



HAL
open science

Vulnérabilité urbaine au Sahel : Ouagadougou (Burkina Faso) et Bamako (Mali) sous le poids des inondations

Mwingnè Da

► To cite this version:

Mwingnè Da. Vulnérabilité urbaine au Sahel : Ouagadougou (Burkina Faso) et Bamako (Mali) sous le poids des inondations. Géographie. Université Paris-Saclay; Université Joseph Ki-Zerbo (Ouagadougou, Burkina Faso), 2021. Français. NNT : 2021UPASU007 . tel-03545231

HAL Id: tel-03545231

<https://theses.hal.science/tel-03545231v1>

Submitted on 27 Jan 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Vulnérabilité urbaine au Sahel : Ouagadougou (Burkina Faso) et Bamako (Mali) sous le poids des inondations

*Urban vulnerability in the Sahel: Ouagadougou (Burkina
Faso) and Bamako (Mali) under the weight of floods*

**Thèse de doctorat en cotutelle internationale de l'université Paris-
Saclay et de l'université Joseph KI-ZERBO**

École doctorale n° 629 : Sciences sociales et humanités (SSH)

Spécialité de doctorat : Géographie

Unité de recherche : Université Paris-Saclay, UVSQ, CEMOTEV, 78000, Versailles, France

Référent : Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines

**Thèse présentée et soutenue à Paris-Saclay,
le 14 10 2021, par**

Mwingnè Laure Carolle DA

Composition du Jury

Sandrine ANQUETIN

Directrice de recherche, CNRS, Université Grenoble-Alpes (France)

Présidente

Elise BECK

MCF HDR, Université Grenoble-Alpes (France)

Rapporteuse et examinatrice

Monkindé Nelly Carine KELOME

Professeure Titulaire, Université Abomey-Calavi (Bénin)

Rapporteuse et examinatrice

Marion AMALRIC

MCF HDR, Université de Tours (France)

Examinatrice

Jean Marie DIPAMA

Professeur Titulaire, Université Joseph KI-ZERBO (Burkina Faso)

Examinateur

Kouassi Félix DONGO

Professeur Titulaire, Université Félix Houphouet BOIGNY (Côte d'Ivoire)

Examinateur

Direction de la thèse

Emmanuel BONNET

Directeur de recherche, Institut de Recherche pour le Développement

Directeur de thèse

Bila Gérard SEGDA

Professeur Titulaire, Université Joseph KI-ZERBO (UJKZ)

Co-Directeur de thèse



UNIVERSITE JOSEPH KI ZERBO

ÉCOLE DOCTORALE SCIENCES ET TECHNOLOGIES (ST)

Laboratoire de Physique et de Chimie de
l'Environnement (LPCE)

université
PARIS-SACLAY

N° d'ordre :

THESE

en cotutelle internationale avec l'université Paris Saclay

Présentée pour obtenir le grade de

Docteur de l'Université Joseph KI ZERBO (UJKZ)

Spécialité : Sciences de l'environnement

Par

Mwingnè Laure Carolle DA

Thème

Vulnérabilité urbaine au Sahel : Ouagadougou (Burkina Faso) et Bamako (Mali) sous le poids des inondations

Soutenue publiquement le **14 octobre 2021** à Paris Saclay

Membres du jury :

Présidente :

- **Sandