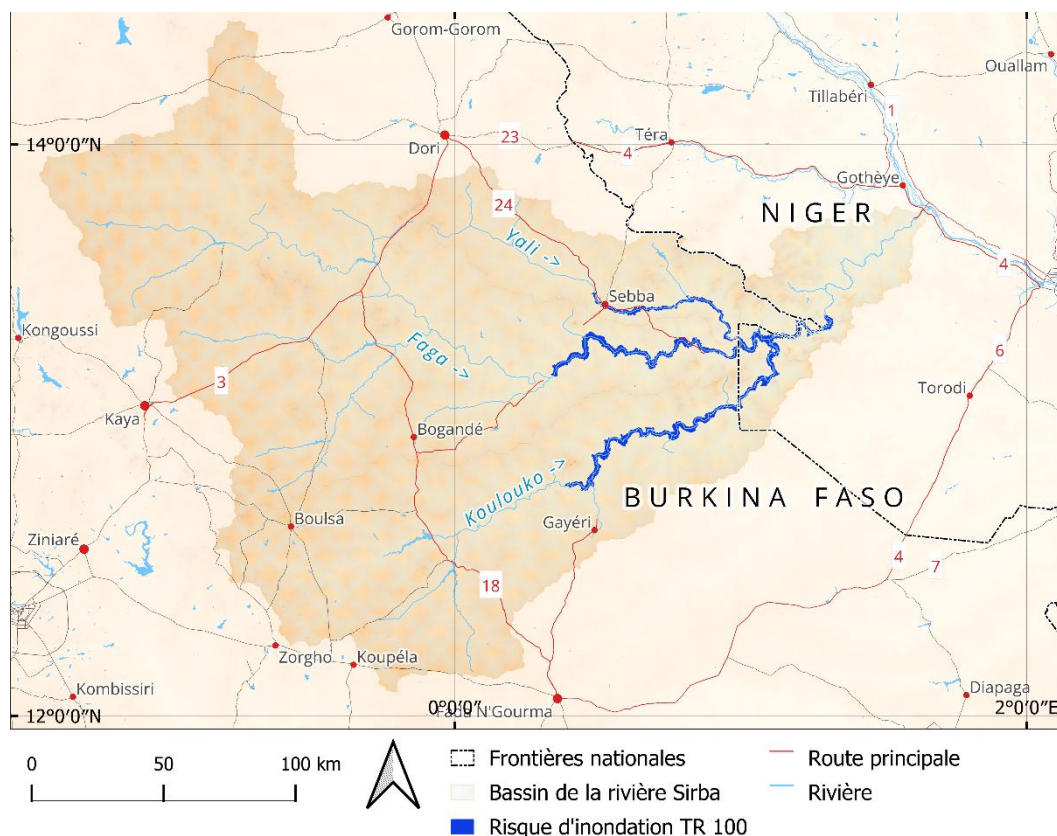


Figure 17. Le bassin versant de la rivière Sirba et le réseau hydrographique étudié.

Tableau 10. Extension du réseau fluvial envisagée.

Pays	Rivière	Extension km
Burkina Faso	Faga	115
	Kouloukou	136
	Yali	81
Niger	Faga	28
	Sirba	195
Total	-	555

Contrairement au fleuve Niger, le bassin de la rivière Sebba n'est exposé qu'à des crues locales entre juillet et septembre. La Sirba, quant à elle, présente un seul régime de crue, dont le pic se situe généralement en août et dure seulement un ou deux jours (à 99 % de son niveau maximal). L'étude présentée ici examine l'exposition des infrastructures à de crues, avec des TR de 5, 10 et 100 ans. L'estimation des dommages potentiels, et donc du risque, sera effectuée ultérieurement, sous réserve de la disponibilité des données de terrain.

Ce réseau hydrographique comprend un chef lieu communal (Sebba), cinq villages administratifs (Bossey Bangou, Larba Birno, Garbey Kourou, Tallé et Touré) et 200 hameaux. Les infrastructures concernées sont : forages/puits, greniers, habitations, latrines et cultures irriguées. Située dans une zone semi-aride, la présence d'eau est essentielle à l'agro-pastoralisme. Ce système fluvial est considéré comme la principale cause des crues locales qui inondent la ville de Niamey.

3.2 Méthodologie

3.2.1 Débit du réseau hydrographique

La cartographie des crues nécessite d'estimer la courbe de fréquence des crues (la relation entre l'amplitude et la fréquence des crues) sur plusieurs tronçons de cours d'eau. Dans les bassins non jaugés, les méthodes régionales, une catégorie de modèles statistiques exploitant la similarité des caractéristiques des bassins, permettent d'extrapoler les informations issues des stations jaugées. Nous avons utilisé cinq stations disposant de séries temporelles suffisamment complètes dans la zone étudiée, en tant que référence pour les tronçons d'intérêt.

Le réseau hydrographique étudié est couvert par les stations hydrographiques situées en amont de Sebba sur le fleuve Yali, à Liptougou sur la rivière Faga, à la station Bossey Bangou à l'embouchure du fleuve Sirba (affluent du Niger) et à la station Garbey Kourou près de la confluence de la rivière Sebba et du fleuve Niger. Parmi ces stations, seule Garbey Kourou dispose d'une longue série de relevés de débit journalier, généralement complète. Les autres stations présentent des séries très courtes (Bossey Bangou), incomplètes et datées (Liptougou). La série de la station Kakassi, sur le fleuve Dargol près de son confluent avec le Niger, choisie comme station de référence pour un bassin similaire à celui du fleuve Sirba dans la même région, est également discontinue, incomplète et non mise à jour (Figure 18).

35



Figure 18. Disponibilité des données annuelles sur le débit des cours d'eau dans le bassin de la Sirba et dans des bassins similaires de la région.

Les méthodes régionales sont largement utilisées en hydrologie, et de nombreux modèles ont été développés ces dernières décennies. L'approche la plus courante consiste à créer une région homogène, c'est-à-dire un groupe de stations partageant une même distribution de probabilité de crue, à un facteur d'échelle près [43]. L'hypothèse d'une région homogène a été testée de manière approfondie, mais ne peut être retenue pour la présente étude de cas, car les distributions locales

varient légèrement spatialement. Nous avons donc appliqué l'approche proposée par Laio et al. [83], qui suppose une variation continue de la distribution de probabilité de crue le long du réseau hydrographique, en fonction de la variabilité de certains descripteurs de bassin. En pratique, la fonction de fréquence des crues fournissant la valeur de crue de référence Q_T pour une période de retour T donnée est exprimée par l'équation :

$$Q_T = Q_{ind} \cdot K_T(\tau, \tau_3) \quad (1)$$

où Q_{ind} (crue de référence) est un facteur d'échelle, égal à la valeur moyenne de la distribution de fréquence des crues ; K_T est la fonction de croissance, c'est-à-dire la fonction de fréquence des crues sans dimension ; τ (L-variation) et τ_3 (L-asymétrie) décrivent la forme de la distribution selon la théorie des moments L [43]. L'idée sous-jacente à cette méthode est que Q_{ind} , τ et τ_3 peuvent être estimés par des modèles de régression fondés sur certaines caractéristiques géomorphologiques, utilisées comme variables indépendantes et calculables pour chaque sous-bassin. Plusieurs modèles de régression combinant deux ou trois descripteurs différents ont été testés, et ceux respectant les critères minimaux de qualité d'ajustement (significativité de chaque descripteur : p-valeur $\leq 0,05$; absence de multicolinéarité : $VIF \leq 10$; bon ajustement : $R^2 \text{ ajusté} \geq 0,80$) ont été sélectionnés. Finalement, nous avons constaté que Q_{ind} , τ et τ_3 peuvent être estimés à l'aide des équations présentées dans le tableau 11.

Tableau 11. Résumé des modèles régionaux de L-moments acceptés.

Variable prédite	Modèle de régression	Descripteurs
$\log(Q_{ind})$	$-18.95 \cdot \log(H) + 1.44 \cdot \log(\text{Soil})$	Area = superficie du bassin en km ² H = altitude moyenne du bassin en m au-dessus du niveau de la mer. Soil = pourcentage de la superficie du bassin couverte par le type de sol dominant [61]
τ	$(-5.314 \times 10^{-6}) \cdot \text{Area} - (0.0083) \cdot H + 0.17 \cdot \log(\text{Soil})$	
τ_3	$(-1.143 \times 10^{-5}) \cdot \text{Area} - 0.006 \cdot \text{Soil} + 2.92 \cdot \log(\text{Area})$	

Les modèles de régression du tableau 2 ont servi à estimer les paramètres des distributions GEV (Valeurs Extrêmes Généralisées) et de Gumbel ; on trouvera des détails sur l'estimation des paramètres de distribution à partir des L-moments dans [43]. La figure 18 présente les distributions de fréquence des crues dans les bassins jaugés, d'après des données in situ et des données régionales.

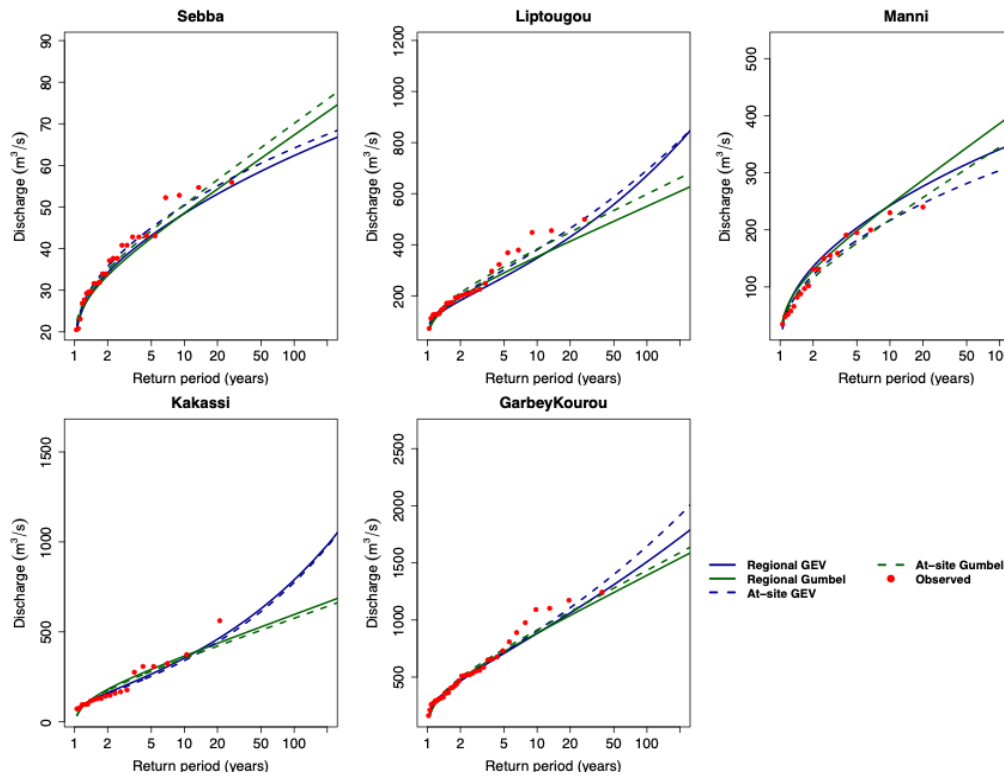


Figure 19. Modèles statistiques GEV et Gumbel ajustés avec des L-moments calculés à partir des données observées et des modèles régionaux.

3.2.2 MNS

Pour étayer ces estimations, un MNS à une résolution de 4 m a été créé à partir de 13 paires d'images satellitaires PlanetScope, acquises entre 2019 et 2021. Les images PlanetScope offrent une résolution spatiale de 3 m et une résolution spatiale au sol comprise entre 3 et 4 m, avec une couverture mondiale quotidienne. Le MNS a été créé grâce à un processus séquentiel d'appariement d'images bistéréo, implémenté dans le module d'extraction de MNT d'ENVI. Ce processus comprenait l'estimation de l'altitude régionale à partir des métadonnées des images, l'introduction de points de contrôle au sol issus du MNT global de la mission SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), la génération de points de raccordement et d'images épipolaires, et le calcul des MNT stéréo [84]. Enfin, les MNS obtenus pour chaque paire stéréo ont été mosaïqués et moyennés pour produire un modèle continu à haute résolution (Figure 19).

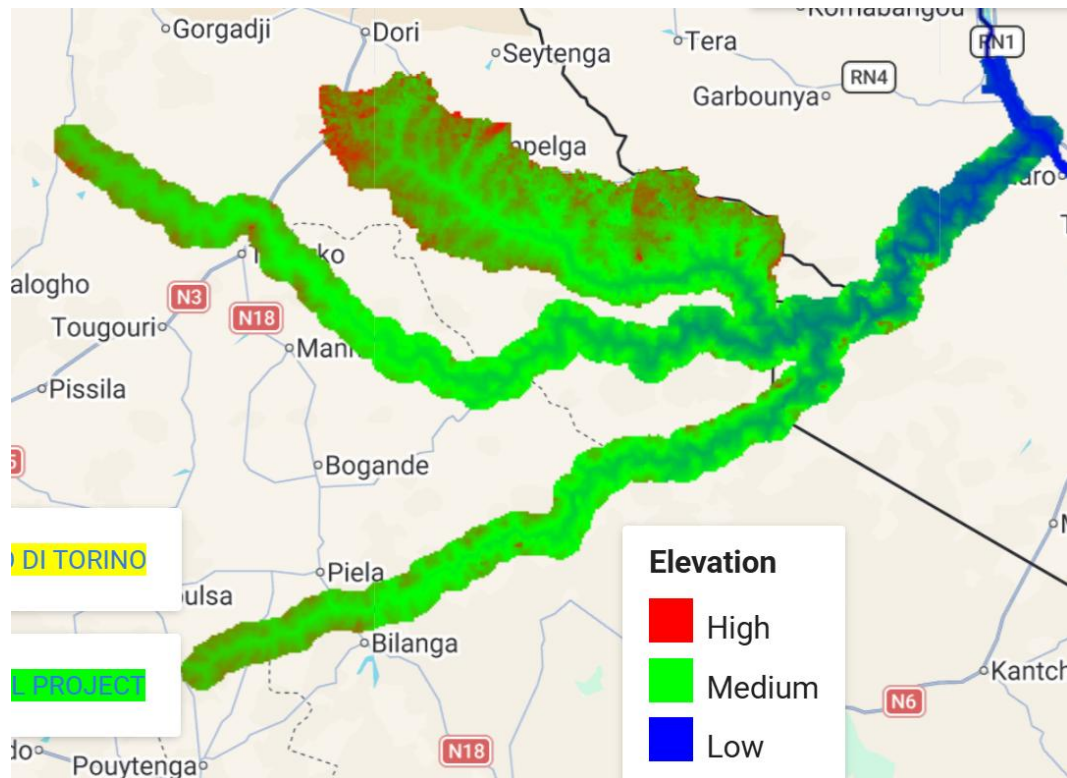


Figure 20. MNS des rivières étudiées dans le bassin transfrontalier de la Sirba.

3.2.3 Modélisation hydraulique

38

Trois scénarios de risque fluvial, avec des TR de 5, 10 et 100 ans, ont été simulés à l'aide d'une solution 2D instationnaire des équations des eaux peu profondes implémentée dans le moteur BASEMENT (ETH Zurich). Pour chaque scénario, un domaine de calcul dédié a été défini (Figures 21-22).

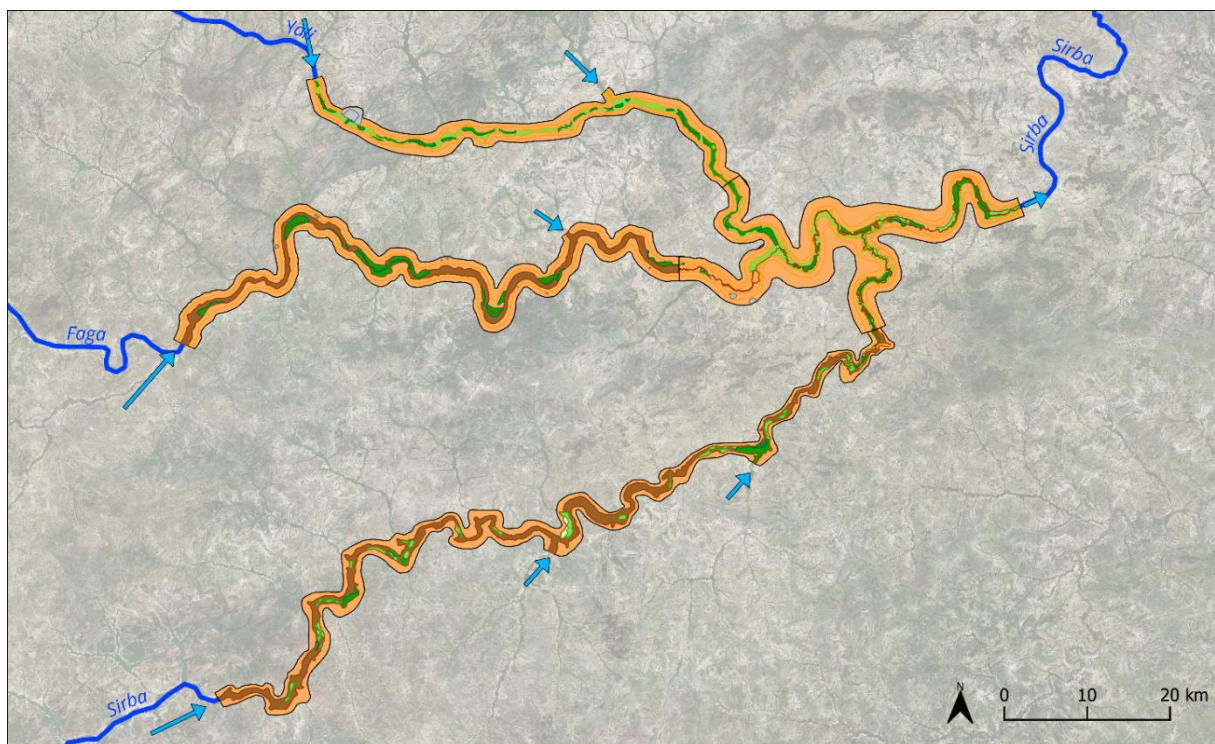


Figure 21. Domaine de calcul dans le bassin de la rivière Sirba au Burkina Faso.

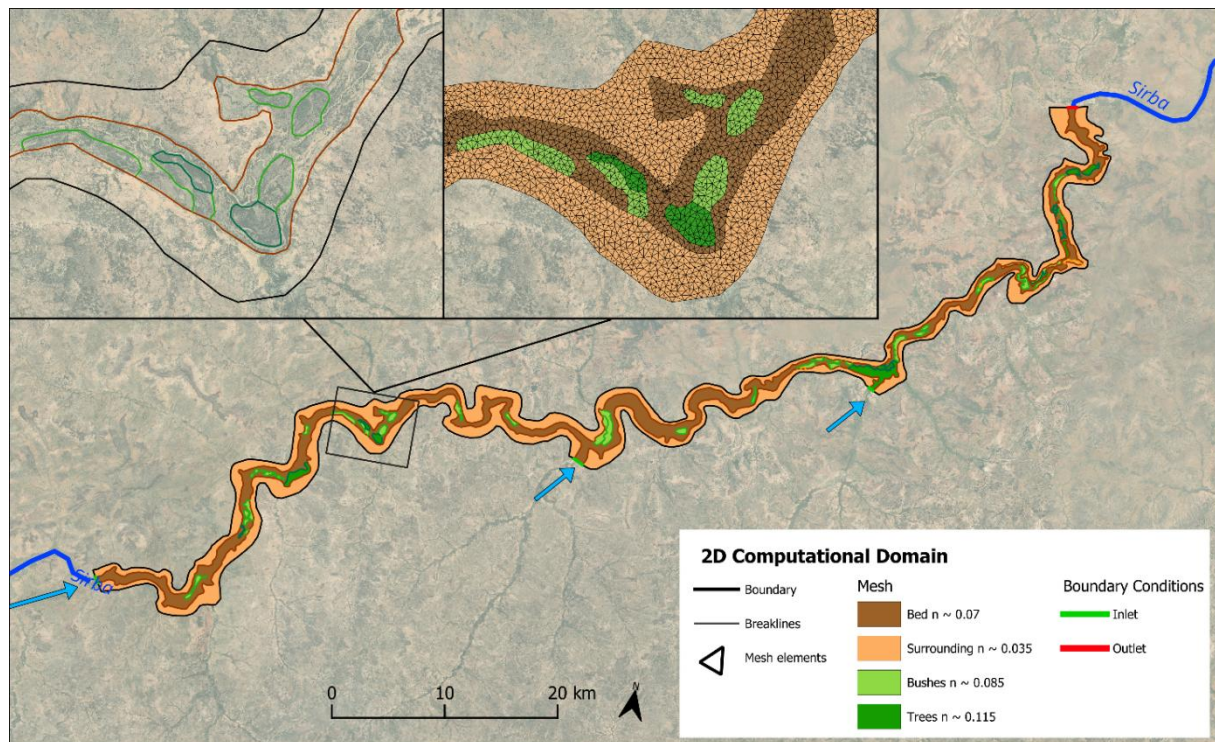


Figure 22. Maillage et domaine de calcul le long de la rivière Sirba au Burkina Faso.

Dans chaque domaine, des lignes de rupture délimitaient des zones de propriétés de surface homogènes et contrôlaient la résolution locale du maillage ; les sous-polygones résultants étaient ensuite tessellés en éléments triangulaires. Des lignes de conditions aux limites étaient définies le long de toutes les sections d'entrée et de sortie. Dans le cas fluvial, les hydrogrammes d'entrée étaient imposés aux rivières Faga, Koukoulu, Sirba et Yali, avec une cote de surface libre fixe à la limite aval. Dans le cas pluvial, les hydrogrammes d'entrée étaient attribués aux deux cours d'eau affluents, et l'écoulement vers le fleuve Niger était piloté par les niveaux d'eau issus d'une simulation distincte du Niger à débit moyen, garantissant ainsi un chenal principal pré-mouillé.

Chaque élément s'est vu attribuer : (i) des coefficients de rugosité de Manning spatialement variables suivant les unités d'occupation du sol, (ii) des cotes de fond issues de l'interpolation du MNS, et (iii) les conditions aux limites variables dans le temps. Les polygones intentionnellement laissés non maillés étaient traités comme des zones sans écoulement, protégées par des digues.

Les simulations ont été réalisées en résolvant les équations des eaux peu profondes sur tous les éléments du maillage. BASEMENT prend en charge la parallélisation basée sur les unités de traitement graphique (UTG), et des machines virtuelles dans le cloud ont été utilisées pour répondre aux exigences matérielles. Les résultats du modèle (profondeur, étendue et vitesse de l'eau) ont été exportés dans QGIS pour le post-traitement et la cartographie (Figures 23-24).

353

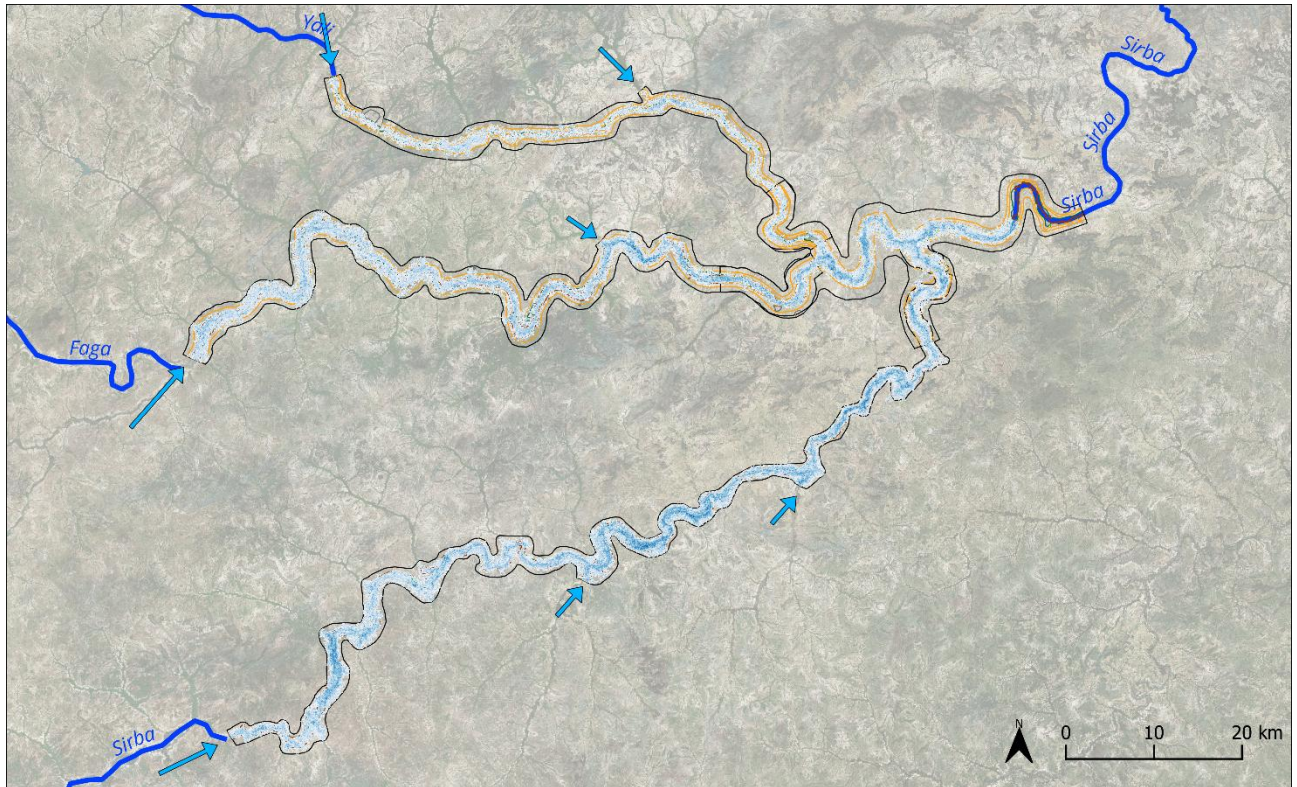


Figure 23. Profondeur d'inondation TR 100 des rivières Yali, Faga et Sirba.

40

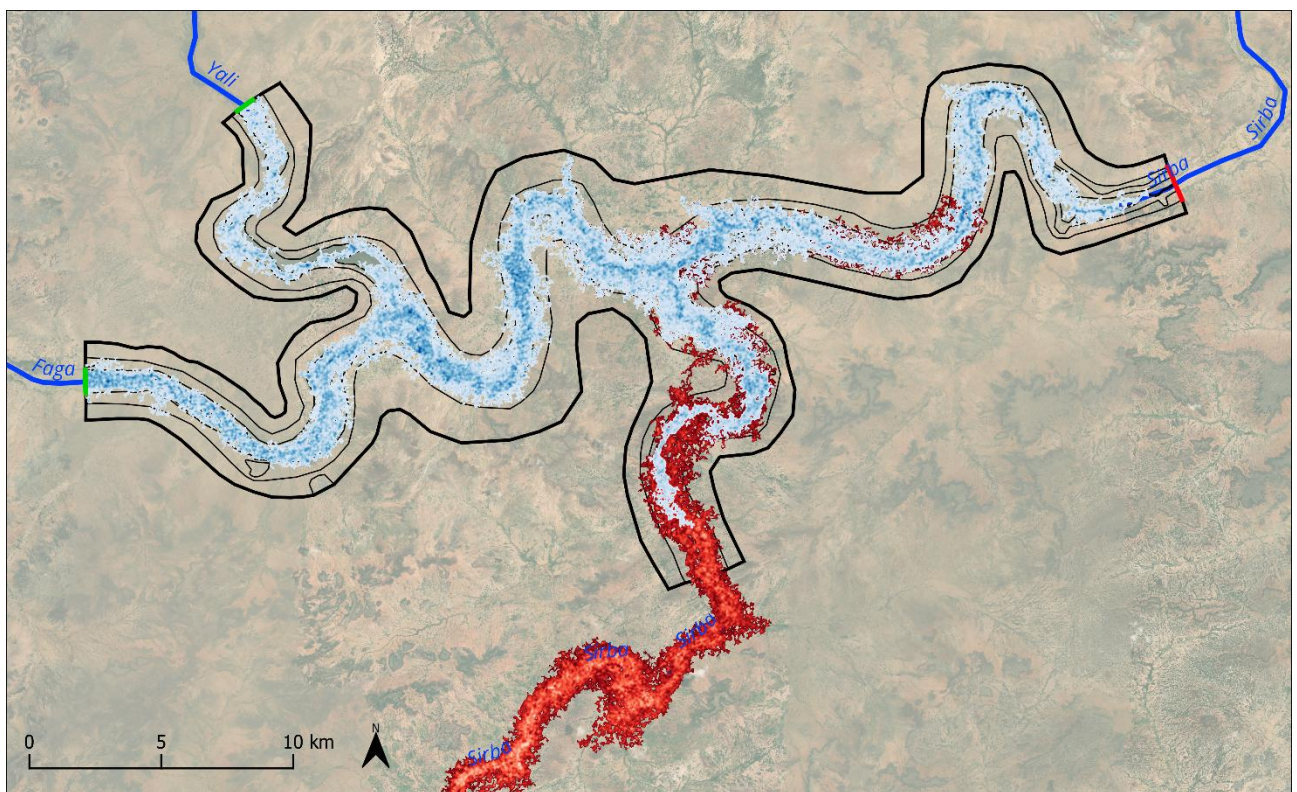


Figure 24. Profondeur d'inondation TR100 à la confluence des rivières Yali, Faga et Sirba En rouge figure la contribution de la rivière Sirba

Les données de terrain proviennent d'un MNS dérivé de PlanetScope. Les coefficients de Manning ont été calculés à partir de l'analyse de l'occupation du sol de cet environnement semi-aride :

$n = 0,030$ pour le chenal principal et $n = 0,040$ pour la plaine inondable, largement dénudée ou en jachère, où la végétation dense est quasi inexistante.

Analyse de sensibilité

Afin d'évaluer la sensibilité des résultats hydrauliques à la précision verticale du MNS PlanetScope, une analyse de contrôle a été menée à l'aide de données topographiques auxiliaires issues d'un modèle numérique de surface (MNS) acquis par drone, d'une résolution horizontale de 0,08 m, pour la localité de Touré, située le long de la rivière Sirba [63]. Treize profils en travers ont été tracés le long du tronçon de contrôle afin de comparer les altitudes du terrain des deux MNS. Ces deux MNS ont servi de données d'entrée pour des simulations 2D du tronçon de contrôle, à six débits compris entre 500 et 1 300 m³/s. L'erreur résiduelle moyenne a diminué de 0,35 m à $Q = 500$ m³/s à 0,14 m à $Q = 1\,300$ m³/s, soit environ 5% des profondeurs d'eau simulées aux débits de projet. À titre de référence, un test indépendant de sensibilité à la rugosité a montré qu'une augmentation du coefficient de Manning (n) de 0,04 à 0,045 entraînait des variations de profondeur de l'ordre de grandeur (0,25 à 0,45 m). L'incertitude résiduelle induite par le MNS est donc comparable à l'incertitude liée à la rugosité inhérente à tout modèle hydraulique 2D, confirmant que le MNS corrigé de PlanetScope n'introduit pas d'erreur disproportionnée dans les simulations d'inondation [64].

3.2.4 Identification des enjeux

L'empreinte des bâtiments est globalement accessible grâce à l'initiative « IA pour le bien social » de Google [87]. Cependant, cette source date de 2021 et, étant issue de processus automatisés, présente une proportion variable de bâtiments identifiables de manière fiable, inférieure à 50%. Par conséquent, nous avons privilégié une photo-interprétation visuelle d'images de Google Earth, prises entre décembre 2024 et janvier 2025 dans la zone d'intérêt, ce qui a permis d'identifier et de localiser les enjeux exposés (Figure 25).

41

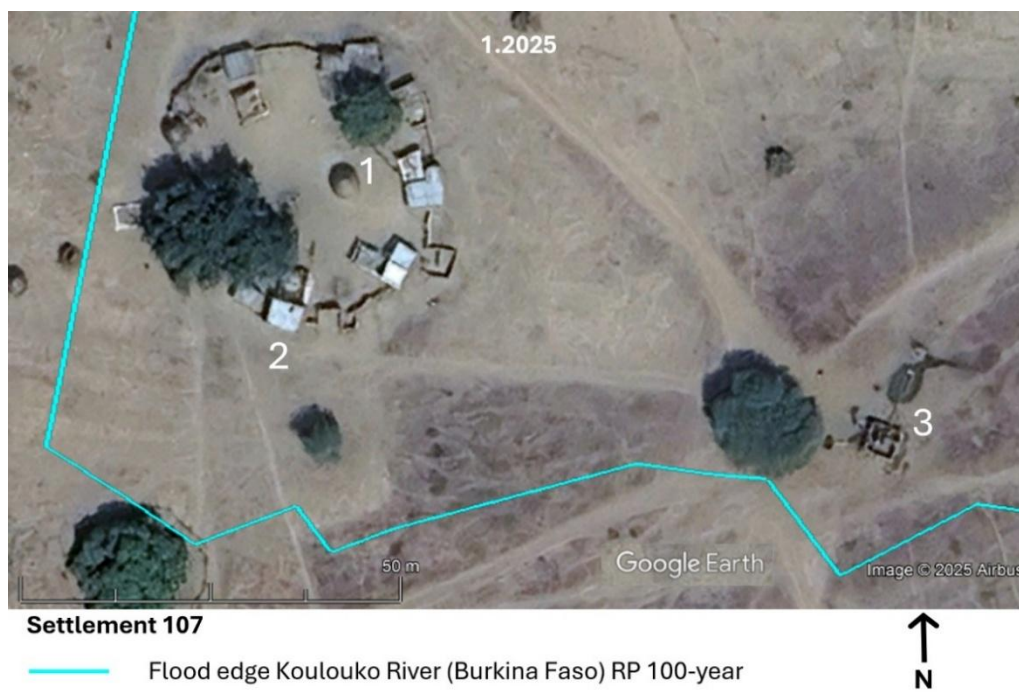


Figure 25. Grange (1), maison (2), puits (3) dans le village Haaba, commune de Bartiébougou, après photo-interprétation visuelle de l'image GE janvier 2025

Les enjeux se limitent aux bâtiments, car l'agriculture irriguée dans ce bassin est extrêmement réduite et se limite à la partie finale de la rivière Sirba au Niger.

Une étape importante de l'identification des lieux consiste à les nommer. Nous avons utilisé Open Street Map (OSM) avec une zone tampon de 1 000 mètres. Cependant, nous avons également inclus les coordonnées géographiques de chaque lieu dans le système afin de pouvoir vérifier et d'affiner ultérieurement la dénomination. Cette étape nécessitait (i) lier les bâtiments exposés aux entités « Place » d'OSM en filtrant spécifiquement les villes et les villages, en utilisant l'option de correspondance de recherche du plus proche (*closest*) dans un rayon de 1 km ; (ii) exporter de la table attributaire résultante vers Microsoft Excel afin de synthétiser les statistiques via des tableaux croisés dynamiques. À partir du résultat de la requête sur OSM, nous avons pu nommer 38 localités dans le bassin de la Sirba au Burkina Faso, contre 11 localités reportées dans le recensement de la population de 2022 [65].

L'identification et la quantification de ces biens ont permis de repérer les zones les plus exposées. Dans ces zones, en juin 2026, une analyse de terrain a été menée dans 10 localités ayant plus de 1700 m² de bâtiments exposés à une inondation avec un TR de 100 ans, en collaboration avec les services municipaux, afin d'évaluer l'exposition du site aux inondations, les dommages causés, la dynamique d'occupation du territoire et les facteurs déterminants. Cette analyse a également permis d'évaluer et de documenter photographiquement la nature des biens exposés (matériaux de construction utilisés, hauteur du seuil d'entrée), le nombre d'habitants par bâtiment, les mesures de prévention adoptées et prévues, ainsi que les obstacles à leur mise en œuvre.

Les enjeux ont ensuite été identifiés en fonction de la profondeur d'inondation (<1 m, -2 m, >2 m) et pour les TR de 5, 10 et 100 ans (Figure 26).

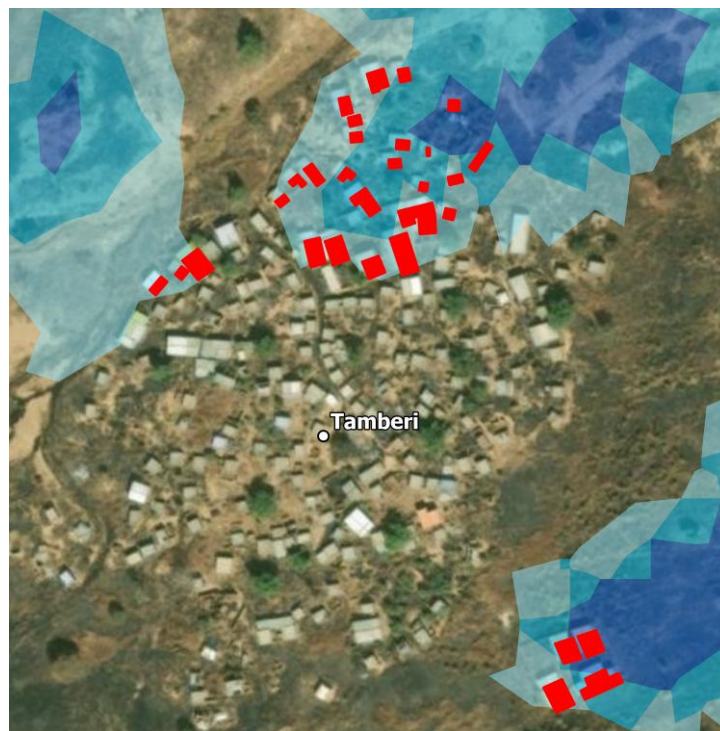


Figure 26. Tamberi (commune de Sebba) enjeux selon profondeur d'inondation.

3.2.5 Morphologie des établissements humains

La morphologie des établissements humains est définie à partir de l'interprétation visuelle des images satellitaires accessibles au GE en 2024-25. Les éléments suivants sont classés en : (i) des hameaux composés de 2 à 5 bâtiments ; (ii) des parties de village avec des bâtiments à moins de 50 mètres (Figure 27).



Figure 27. Hameau étalé (gauche) et village compact (droite), exposés aux inondations, avec une TR de 100 ans.

3.2.6 Niveau du risque

Le niveau de risque est estimé par commune à l'aide de l'équation $R = A \cdot D$. L'aléa est l'inverse du TR. Les dommages sont déterminés par l'inspection de cinq bâtiments, en matériaux durables et non durables, dans neuf localités. La proportion moyenne de chaque type de bâtiment est appliquée à l'ensemble des zones inondables.

3.3.7 Traitement du risque

La gestion des risques débute par un examen des mesures en vigueur dans les neuf localités les plus exposées : Bambori, Bosongri, Dar Salam, Doundé, Haba, Kourou, Koygourou, Sebba et Tangangari. Une série de mesures communes à la région (Tableau 12) est ensuite analysée lors d'un atelier réunissant des représentants des communes de Batiérbougou, Boundoré, Mansila, Sebba et Solhani qui se révèlent être les plus exposées aux inondations dans le bassin de la Sirba (Figure 28). Des mesures spécifiques sont définies les forces, les faiblesses, les opportunités et les menaces (FFOM) de chaque mesure (Tableau 13). Troisièmement, des priorités seront établies, en tenant compte de la connaissance de la mesure par la communauté, de la disponibilité locale de la main-d'œuvre, des terrains et des matériaux nécessaires à sa mise en œuvre, de sa faisabilité, des besoins d'entretien, de l'acceptation par la communauté et de la nécessité de modifications législatives pour sa mise en œuvre. L'attribution d'une note à chaque critère et à chaque mesure permet de classer les mesures par ordre de priorité (Tableau 14, Figure 28).

Tableau 12. Mesures potentielles en fonction de la profondeur d'inondation.

Profondeur d'inondation	Bâtiments inondables TR 100		Zonage couleur	Traitement		
	m ²	%		Bâti dur	Bâti précaire	Non bâti
> 2 m	14 150	27	Rouge	• Signal zone inondable • Evacuer en cas d'alerte • Déménager	• Signal zone inondable • Evacuer en cas d'alerte • Déménager	• Signal zone inondable • Interdiction de construction
1 à 2 m	17 573	33	Bleu	• Polder • Surélever 1 étage	• Polder • Interdiction de construction	• Signal zone inondable • Interdiction de construction
< 1 m	21 340	40	Bleu clair	• Batardeau • Sac de sable • EAH surélevée	• Reconstruction en dur • RC surélevée 6 marches • EAH surélevée	• Signal zone inondable • Construction sous condition

Tableau 13. FFOM du traitement du risque.

Profondeur d'inondation	Mesure	Force	Faiblesse	Opportunité	Menace
Toute profondeur	Carte d'aléa				
	Plan contingence				
	Alerte précoce				
	Signaux				
	Echelle				
0-1 m	Batardeaux				
	Sacs de sable				
	EAH surélevées				
1-2 m	Polder				
	Maison surélevée				
2 m et +	Réinstallation				

Tableau 14. Priorisation des mesures

Profondeur d'inondation	Mesure		Critères de priorisation								Score
			Connaissance	Disponibilité de							
				Main d' œuvre	Terre	Matériel					
		Plan de sauvegarde									
		Carte aléa									
		Alerte									
		Signaux									
		Échelle limnimétrique									
0-1 mètre		Sacs de sable									
		Batardeaux									
		WASH									
		Rez-de-chaussée surélevée 6 marches									
1-2 mètre		Polder hameau									
		Maison surélevée									
2 mètre +		Réinstallation									

3.3.2.3 Risque résiduel et rapport coût-bénéfice

Une fois le traitement du risque défini, il convient d'évaluer dans quelle mesure sa mise en œuvre réduit le risque, c'est-à-dire les dommages potentiels exprimés en termes monétaires. Pour ce faire, il est nécessaire de connaître le coût unitaire et la quantité requise pour chaque mesure, et d'estimer la réduction des dommages aux enjeux. La comparaison des niveaux de risque avant et après le traitement permettra de déterminer le risque résiduel. La comparaison des coûts de mise en œuvre des mesures et des avantages qu'elles génèrent (par exemple, la réduction des dommages matériels) permettra de déterminer la faisabilité économique du traitement du risque. Cette analyse devrait être réalisée à l'échelle de chaque municipalité et appliquée aux localités les plus exposées aux inondations.

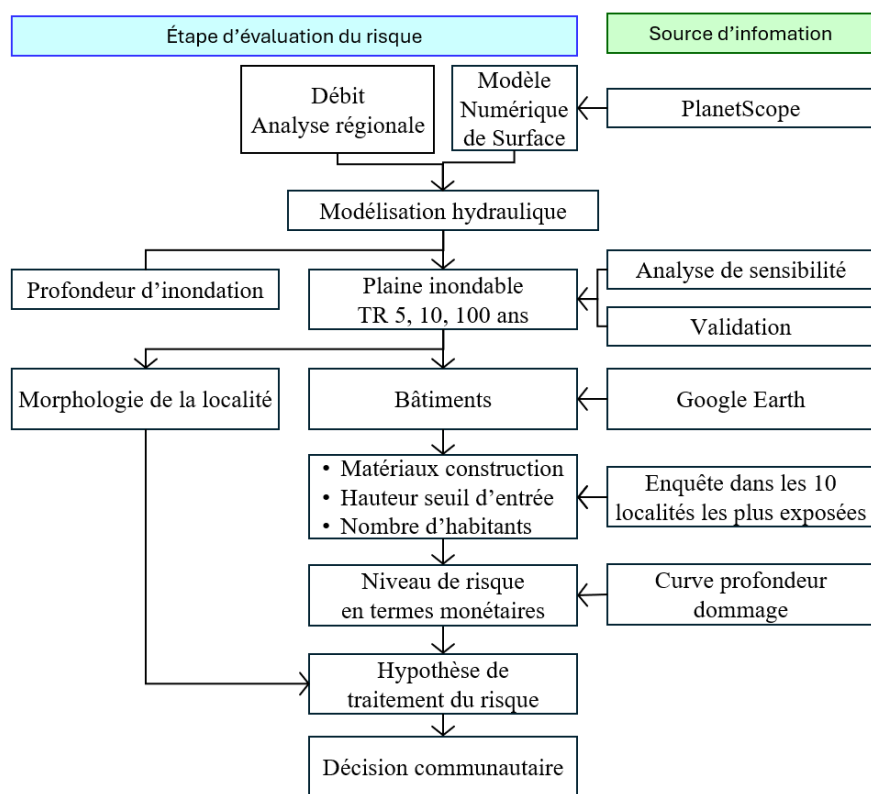


Figure 28. Diagramme de flux de la méthode.

3.3 Résultats

3.3.1 Analyse du risque

3.3.1.1 Caractère de la menace

Une enquête menée en juin-juillet 2026 dans neuf localités particulièrement exposées aux inondations a révélé que toutes sont vulnérables aux débordements de rivières, et que la moitié d'entre elles subissent également des pluies torrentielles. Les événements les plus récents remontent à 2023, mais ont été précédés par ceux de 2022, 2019 et de 2010. Dans la moitié des cas, la submersion dure plusieurs semaines (Tableau 12).

Tableau 15. Caractéristiques des menaces

Localité	Type d'inondation		Date				Durée de submersion		
	Débordement rivière	Pluie torrentielle	2010	2019	2022	2023	Jours	1 semaine	Semaines
Bambori	1		1	1	1		1		
Bosongri	1	1	1					1	
Boundoré	1	1				1			1
Dar Salaam	1	1	1					1	
Doundé	1	1				1			1
Haba	1				1	1	1		
Kourou	1					1			1
Koygouroual	1					1			1
Sebba									
Total	8	4	3	1	3	5	2	2	4

3.3.1.2 Débit de crue

L'approche régionale a permis d'estimer les débits pour des TR de 5, 10 et 100 ans à des emplacements non jaugés dans la zone d'intérêt afin de soutenir la modélisation hydraulique (Tableau 13, Figure 29).

Tableau 16. Débits de pointe aux points cibles des bassins du Yali, du Faga et du Petit Sirba, sur différentes sections créées pour tenir compte de l'influence des tributaires sur les rivières.

Rivière	Débits		
	TR 5 ans m³/s	TR 10 ans m³/s	TR 100 ans m³/s
Yali 1 (Sebba)	43	49	65
Yali 2	60	70	103
Yali 3	98	118	184
Faga 1 (Liptougou)	279	353	601
Faga 2	372	481	845
Faga 3	409	533	946
Koutouko 1 (Bassieri)	237	303	515
Koutouko 2	515	670	1 162
Koutouko 3	659	867	1 526

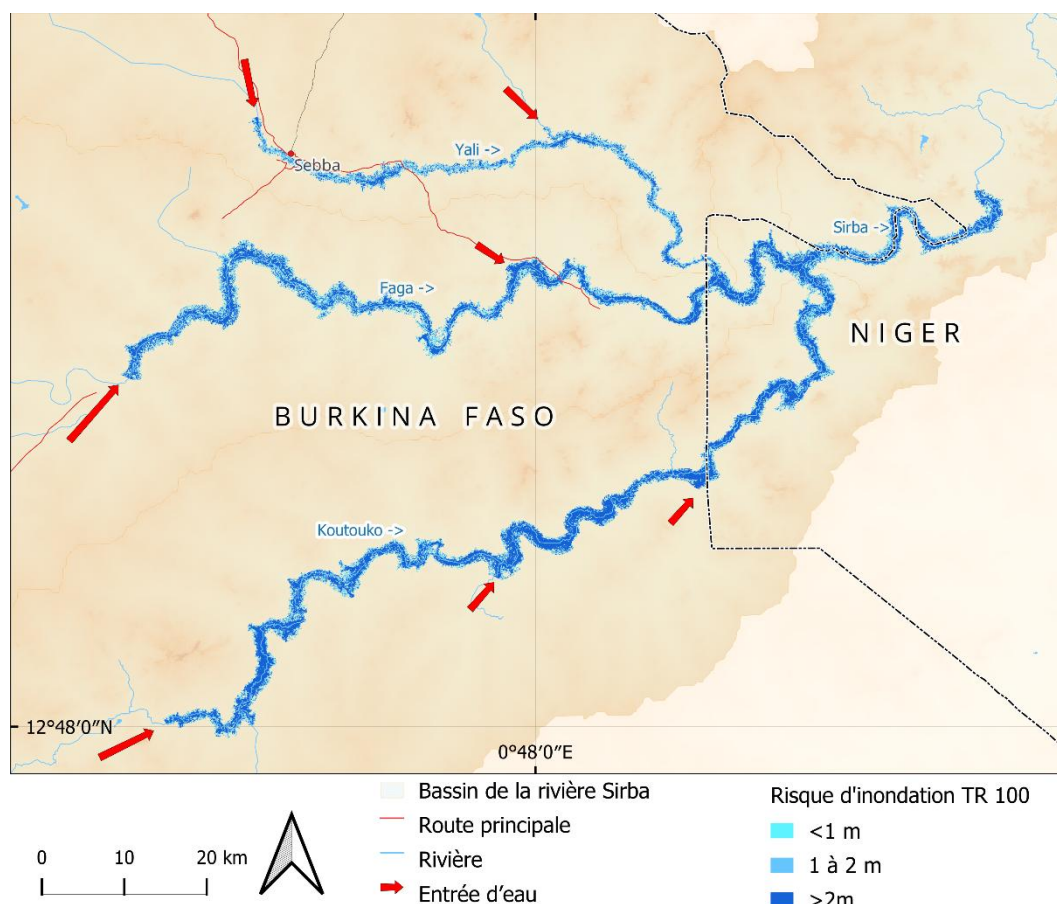


Figure 29. Réseau hydrographique du bassin inférieur de la Sirba avec les points du débit modélisé dans le tableau 12

3.3.1.3 Extension de la plaine inondable

En cas de crue centennale, les trois principales branches du réseau hydrographique du bassin inférieur de la Sirba ont une largeur minimale comprise entre 150 et 1 100 m, qui peut atteindre jusqu'à 2 100-3 400 m à certains endroits (Tableau 14) et constituent par conséquent une menace potentielle qui n'est pas toujours perceptible.

Tableau 17. Largeur minimale et maximale des crues avec un TR centenaire le long des rivières du bassin de la Sirba

Rivière	Largeur	
	Minimale	Maximale
	m	m
Faga	350	2 700
Koutouko	400	3 400
Sirba	1 100	2 700
Yali	150	2 100

3.3.1.4 Morphologie des établissements humains

Les bâtiments dispersés et les petits hameaux (3 à 5 bâtiments) représentent 39% des établissements humains inondables, le reste étant constitué d'établissements compacts. Cette répartition est propre aux quatre rivières étudiées. Le long des rivières Yali, Faga et Koulouko burkinabè, les établissements exposés sont majoritairement grands et compacts (88% contre 55%), tandis que le long du Koulouko nigérien, ce sont les hameaux isolés ou de petite taille qui prédominent (56%) (Tableau 15).

Tableau 18. Morphologie des établissements humains inondables.

Rivière	Pays	Petit, éparpille		Compact	Total
		1-2 maisons > 50 m distant entre elles Nombre	Hameaux 3-5 maisons Nombre	> 5 maisons distant < 50 m entre elles Nombre	
Faga	Burkina Faso	8	14	69	70
Koulouko	Burkina Faso	26	24	62	112
Koulouko	Niger	5	4	7	16
Sirba	Niger				
Yali	Burkina Faso	1	0	7	8
Total	Burkina + Niger	40	42	145	227
Total %	Burkina + Niger	19	20	60	100

3.3.1.5 Dynamique des établissements humains au fil du temps

L'augmentation du nombre de bâtiments dans les zones inondables centennales a été de 3,8 fois et de 2,3 fois au cours des 15 dernières années, notamment le long des tronçons nigérien et burkinabé du fleuve Koulouko ; de 0,7 fois le long du fleuve Faga et de 0,3 fois le long du fleuve Yali (Tableau 16).

Tableau 19. Évolution du nombre de logements entre 2009 et 2025 dans la zone inondable TR 100.

Riviere	Bâtiments	Changement en nombre de bâtiments des établissements humains			
	2009-2025 %	Augmentation %	Reduction %	Stable %	Total %
Yali	31	75	13	13	100
Faga	70	86	9	6	100
Koulouko Burkina	230	88	6	6	100
Koulouko Niger	375	80	0	20	100

48

Cette augmentation concerne entre 75 et 88 % des agglomérations, tandis que seulement 25 à 12 % d'entre elles sont en déclin ou stables. Enfin, entre 7 et 39 % des bâtiments augmentent dans les nouvelles agglomérations, avec un pic sur le tronçon burkinabé du Koulouko. Parmi les raisons de l'expansion des établissements, l'enquête de terrain fait état de la découverte d'un nouveau site d'orpaillage artisanal et de l'amélioration conséquente de la cadre de vie (Bambori), de l'expansion démographique (Doundé, Haba, Tangagari), de l'immigration (Haaba, Tangagari).

3.3.1.6 Enjeux

Dans la zone étudiée, une surface bâtie de 53 062 m² est exposée aux inondations pour un TR de 100 ans. Cette surface est répartie sur 37 localités, mais la moitié est concentrée dans seulement 11 localités, principalement situées le long de la rivière Faga. Les localités les plus exposées à un TR de 100 ans sont Dar Salam (3 489 m²), Hasbialahou (2 731 m²), Bosongri (2 626 m²) dans la commune de Solhan, Sebba (2 524 m²) et Koygoua (2 155 m²) dans la commune de Mansila. La surface inondable pour un TR de 100 ans est réduite à 71% en cas d'inondation pour un TR de 10 ans et à 54 % en cas d'inondation pour un TR de 5 ans. Cela signifie que même des inondations fréquentes ont un impact important sur le cadre bâti (Tableau 17). La surface des bâtiments exposés à une inondation locale TR 100 dans le bassin de la Sirba, au Burkina Faso, est le double de celle exposée au même type d'inondation, avec le même TR, le long du fleuve Niger, entre la confluence avec la rivière Dargol et la ville de Niamey.

La surface exposée des bâtiments, en fonction de la profondeur d'inondation, varie respectivement de 55, 27 et 18 % pour des profondeurs inférieures à 1 m, de 1 à 2 m et supérieures à 2 m, dans le cas de TR 5 et TR 10, et de 40, 33 et 27 % pour TR de 100 ans (Tableau 18).

Dix localités présentent des surfaces bâties de 1 700 à 3 600 m² exposées à une crue centennale (Figures 30-32). Ces localités représentent 56% du stock immobilier exposé à une crue centennale. La morphologie des zones habitées et la profondeur des inondations ont des conséquences directes sur la gestion des risques d'inondation. La concentration de l'essentiel de l'exposition dans seulement dix localités facilite le traitement du risque.

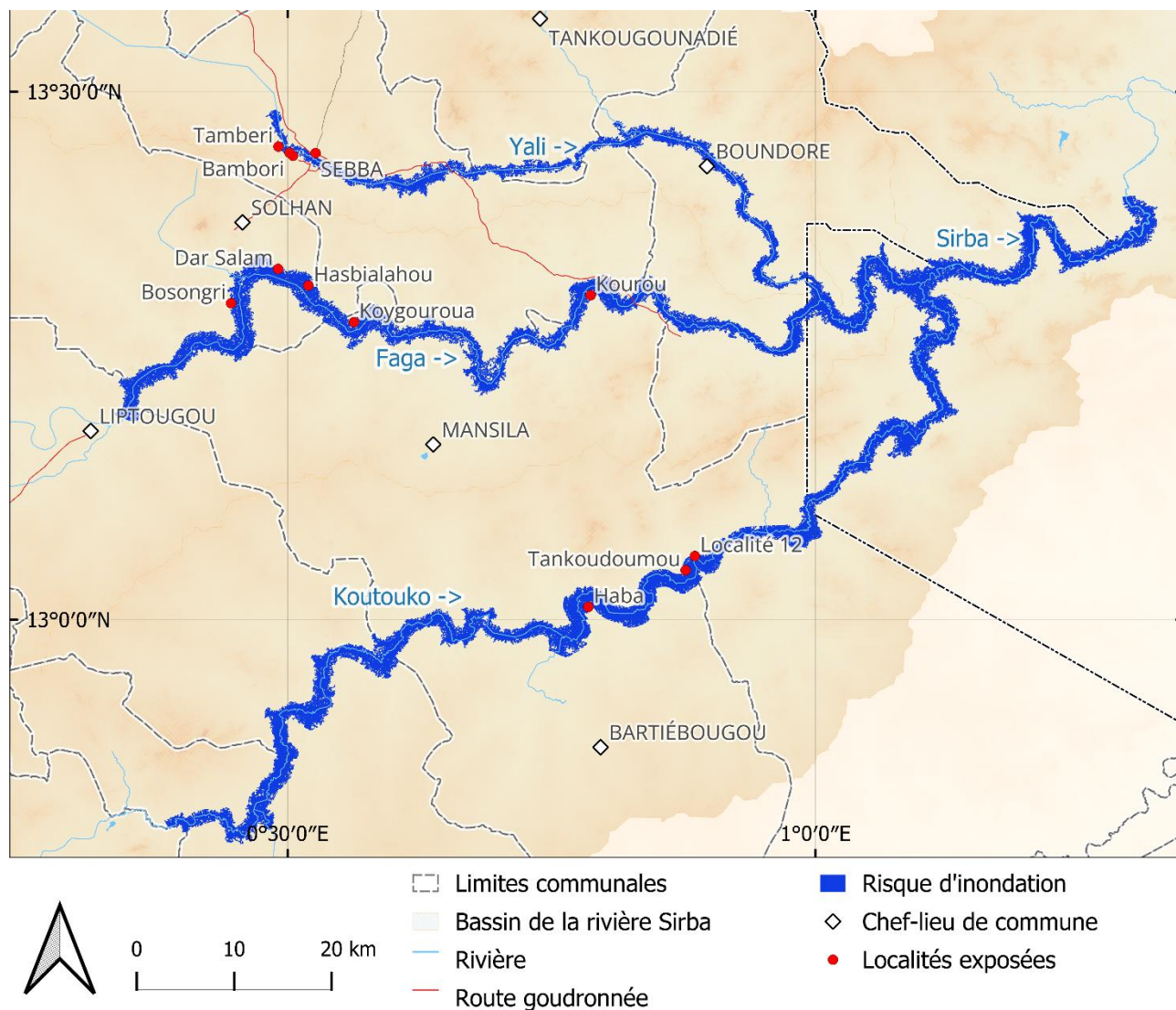


Figure 30. Les onze localités les plus exposées à l'inondation centennale.

Tableau 20. Surface au sol (m²) des bâtiments exposés à une inondation locale avec RP de 5, 10 et 100 ans dans le bassin de la Sirba au Burkina Faso.

Localité	Latitude N	Longitude E	Commune	Rivière	P2019 n.	Bâtiments (m ²) exposés à inondation avec TR de		
						5 ans m ²	10 ans m ²	100 ans m ²
54 Haba	13° 0'42.76"	0°47'5.51"	Bartiébougou	Sirba	2 422	1 026	1 693	1 780
52 Lampyadi	12°58'0.00"	0°38'60.00"	Bartiébougou	Sirba		0	0	106
Autres			Bartiébougou	Sirba		1 631	3 023	4 391
9 Faga	13°15'43.33"	0°57'36.16"	Boundoré	Faga		0	0	32
7 Kalimpoure	13°26'43.07"	0°52'51.78"	Boundoré	Yali		359	401	401
6 Takatami	13°14'56.65"	0°57'19.93"	Boundoré	Faga	1 436	0	0	65
25	13°19'16.11"	0°51'24.90"	Boundoré	Faga		0	15	116
50	13°15'41.40"	0°59'29.50"E	Boundoré	Faga		0	0	18
Autres	13° 0'42.76"	0°47'5.51"	Boundoré	Confluence		0	0	54
Autres			Boundoré	Yali		1 125	1 107	1 168
Autres			Boundoré	Faga		470	470	1 584
Autres			Foutouri	Sirba		632	802	1 919
Autres			Liptougou	Faga		309	309	309
Autres			Liptougou	Sirba		1 049	1 286	1 505
53 Bola	12°57'0.00"	0°34'60.00"	Gayeri	Sirba	3 122	0	0	85
5	12°53'39.28"	0°31'20.36"	Gayeri	Sirba		0	0	42
Autres			Gayeri	Sirba		2 202	2 656	3 644
41 Bonta	13°13'50.55"	0°23'19.85"	Mansila	Faga		17	17	55
15 Bwatam	13°14'8.81"	0°42'25.57"	Mansila	Faga		0	0	37
24 Kourou	13°18'25.41"	0°47'13.22"	Mansila	Faga		882	1 049	1 973
19 Koygououa	13°16'53.91"	0°33'45.98"	Mansila	Faga	194	980	1 573	2 155
34 Tankoudoumou	13° 2'47.63"	0°52'36.91"	Mansila	Sirba		1 304	1 398	1 719
33 Tankyaga	13°16'19.02"	0°34'58.67"	Mansila	Faga	419	17	17	538
12	13° 3'36.04"	0°53'8.61"	Mansila	Sirba		520	2 581	3 714
31	13°15'54.01"	0°38'54.04"	Mansila	Faga		0	16	102
36	13° 0'11.05"	0°37'31.02"	Mansila	Sirba		0	78	178
Autres			Mansila	Faga		754	790	975
Autres			Mansila	Sirba		994	1 336	2 222
14 Bambori	13°26'31.33"	0°30'6.15"	Sebba	Yali		886	2 033	2 143
18 Gandi	13°17'13.93"	0°38'12.41"	Sebba	Faga	110	0	0	108
3 Sebba	13°26'30.08"	0°31'35.21"	Sebba	Yali	11 298	330	330	2 624
20 Tamberi	13°26'52.12"	0°29'28.39"	Sebba	Yali		1 787	1 787	1 787
23 Tambondi	13°24'41.16"	0°34'7.40"	Sebba	Yali	1 372	438	438	439
17 Tyeko	13°14'31.05"	0°41'10.64"	Sebba	Faga		132	241	334
27	13°16'28.56"	0°43'30.14"	Sebba	Faga		351	351	411
32	13°17'7.74"	0°37'49.68"	Sebba	Faga		25	25	40
Autres			Sebba	Faga		198	658	711
Autres			Sebba	Yali		721	721	721
43 Bangel	13°16'14.50"	0°24'55.43"	Solhan	Faga	2 450	817	826	926
44 Bosongri	13°17'57.94"	0°26'47.04"	Solhan	Faga		1 708	2 280	2 626
45 Dar Salam	13°19'55.04"	0°29'27.66"	Solhan	Faga		2 857	3 135	3 489
40 Gongorgol	13°18'57.09"	0°29'34.84"	Solhan	Faga	1 603	680	719	1 077
37 Hasbialahou	13°18'58.31"	0°31'10.56"	Solhan	Faga		2 468	2 563	2 731
42 Homo	13°17'19.19"	0°31'39.81"	Solhan	Faga		0	0	844
38 Nabaningou	13°19'46.83"	0°30'9.60"	Solhan	Faga	60	0	0	28
39 Tanga	13°16'35.33"	0°25'21.81"	Solhan	Faga		65	65	65
35	13°18'0.06"	0°27'53.57"	Solhan	Faga		520	520	595
46	13°18'56.29"	0°26'49.83"	Solhan	Faga		53	53	53
Autres			Solhan	Faga		305	321	360
13 Tienga	13°26'3.57"	0°44'31.84"	Tankougounadié	Yali		65	65	65
Total					24 486	28 679	37 786	53 062

Autres – Hameaux avec moins de 5 maisons ou dont les maisons sont distantes de plus de 50 m l'une de l'autre.

Tableau 21. Surface des bâtiments exposée à inondation avec TR 5, 10 et 100 ans selon profondeur d'inondation

Localité	Commune	Rivière	Bâtiments exposés à inondation								
			TR 5 ans			TR 10 ans			TR 100 ans		
			<1 m	1 à 2 m	>2m	<1 m	1 à 2 m	>2m	<1 m	1 à 2 m	>2m
54 Haba	Bartiébougou	Sirba	376	240	410	573	401	719	55	272	1 453
52 Lampyadi	Bartiébougou	Sirba							84	18	
Autres	Bartiébougou	Sirba	994	373	264	1477	996	550	1015	1 612	1 764
9 Faga	Boundoré	Faga							11	21	
7 Kalimpoure	Boundoré	Yali	193	166		218	183		218	183	
6 Takatami	Boundoré	Faga								65	
25	Boundoré	Faga				15			101	15	
50	Boundoré	Faga							18		
Autres	Boundoré	Confluence							29	25	
Autres	Boundoré	Yali	784	307	34	731	376	34	606	528	34
Autres	Boundoré	Faga	224	130	116	224	130	116	810	290	484
Autres	Foutouri	Sirba	293	165	174	410	200	192	326	596	997
Autres	Liptougou	Faga		309			309			309	
Autres	Liptougou	Sirba	561	208	280	714	255	317	425	557	523
53 Bola	Gayeri	Sirba							85		
5	Gayeri	Sirba							42		
Autres	Gayeri	Sirba	1 123	754	325	1 414	866	376	1 102	1 015	1 527
41 Bonta	Mansila	Faga	17			17			34	21	
15 Bwatam	Mansila	Faga							37		
24 Kourou	Mansila	Faga	638	162	82	805	86	158	1 184	604	185
19 Koygououa	Mansila	Faga	661	319		942	631		1 302	709	144
34 Tankoudoumou	Mansila	Sirba	554	492	258	450	512	436	335	383	1 001
33 Tankyaga	Mansila	Faga	17			17			500	38	
12	Mansila	Sirba	390	115	15	2 215	267	99	1 453	1 760	501
31	Mansila	Faga				9	7		86		
36	Mansila	Sirba				78			88	90	
Autres	Mansila	Faga	500	16	238	441	111	238	441	280	254
Autres	Mansila	Sirba	643	217	134	719	417	200	714	829	679
14 Bambori	Sebba	Yali	92	322	472	986	404	643	1 030	455	658
18 Gandi	Sebba	Faga				986	404	643	108		
3 Sebba	Sebba	Yali	330			330			1 857	7 673	
20 Tamberi	Sebba	Yali	995	389	403	995	389	403	1 011	373	403
23 Tambondi	Sebba	Yali	131	149	158	131	149	158	131	131	177
17 Tyeko	Sebba	Faga	132			221	20		104	230	
27	Sebba	Faga	267	22	62	267	22	62	60	267	84
32	Sebba	Faga	25			25			29	11	
Autres	Sebba	Faga				418	202	38			
Autres	Sebba	Yali	407	136	178	384	159	178			
43 Bangel	Solhan	Faga	712	87	18	678	117	31	492	360	74
44 Bosongri	Solhan	Faga	1 045	650	13	1 552	715	13	1 333	1 190	103
45 Dar Salam	Solhan	Faga	1 224	688	945	1 233	889	1013	1 157	787	1 545
40 Gongorgol	Solhan	Faga	522	134	24	542	135	42	756	260	61
37 Hasbialahou	Solhan	Faga	948	1 009	511	865	1 063	635	842	942	947
42 Homo	Solhan	Faga							459	290	95
38 Nabaningou	Solhan	Faga							28		
39 Tanga	Solhan	Faga	65			65			39	26	
35	Solhan	Faga	305	181	34	305	181	34	245	211	139
46	Solhan	Faga	53			53				53	
Autres	Solhan	Faga	245	51		178	143		55	254	51
13 Tienga	Tankougounadié	Yali	65			65			17	48	
Total			15 703	7 789	5 187	20 766	10 334	6 685	21 340	17 573	14 150

Autres – Hameaux avec moins de 5 maisons ou avec maisons distantes plus de 50 m entre elles.

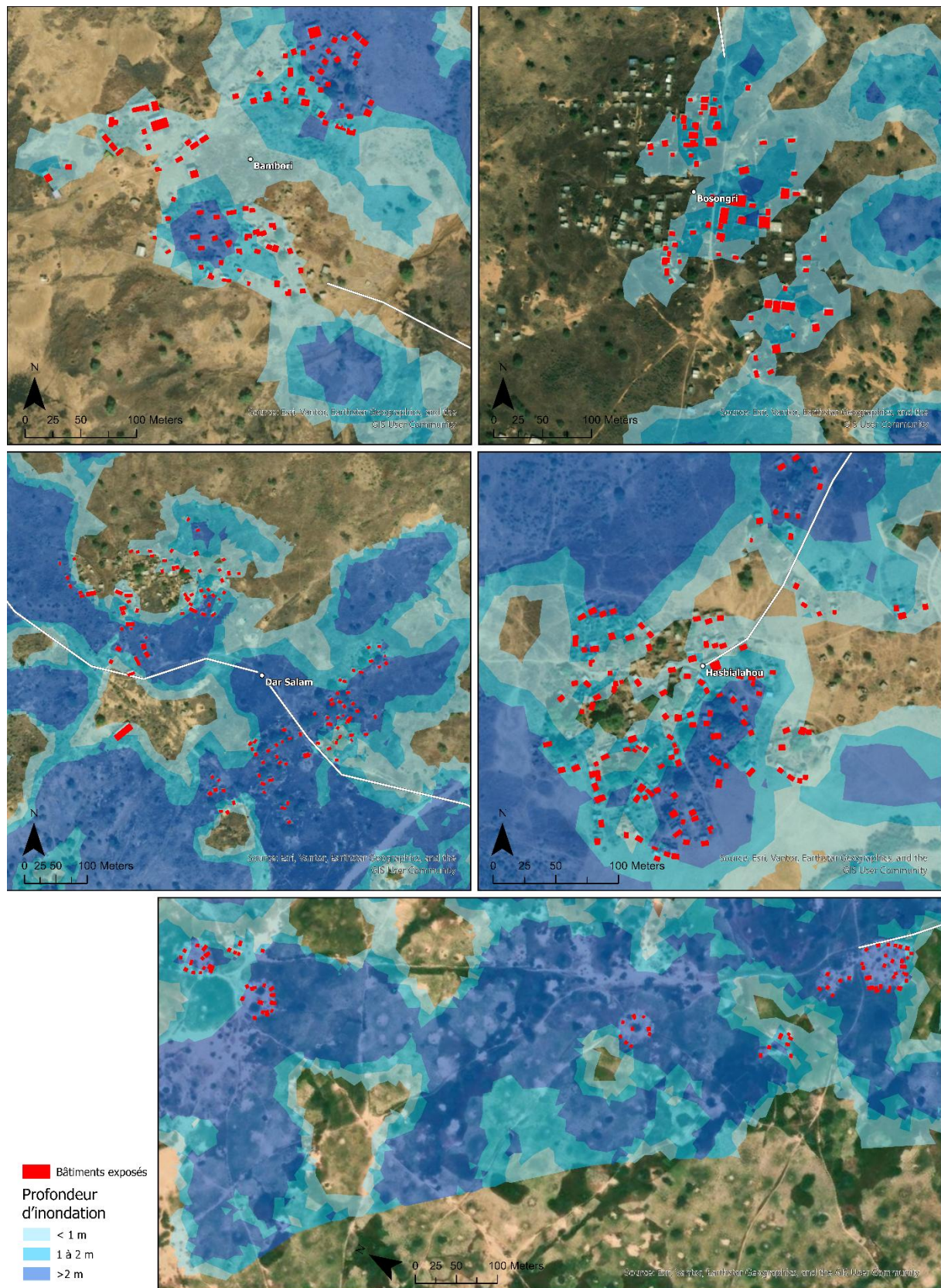


Figure 31. Bâtiments exposés à l'inondation TR 100 ans selon la profondeur d'inondation à Bambari (commune de Sebba), Bosongri, Dar Salam et Hasbialahou (commune de Solhani), et Haba (commune de Bartiébougou).

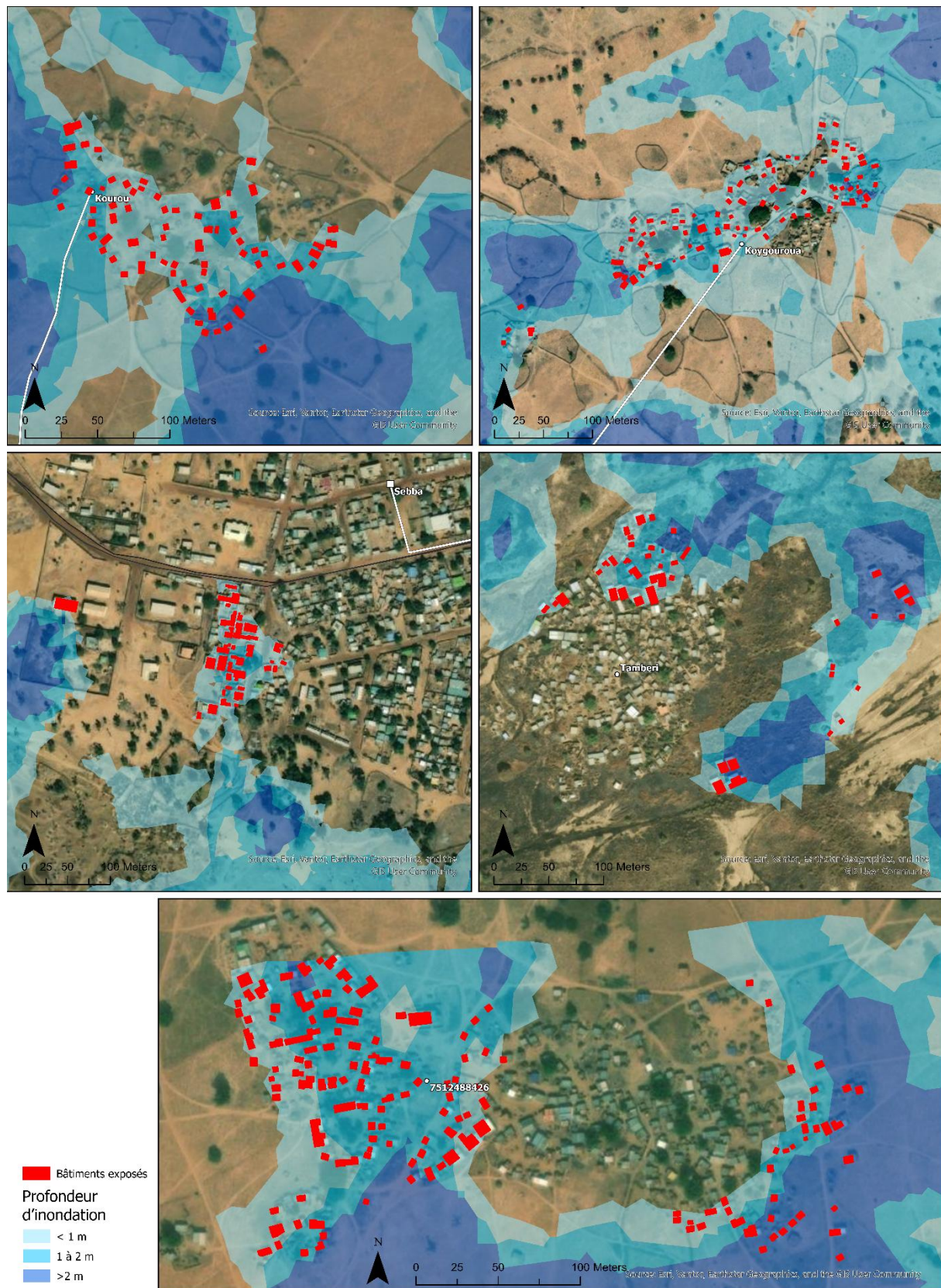


Figure 32. Bâtiments exposés à inondations TR100 selon la profondeur d'inondation <1m, 1-2 m, >2 m à Kourou et Koygourou (commune de Mansila), Sebba, Tambori et localité Iconnue (commune de Mansila)

La proportion d'agglomérations compactes (61%) permet la construction de polders, impossible à réaliser dans les hameaux aux maisons dispersées. Cependant, la construction de polders nécessite l'utilisation d'une pelle mécanique, difficile à transporter dans les zones reculées ou non desservies par une voie adaptée aux véhicules lourds.

De plus, seulement 22 % de la surface bâtie exposée aux inondations se situe en zone d'eau profonde dans ces dix localités. Cette proportion est inférieure aux 33 % observés dans les autres localités. Par conséquent, le problème de la réinstallation y est moins aigu (Tableau 19).

Tableau 22. Bâtiments selon la profondeur d'inondation dans les dix localités les plus exposées à une crue avec TR 100.

Localité	Bâtiments exposés à inondation avec TR 100 ans			
	Toute profondeur m ²	<1 m %	1 à 2 m %	>2m %
Dix les plus exposées	29 933	34	45	22
Autres localités	23 130	49	18	33
Total	53 063	40	33	27

3.3.1.7 Dommages potentiels

Les dommages potentiels dépendent de l'élévation des bâtiments par rapport au niveau des crues et des matériaux de construction utilisés. Le long des rivières Yali et Sirba, les bâtiments ont des murs en parpaings. En revanche, le long de la Faga, seuls 40 % des bâtiments sont construits en parpaings. De plus, le long de la Faga, les seuils d'entrée sont soit inexistants, soit ne comportent qu'une seule marche, ce qui les rend inefficaces comme barrière contre les inondations (Tableau 20, Figure 33).

Tableau 23. Vulnérabilité des bâtiments.

Localité	Commune	Rivière	Maisons			Habitants
			Adobe %	Ciment %	Porte surélevée (n. de marches) %	
Bambori	Sebba	Yali	0	100	1 (100%)	4-12
Bosongri	Solhan	Faga	50	50	1 (100%)	6-8
Dar Salam	Solhan	Faga	50	50	1 (100%)	4-8
Doundé	Boundoré	Faga	60	40	1 (40%) 0 (60%)	2-6
Haba	Bartiébougu	Koukoulu	0	100	2 (20%) 3 (40%) 4 (20%) 5 (20%)	0
Kourou	Mansila	Faga	100	0	1 (33%) 0 (66%)	5-9
Koygouroual	Mansila	Faga				
Sebba	Sebba	Yali				
Tangangari	Boundoré	Faga	60	40	1 (40%) 0 (60%)	2-8
Kourou	Mansila		100	0	1 (33%) 0 (66%)	5-9



Figure 33. Magasins situés dans une zone inondable, avec rez-de-chaussée surélevé, à Haba, commune de Bartiébougu.

3.3.1.8 Niveau de risque

Cette étape reste à développer.

3.3.2 Évaluation du risque dans le bassin inférieur de la rivière Sirba

3.3.2.1 Traitement du risque

Dans tous les endroits visités, à une exception près, les habitants ont adopté des mesures de prévention des inondations. L'utilisation de matériaux de construction durables est la plus courante, suivie de la réparation et de la reconstruction. Cependant, ces mesures ne sont pas généralisées ou sont jugées insuffisantes. Parmi les solutions possibles figurent l'utilisation de matériaux de construction durables et la protection contre les inondations par un barrage. Concernant la première solution, le principal obstacle est le manque de ressources financières (Tableau 21).

Tableau 24. Mesures en place et potentielles dans 9 localités.

Localité	Commune	Mesures prises					Mesures à prendre			Obstacles
		Aucune	Briques ciment	Réparation protection	Haie vive	Rebatir ailleurs	Barrage	Déménager	Matériaux résistants	
Bambori	Sebba	1		1		1		1	1	financiers
Bosongri	Solhan					1		1	1	financiers
Dar Salam	Solhan					1		1		financiers
Doundé	Boundoré			1					1	financiers
Haba	Bartiébougou		1				1			financiers
Kourou	Mansila		1							financiers
Koygouroual	Mansila				1					financiers
Sebba	Sebba									
Tangangari	Boundoré	0	1			1			1	financiers

Le risque résiduel et l'analyse coût-bénéfice restent à élaborer.

3.3.3 Implications de l'évaluation du risque d'inondation sur le projet SLAPIS

L'évaluation des risques d'inondation a deux implications directes pour le projet SLAPIS Sahel et la réduction des risques de catastrophes locales. Premièrement, la cartographie en haute résolution des zones inondables, ainsi que l'identification des mesures à prendre en fonction de la profondeur d'inondation, peuvent servir directement à définir le zonage réglementaire dans les plans municipaux de sauvegarde et les plans ORSEC départementaux ou régionaux (Figure 32). Deuxièmement, l'estimation du nombre de bâtiments vulnérables aux inondations quantifie les impacts potentiels pour chaque scénario d'inondation envisagé (TR 5, 10 et 100 ans) et peut compléter le SAP (Tableau 32).

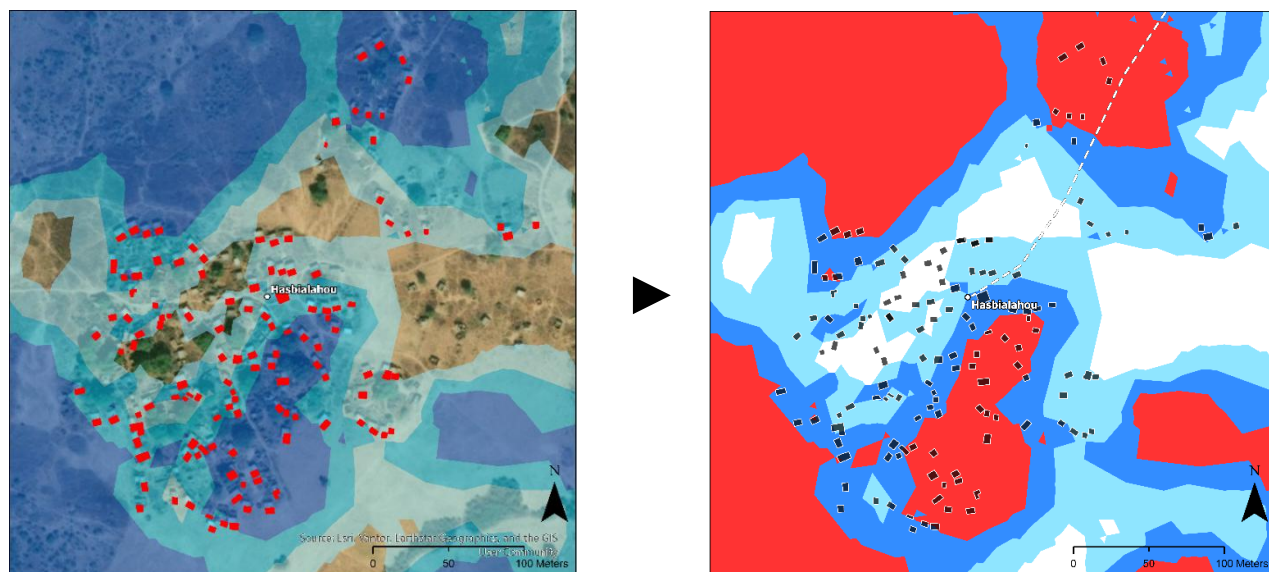


Figure 34. Utilisation de la carte des enjeux selon la profondeur d'inondation TR 100 ans (gauche) pour le zonage réglementaire du plan communal de sauvegarde (droite) indiquant la zone d'interdiction (rouge), celles d'usage sous condition (bleu, bleu clair) et celle sans limitations (blanche) dans le cas du village de Hasbialahou (commune de Solhani).

Tableau 25. Surface des bâtiments exposées à inondation dans les localités riveraines de la Faga, Sirba et Yali.

Rivière	Station	Débit m³/s	Kourou m²	Kougou yogua m²	Bosongri m²	Dar Salam m²	Hasbia lahou m²	Haba m²	Tankou doumou m²	Bambori m²	Sebba m²	Tamberi m²
Faga	Liptougou	279	882	980	1 708	2 857	2 468					
		353	1 049	1 573	2 280	3 135	2 563					
		601	1 973	2 155	2 626	3 489	2 731					
Sirba	Bassieri	237						1 026	1 304			
		303						693	1 398			
		515						1 780	1 719			
Yali	Sebba	43								886	1 787	1 011
		49								2 033	1 787	373
		65								2 143	1 787	403

3.3.4 Limites de l'évaluation du risque d'inondation

Bien que cette étude utilise un MNT à une résolution inhabituelle pour le bassin du Moyen Niger et la rivière Sirba [34, 90], ainsi que pour les zones rurales des pays à revenu faible et intermédiaire, il convient de noter que la résolution optimale dans les économies avancées est de 1 mètre, et non de 4 mètres. Pourtant, la délimitation des surfaces inondables et l'exposition des bâtiments en fonction de la hauteur d'eau restent approximatives.

L'enquête de terrain se limite à un échantillon d'environ 50 bâtiments, situés dans les localités les plus exposées.

Les informations relatives à la population exposée, pourtant essentielles pour les plans municipaux de surveillance et les plans ORSEC départementaux, sont très limitées et ne constituent que des estimations.

4. Conclusion

Cette évaluation du risque d'inondation porte sur une zone rurale s'étendant sur 58 km le long du fleuve Niger, en amont de Niamey, et sur 555 km le long des rivières Yali, Faga, Koukoulu et Sirba. L'objectif était d'évaluer le risque d'inondation par la crue guinéenne et la crue locale, avec des TR de 10, 30 et 100 ans le long du fleuve Niger et des TR de 5, 10 et 100 ans dans le bassin de la Sirba.

Notre approche présente deux innovations par rapport aux évaluations des risques d'inondation menées au cours des vingt dernières années dans les zones rurales des pays à revenu faible et intermédiaire. Premièrement, l'utilisation de données géographiques à plus haute résolution, notamment le modèle numérique de surface (MNS) à 4 mètres de résolution, et l'identification des enjeux grâce à l'imagerie satellitaire à très haute résolution (0,5 m) vérifiée sur le terrain. Ces données ont été complétées par des informations provenant des communautés exposées, ce qui a permis la coproduction de connaissances sur le phénomène, sa dynamique, ses impacts et les mesures d'atténuation du risque. La seconde innovation réside dans l'accessibilité permanente des données, métadonnées et informations sous-jacentes à l'étude, dans un dépôt dédié, conformément aux recommandations de l'OCDE et aux principes FAIR relatifs à l'accessibilité des données issues de la recherche publique.

Le long du fleuve Niger, la crue guinéenne, avec un TR de 10 ans, s'est avérée à risque plus élevé, en raison de sa durée qui persiste pendant environ un mois à 99 % du pic, et de son impact sur les cultures commerciales. Onze localités, principalement situées sur des îles fluviales en amont de la confluence Sirba-Niger, sont les plus exposées. L'alerte précoce, la protection des AHA à risque d'inondation par des digues élonges et renforcées, ainsi que l'investissement dans l'EAH constituent les solutions les plus réalisables. Pour Karma et Namaro, réduire le risque grâce à ces mesures est plus rentable que de subir des dommages potentiels.

Dans le bassin de la Sirba, la surface des bâtiments exposée à une crue locale centennale est le double de celle des bâtiments le long du fleuve Niger exposés à une crue de la même fréquence. Dans le bassin de Sirba, la superficie des enjeux exposés à une crue centennale est deux fois supérieure à celle des enjeux exposés à une crue quinquennale. Heureusement, la part de la surface bâtie exposée à une profondeur supérieure à 2 mètres varie entre 18% et 27% selon le TR (centennale ou quinquennale). La moitié de la surface exposée à une crue centennale se concentre sur seulement 11 localités, principalement le long de la rivière Faga. Par conséquent, la protection des bâtiments individuels par une surélévation du niveau du sol d'un mètre (soit six marches) et l'utilisation de matériaux durables permettraient de protéger entre 40% et 55% de la surface actuellement exposée. Le relogement des populations hébergées dans des bâtiments exposés à une profondeur d'inondation supérieure à 2 mètres ne concernerait que 18 % à 27 % de la surface exposée.

Les cartes d'exposition et le traitement du risque proposé par cette évaluation du risque d'inondation peuvent être réutilisés dans le zonage réglementaire des plans de sauvegarde communaux et dans le plan ORSEC départemental. Les surfaces des bâtiments exposées aux inondations T5, 10 et 100, en correspondance avec les débits aux hydromètres le long des rivières Faga, Sirba et Yali, peuvent être intégrées au SAP avec les impacts potentiels.

L'évaluation détaillée du risque d'inondation à méso-échelle, incluant l'identification des localités critiques et des stratégies de réduction du risque appropriées, est possible lorsque le processus est participatif, techniquement rigoureux et s'appuie sur les connaissances locales.

References

- [1] United Nations, Sendai framework for disaster risk reduction 2015-2030, UNDRR, Geneva (Switzerland), 2015.
- [2] J. Leaning, D. Guha-Sapir, Natural disasters, armed conflict, and public health, *New Eng. J. Med.* 369 (2013) 1836–1842. <https://doi.org/10.1056/NEJMr1109877>.
- [3] J. Martinez-Alier, I. Anguelovski, P. Bond, D. Del Bene, F. Demaria, J.-F. Gerber, L. Greyl, W. Haas, H. Healy, V. Marin-Burgos, G. Ojo, M. Porto, L. Rijnhouit, B. Rodriguez-Labajos, J. Spangenberg, L. Temper, R. Warlenius, I. Yáñez, Between activism and science: grassroots concepts for sustainability coined by environmental justice organizations, *J. Pol. Ecol.* 21 (2014) 19–60. <https://doi.org/10.2458/v21i1.21124>.
- [4] D. Roberts, Thinking globally, acting locally – institutionalizing climate change at the local government level in Durban, South Africa, *Environ. Urbanization* 20 (2008) 521–537. <https://doi.org/10.1177/0956247808096126>.
- [5] S.V.R.K. Prabhakar, A. Srinivasan, R. Shaw, Climate change and local level disaster risk reduction planning: need, opportunities and challenges, *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change* 14 (2009) 7–33. <https://doi.org/10.1007/s11027-008-9147-4>.
- [6] J. Coburn, Environmental justice, local knowledge, and risk: the discourse of a community-based cumulative exposure assessment, *Environ. Manag.* 29 (2002) 451–466. <https://doi.org/10.1007/s00267-001-0013-3>.

- [7] M. Pelling, Learning from others: the scope and challenges for participatory disaster risk assessment, *Disasters* 31 (2007) 373–385. <https://doi.org/10.1111/j.0361-3666.2007.01014.x>.
- [8] M.K. Van Aalst, T. Cannon, I. Burton, Community level adaptation to climate change: The potential role of participatory community risk assessment, *Glob. Environ. Chang.* 18 (2008) 165–179. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2007.06.002>.
- [9] J.C. Gaillard, J. Mercer, From knowledge to action: Bridging gaps in disaster risk reduction, *Progress Human Geo.* 37, (2013) 93–114. <https://doi.org/10.1177/0309132512446717>.
- [10] L. Hiwasaki, E. Luna, Syamsidik, R. Shaw, Process for integrating local and indigenous knowledge with science for hydro-meteorological disaster risk reduction and climate change adaptation in coastal and small island communities, *Int. J. Disaster Risk Reduct.* 10 (2014) 15–27. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijdrr.2014.07.007>.
- [11] M.B. Kia, S. Pirasteh, B. Pradhan, A.R. Mahmud, W.N.A. Sulaiman, A. Moradi, An artificial neural network model for flood simulation using GIS: Johor River Basin, Malaysia, *Environ. Earth Sci.* (2011) 67:251–264. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1504-z>.
- [12] M.S. Teherany, B. Pradhan, S. Mansor, N. Ahmad, Flood susceptibility assessment using GIS-based support vector machine model with different kernel types, *Catena* (2015) 125, 91–101. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.10.017>.
- [13] J.H. Danumah, S.N. Odai, B.M. Saley, J. Szarzynski, M.M. Thiel, A. Kwaku, F.K. Kouame, L.Y. Akpa, Flood risk assessment and mapping in Abidjan district using multi-criteria analysis (AHP) model and geoinformation techniques, (cote d’ivoire), *Geoenviron. Disasters* (2016) 3:10. <https://doi.org/10.1186/s40677-016-0044-y>.
- [14] S. Chakaborty, S. Mukhopadhyay, Assessing flood risk using analytical hierarchy process (AHP) and geographical information system (GIS): application in Coochbehar district of West Bengal, India, *Nat. Haz.* 99 (2019) 247–274. <https://doi.org/10.1007/s11069-019-03737-7>.
- [15] R.W. Saaty, The analytical hierarchy process—what it is and how it is used, *9 Math. Modelling* (1987) 3–5, 161–176.
- [16] B. Büchele, K. Kreibich, A. Kron, A. Thielen, J. Ihringer, O. Oberle, B. Merz, F. Nestmann, Flood-risk mapping: contributions towards an enhanced assessment of extreme events and associated risks, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* (2006) 6, 485–503. www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/6/485/2006/
- [17] H. Apel, T. Aronica, H. Kreibich, A.H. Thielen, Flood risk analyses—how detailed do we need to be? *Nat. Haz.* 49 (2009) 79–98. <https://doi.org/10.1007/s11069-008-9277-8>.
- [18] M. Masood, K. Takeuchi, Assessment of flood hazard, vulnerability and risk of mid-eastern Dhaka using DEM and 1D hydrodynamic model, *Nat. Haz.* 61 (2012) 757–770 <https://doi.org/10.1007/s11069-011-0060-x>.
- [19] Y.S. Getahun, S.L. Gebre, Flood Hazard Assessment and Mapping of Flood Inundation Area of the Awash River Basin in Ethiopia using GIS and HEC-GeoRAS/HEC-RAS Model, *J. Civil Environ. Eng.* 5 (2015) 4. <https://doi.org/10.4172/2165-784X.1000179>.
- [20] P.A. Brivio, R. Colombo, M. Maggi, R. Tomasoni, Integration of remote sensing data and GIS for accurate mapping of flooded areas, *Int. J. Rem. Sens.*, 23 (2000). 3. 429–441. <https://doi.org/10.1080/01431160010014729>.
- [21] C.L. Vishnu, K.S. Sajinkumar, T. Oommen, R.A. Coffman, K.P. Thiruvikramji, V.R. Rani, S. Keerthy (2019) Satellite-based assessment of the August 2018 flood in parts of Kerala, India, *Geomatics, Nat. Haz. Risk*, 10 (2019) 1, 758–767. <https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1543212> 2019.
- [22] K. Jacobsen, 2025. Digital elevation models – From satellite images to free available DEMs, *Int. Arch. Photogram. Rem. Sens. Spatial Info. Sci.* XLVIII-M-6–2025 147–152. <https://doi.org/10.5194/ISPRS-ARCHIVES-XLVIII-M-6-2025-147-2025>.
- [23] F. McClean, R. Dawson, C. Kilsby, 2020. Implications of using global digital elevation models for flood risk analysis in cities. *Water Resour. Res.* 56, e2020WR028241. <https://doi.org/10.1029/2020WR028241;SUBPAGE:STRING:FULL>.
- [24] M.M. Bennett, C.J. Gleason, K.K. Friedrich, B. Tellman, U. Oviemhada, L.F. Alvarez Leon, A.J. Mathews, 2024. Bringing satellites down to Earth: six steps to more ethical remote sensing. *Glob. Environ. Chang. Advances.* 2, 100003. <https://doi.org/10.1016/j.gecadv.2023.100003>.
- [25] K. Ali, R.M. Bajracharya, H.L. Koirala, A review of flood risk assessment, *Int. J. Environ. Agric. Biotech.* 1 (2016) 1065–1077. <http://dx.doi.org/10.22161/ijeab/1.4.62>.
- [26] A. Almoradie, M.M. de Brito, M. Evers, A. Bossa, M. Lumor, C. Norman, Y. Yacouba, J. Houkpe, 2019. Current flood risk management practices in Ghana: Gaps and opportunities for improving resilience. *J. Flood Risk Manag.* 13, e12664. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12664>.
- [27] N.A. Alias, C. Siwar, M.K. Ismail, N.D.M. Idris, Flood disaster management in Sungai Pahang basin: case of Temerloh, in: Z. Yusop, A. Aris, N.E. Alias, K.V. Annammala, W.L. Waugh (Eds.), *Improving flood management, prediction and monitoring: case studies in Asia*, Emerald publishing, Leeds (England), 2018, pp. 91–102. <https://doi.org/10.1108/S2040-726220180000020017>.
- [28] B. Bwambale, M. Muhumuza, M. Nyeko, 2018. Traditional ecological knowledge and flood risk management: A preliminary case study of the Rwenzori. *Jambá J. Disaster Risk Stu.* 10, a536. <https://doi.org/10.4102/jamba.v10i1.536>Chambre 2018.
- [29] M. Tiepolo, M. Rosso, G. Massazza, E. Belcore, S. Issa, S. Braccio, 2019. Flood assessment for risk-informed planning along the Sirba River, Niger. *Sustainability.* 11, 4003. <https://doi.org/10.3390/su11154003>.

- [30] M. Tiepolo, S. Braccio, E. Fiorillo, A. Galligari, G.L. Katiellou, G. Massazza, V. Tarchiani, 2023. Participatory risk assessment of pluvial floods in four towns of Niger. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* 84, 103454. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.103454>.
- [31] D. Eilander, A. Couasnon, F.C. Sperna Weiland, W. Ligtoet, A. Bouwman, C. Hessel, H.C. Winsemius, P.J. Ward, Modeling compound flood risk and risk reduction using a globally applicable framework: a pilot in the Sofala province of Mozambique, *Nat. Haz. Earth Syst. Sci.* 23 (2023) 2251–2272. <https://doi.org/10.5194/nhess-23-2251-2023>.
- [32] V. Amarakoon, G. Dharmarathne, R. Premasiri, M. Mukherjee, R. Shjaw, D. Wickramasinghe, 2024. Potential for the complementary and integrative use of citizen science and modern science in flood risk reduction: a case study from Sri Lanka. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* 103, 104331. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2024.104331>.
- [33] A.E. Putriasri, L. Eliasta, S.I. Amatullah, C. Sandi, A.R. Pahlevi, S.N. Hikmat, I. Jaya, B. Kosasih, A. Rahmawati, Y. Hermawan, 2024. Giujung river basin flood risk assessment due to climate change and its countermeasures. *IOP conf Ser. Earth Environ.* 1343, 012037. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1343/1/012037>.
- [34] G. Massazza, M. Bacci, L. Descroix, M.I. Housseini, E. Fiorillo, G.L. Katiellou, G. Panthou, A. Pezzoli, M. Rosso, E. Sauzedde, A. Terenziani, T. De Filippis, L. Rocchi, S. Burrone, M. Tiepolo, T. Vischel, V. Tarchiani, 2021. Recent changes in hydroclimatic patterns over medium Niger River basins at the origin of the 2020 Flood in Niamey (Niger). *Water*. 13, 1659. <https://doi.org/10.3390/w13121659>.
- [35] République du Niger, Institut National de la Statistique, Répertoire national des localités (ReNaLoc), Niamey, INS, 2014. https://www.stat-niger.org/wp-content/uploads/renaloc/ReNaLoc_RGPH_2012.pdf.
- [36] International Electrotechnical Commission, International Organization for Standardization, International standard IEC/ISO 31010 Risk management – Risk assessment techniques, International Electrotechnical Commission, Geneva (Switzerland), 2009
- [37] S.N. Jonkman, M. Bockarjova, M. Kok, P. Bernardini, Integrated hydrodynamic and economic modelling of flood damage in the Netherlands, *Ecol. Econ.* 66 (2008) 77–90. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.12.022>.
- [38] H. De Moel, J. van Alphen, J.C.J.H. Aerts, Flood maps in Europe—methods, availability and use, *Nat. Haz. Earth Syst. Sci.* 9 (2009) 289–301. <https://doi.org/10.5194/nhess-9-289-2009>.
- [39] B. Merz, H. Kreibich, A. Thieken, R. Schmidtke, Estimation uncertainty of direct monetary flood damage to buildings, *Nat. Haz. Earth Syst. Sci.* 4 (2004) 153–163. <https://doi.org/10.5194/nhess-4-153-2004>.
- [40] J. Birkmann, T. Welle, Assessing the risk of loss and damage: exposure, vulnerability and risk to climate-related hazards for different country classifications, *Int. J. Glob. Warm.* 8 (2015) 191–212. <https://doi.org/10.1504/IJGW.2015.071963>.
- [41] M. Tiepolo, S. Braccio, Local and scientific knowledge integration for multi-risk assessment in rural Niger, in: M. Tiepolo, A. Pezzoli, V. Tarchiani (Eds.), *Renewing local planning to face climate change in the tropics*, Springer, Cham Switzerland, 2017, pp. 227–245.
- [42] M. Tiepolo, M. Abraiz, M. Bacci, O. Baoua, E. Belcore, G. Cannella, E. Fiorillo, D. Ganora, I.M. Housseini, G.L. Katiellou, M. Piras, V. Tarchiani, Flood damage risk mapping along the River Niger: ten benefits of a participated approach. *Clim.* (2025) 13, 80. <https://www.mdpi.com/2225-1154/13/4/80>.
- [43] J.R.M. Hosking, J.R. Wallis, *Regional frequency analysis: An approach based on L-moments*, Cambridge University Press, 1997.
- [44] M. Marani, M. Ignaccolo, A metastatistical approach to rainfall extremes, *Advances Water Resour.* 79 (2015) 121–126. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2015.03.001>.
- [45] V.T. Nguyen, D. Georges, G. Besançon, Application of variational calculus to parameter estimation in a real hydrological system, *Eur. J. Control* 60 (2021) 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.ejcon.2021.03.009>.
- [46] M.S. Kappes, M. Keller, K. von Elverfeldt, T. Glade, Challenges of analyzing multi-hazard risk: a review, *Nat. Haz.* 64 (2010) 1925–1958. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0294-2>.
- [47] M. Abraiz, E. Belcore, M. Piras, 2025. DEM generation from multi-view satellite images in Sub-Sahel Region. *Int Archives Photogrammetry Rem. Sens. Spatial Info. Sci.* XLVIII-M-6-2025. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-6-2025-9-2025>.
- [48] Choné, G.; Biron, P.M.; Buffin-Bélanger, T. Flood hazard mapping techniques with LiDAR in the absence of river bathymetry data, *E3S Web Conferences* 2018, 40, 06005. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184006005>.
- [49] E. Belcore, M. Piras, A. Pezzoli, G. Massazza, M. Rosso, Raspberry PI 3 multispectral low-cost sensor for UAV based remote sensing. Case study in South-west Niger, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* 2019, XLII-2/W13, 207–214. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-207-2019>.
- [50] M.S. Horritt, P.D. Bates, Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation, *J. Hydrol.* 268 (2002) 87–99. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00121-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00121-X).
- [51] World Health Organisation, *Glossary of health emergency and disaster risk management terminology*, WHO, Geneva (Switzerland), 2020.
- [52] P. Sayers, L. Yuanyuan, G. Galloway, E. Penning-Rowsell, S. Fuxin, W. Kang, C. Yiwei, T. Le Quesne, *Flood risk management. A strategic approach*, UNESCO, Paris, 2013.
- [53] W. Critchley, K. Siegert, *A manual for the design and construction of water harvesting schemes for plant production*, FAO, Rome, 1991. <https://www.fao.org/4/u3160e/u3160e00.htm>.
- [54] Water and Sanitation Program, 2012. Le Niger perd 75 milliards XOF chaque année à cause d'un mauvais assainissement.

<https://documents1.worldbank.org/curated/en/627261468124151217/pdf/684660WSP0ESI00ch00PUBLIC00brochure.pdf> (accessed 1 November 2025).

- [55] P. Dasgupta, S. Sahay, A. Prakash, A. Lutz, Cost effective adaptation to flood: sanitation interventions in the Gandak river basin, India, *Clim. Develop.* 12 (2020) 717–729. <https://doi.org/10.1080/17565529.2019.1682490>.
- [56] R. Brouwer, D.F. Sharmin, S. Elliott, J. Liu, M.R. Khan, Costs and benefits of improving water and sanitation in slums and non-slum neighborhoods in Dhaka, a fast-growing mega-city. *Ecol. Econ.* 207 (2023) 107763. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2023.107763>.
- [57] A. Abdou, S.C. Abdoulahi, M.A. Tidjani, M.S. Hassimi, A.K.A. Sabra, A.E. Soulé, M. Kaire, Économie de la dégradation des terres à Tahoua, Niger. Analyse coût-bénéfice des activités de récupération des terres (banquettes, demi-lunes et cordons pierreux) des quatre sites de la commune rurale de Badaguichiri. 2019. https://spn2a.org/wp-content/uploads/2020/05/ELD-NIG_Rapport_Tahoua_2019-11-22-ELD-Niger-report-INRAN-web.pdf.
- [58] BCEAO-Banque Centrale des Etats de l'Afrique de l'Ouest, Taux d'intérêt légal 2025 des pays de l'UMOA, 2025. <https://www.bceao.int/fr/documents/taux-dinteret-legal> (accessed 1 Novembre 2025).
- [59] République du Niger, Ministère de l'environnement et de lutte contre la desertification, Recueil de fiches techniques de bonnes pratiques de gestion durable des terres (GDT) au Niger, 2022. <https://niger-gdte.net>. (accessed 30 Octobre 2025).
- [60] United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs, Responding to floods in Niger, 2021. <https://www.unocha.org/publication/report/niger/responding-floods.-niger> (accessed 30 October 2025).
- [61] F. Laio, D. Ganora, P. Claps, G. Galeati, Spatially smooth regional estimation of the flood frequency curve (with uncertainty). *J. Hydrology*, 408 (2011) 67–77. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.07.022>.
- [62] M. Abraiz, E. Belcore, M. Piras, DEM generation from multi-view satellite images in Sub-Sahel Region. *Int Archives Photogrammetry Rem. Sens. Spatial Info. Sci.* XLVIII-M-6-2025 (2025). <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-6-2025-9-2025>.
- [63] E. Belcore, Piras, M.; Pezzoli, A., Massazza, G.; Rosso, M. Raspberry PI 3 multispectral low-cost sensor for UAV based remote sensing. Case study in South-west Niger, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* (2019) XLII-2/W13, 207–214. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-207-2019>.
- [64] Wojciech, S.; Kashubin, S.; Ritter, M.; Annkah, A.; Bouchareb, Y.S.E.; Dauphin, Y.; Keyzers, D.; Neumann, M.; Cisse, M.; Quinn, J. Continental-scale building detection from high resolution satellite imagery. 2021. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2107.12283> (accessed 26 June 2026).
- [65] Burkina Faso, MEFP-Ministère de l'Economie des Finances et de la Prospective, Bureau Central du Recensement 2022. Fichier des localités du 5e RGPH. Institut national de la statistique et de la démographie Ouagadougou. www.insd.bf/sites/default/files/2022-07/Fichier%20des%20localites%20RGPH%202019.pdf.
- [66] M. Tiepolo, G. Cannella, M. Abraiz, O. Baoua, E. Belcore, D. Ganora, M.I. Housseini, A. Marmolejo Gutierrez, M. Piras, F. Saretto, R. Vesipa, Dataset on flood risk along the Niger River upstream of Niamey. *Data* 11 (2026) 132. <https://doi.org/10.3390/data11060139>.
- [67] Tiepolo M., Housseini M.I., Cannella G., Ganora D., Katiellou G.L., Marmolejo Gutierrez A., Saretto F., Tarchiani V., Vesipa R. The contribution of fine-grained exposure data to flood risk assessment along the Niger River. *Nat. Haz.* 122 (2026) 554. <https://doi.org/10.1007/s11069-026-08308-1>.
- [68] Brouwer (2022)
- [69] Gandak (2020)

Matériel supplémentaire

Des données complémentaires à ce rapport sont disponibles en ligne à l'adresse suivante : <https://data.mendeley.com/datasets/9v349h653n/6>. La description détaillée des données, des métadonnées, des informations et des connaissances produits pour cette étude est publié dans [66-67].

Annexe 1		Annexe 2	
Karma ouadi hydrogramme total		Instantaneous Unit Hydrograph pour le bassin de Karma	
Temps h (dt=1h)	Q (m³/s)	dt (heures)	Instantaneous Unit Hydrograph
1	0,00	0	0,000373584
2	0,00	1	0,003305352
3	0,00	2	0,007870003
4	0,00	3	0,012924519
5	0,00	4	0,021212639
6	0,01	5	0,031863491
7	0,16	6	0,044379789
8	0,80	7	0,051896
9	2,74	8	0,058041579
10	7,91	9	0,062014929
11	20,54	10	0,068583573
12	47,05	11	0,070916617
13	92,49	12	0,070468811
14	159,84	13	0,069538562
15	250,72	14	0,064775986
16	364,38	15	0,061188591
17	495,20	16	0,056665999
18	629,12	17	0,051940533
19	753,48	18	0,045134379
20	859,93	19	0,037177784
21	949,01	20	0,029384477
22	1016,43	21	0,02165797
23	1058,13	22	0,016573766
24	1069,47	23	0,013743434
25	1051,35	24	0,010502409
26	1010,74	25	0,007543426
27	952,57	26	0,004789791
28	881,26	27	0,002691783
29	796,55	28	0,001605669
30	699,31	29	0,0009921
31	593,24	30	0,000420591
32	486,25	31	1,73E-05
33	388,03		
34	304,49		
35	236,33		
36	180,34		
37	132,66		
38	92,74		
39	61,38		
40	38,53		
41	22,88		
42	12,56		
43	6,13		
44	2,57		
45	0,96		
46	0,33		
47	0,09		
48	0,02		
49	0,00		
50	0,00		
51	0,00		
52	0,00		
53	0,00		
54	0,00		

Annexe 3

Coût-bénéfice du traitement de l'inondation locale TR 10 ans le long du fleuve Niger

Mesure	Coût K €	Unité	Bitinkodji		Gothèye		Karma		Kourteye		Namaro		Total	
			Quantité	K €	Quantité	K €	Quantité	K €	Quantité	K €	Quantité	K €	Quantité	K €
AHA coûts (C)								4 683				115		4797
Surélévation digue	0,229	m					4 175	956			500	115		
Revêtement digue	0,049	m²					16 700	818						
Extension digue	0,229	m					1 400	321						
Ouadi gabions	0,07	m³					1 800	126						
Banquettes + demi-lunes plateau*	0,465	ha					5 294	2 462						
AHA bénéfices (B)								590				54		645
Fourage demi-lunes 4 ans							5 294	270						
Cultures								320				54		
AHA B/C								0,1				0,5		0,1
Bâti coûts						262		1		398		5		717
Sacs de sable	0,0016	1	0		240	0	0	0	3 570	6	285	0	8 940	14
Latrines maisons < 1m eau	0,133	1	0		16	2	0	0	238	32	19	3	273	36
Digue	0,229	1			1 130	259			1 550	355			2 870	657
Signaux	0,007	1			9	0	12	0	78	1	24	0	123	1
Échelle	0,2	1 h 2 m			3	1	4	1	26	5	8	2	41	8
Bâti bénéfices						109		0		145		101		355
Protection latrine	0,082		0		16	2	0	0	238	23	19	2	273	26
Préservation maisons	0,0038	m²	0		707	3	0	0	8 807	40	962	4	10 476	47
Bénéfices santé**	0,01	Habitant	0		8 856	105	0	0	6 974	82	8 021	95	23 851	282
Bâti B/C						0,4		0,0		0,4		21,2		0,5

Coût-bénéfice du traitement de l'inondation locale TR 100 ans le long du fleuve Niger

62

Mesure	Coût K €	Unité	Bitinkodji		Gothèye		Karma		Kourteye		Namaro		Total	
			Quantité	K €	Quantité	K €	Quantité	K €	Quantité	K €	Quantité	K €	Quantité	K €
AHA coûts (C)								4 683				115		4797
Surélévation digue	0,229	m					4 175	956			500	115		
Revêtement digue	0,049	m²					16 700	818						
Extension digue	0,229	m					1 400	321						
Ouadi gabions	0,07	m³					1 800	126						
Banquettes + demi-lunes plateau*	0,465	ha					5 294	2 462						
AHA bénéfices (B)								590				54		645
Fourage demi-lunes 4 ans							5 294	270						
Cultures								320				54		
AHA B/C								0,1				0,5		0,1
Bâti coûts						264		4		427		5		747
Sacs de sable	0,0016	1			420	1	345	1	6 375	10	345	1	8 940	14
Latrine maisons < 1m eau	0,133	1			28	4	23	3	425	57	23	3	499	66
Digue	0,229	1			1 130	259			1 550	355			2 870	657
Signaux	0,007	1			9	0	12	0	78	1	24	0	123	1
Échelle	0,2	1 h 2 m			3	1	4	1	26	5	8	2	41	8
Bâti bénéfices						113		144		246		102		605
Protection latrine	0,082				28	3	23	2	425	41	23	2	499	48
Préservation maisons	0,0038	m²			1 243	6	1 004	5	15 717	71	1 184	5	19 148	86
Bénéfices santé**	0,01	Habitant	3 865	46	8 856	105	11 585	137	11 393	135	8 021	95	39 855	471
Bâti B/C						0,4		32,0		0,6		19,0		0,8

Coût-bénéfice du traitement de l'inondation guinéenne TR 10 ans le long du fleuve Niger

Mesure	Coût K €	Unité	Bitinkodji		Gothèye		Karma		Kourteye		Namaro		Total	
			Quantité	K €	Quantité	K €	Quantité	K €	Quantité	K €	Quantité	K €	Quantité	K €
AHA coûts								0				0		
Surélévation digue	0,229	m						0				0		
Revêtement digue	0,049	m²						0						
Extension digue	0,229	m						0						
Gabions berge Ouadi	0,07	m³						0						
Banquettes (50%)+ demi-lunes (50%) plateau*	0,465	ha						0						
AHA bénéfices														
Fourage demi-lunes 4 ans														
Cultures														
AHA B/C								0,0				0,0		0,0
Bâti coûts						267		4		451		4		768
Sacs de sable	0,0016	1			765	1	255	0	8 640	14	195	0	8 940	14
Latrine maisons < 1m eau	0,133	1			51	7	17	2	576	77	13	2	657	87
Digue	0,229	1			1 130	259			1 550	355			2 870	657
Signaux	0,007	1			9	0	12	0	78	1	24	0	123	1
Échelle	0,2	1 h 2m			3	1	4	1	26	5	8	2	41	8
Bâti bénéfices						120		5		292		99		516
Protection latrine	0,082				51	5	17	2	576	56	13	1	657	64
Préservation maisons	0,0038	m²			2 290	10	738	3	21 305	96	671	3	25 004	112
Bénéfices santé**	0,01	Habitant		0	8 856	105	0	0	11 929	141	8 021	95	28 806	340
Bâti B/C						0,4		1,4		0,6		26,0		0,7

Coût-bénéfice du traitement de l'inondation guinéenne TR 100 ans le long du fleuve Niger

Mesure	Coût K €	Unité	Bitinkodji		Gothèye		Karma		Kourteye		Namaro		Total	
			Quantité	K €	Quantité	K €	Quantité	K €	Quantité	K €	Quantité	K €	Quantité	K €
AHA coûts								0				0		
Surélévation digue	0,229	m						0				0		
Revêtement digue	0,049	m²						0						
Extension digue	0,229	m						0						
Gabions berges Ouadi	0,07	m³						0						
Banquettes (50%) + demi-lunes (50%) plateau*	0,465	ha						0						
AHA bénéfices														
Fourage demi-lunes 4 ans														
Cultures														
AHA B/C								0,0				0,0		0,0
Bâti couts						267		4		451		4		768
Sacs de sable	0,0016	1			765	1	255	0	8 640	14	195	0	8 940	14
Latrines maisons < 1m eau	0,133	1			51	7	17	2	576	77	13	2	657	87
Digue	0,229	1			1 130	259			1 550	355			2 870	657
Signaux	0,007	1			9	0	12	0	78	1	24	0	123	1
Échelle	0,2	1 h 2 m			3	1	4	1	26	5	8	2	41	8
Bâti bénéfices						120		142		285		99		646
Protection latrine	0,082				51	5	17	2	576	56	13	1	657	64
Préservation maisons	0,0038	m²			2 290	10	738	3	21 305	96	671	3	25 004	112
Bénéfices santé**	0,01	Habitant			8 856	105	11 585	137	11 329	134	8 021	95	39 791	470
Bâti B/C						0,4		39,9		0,6		26,0		0,8

Culture protégée par AHA

Horizon temporel de l'analyse coûts-avantages : 10 ans, taux légal au Niger : 5,5 [58].

*Digues trapézoïdales sylvo-pastorales + forestières en demi-lune/2 [59].

**Bénéfices étendus à l'ensemble de la population des établissements humains exposés aux inondations, sur la base du coût annuel moyen de 10 € / habitant des dépenses de santé évitées pour le traitement des maladies liées aux inondations (Programme eau et assainissement du Niger 2012 ; 22 €/an/habitant [66] ; 10 €/an/habitant [67].

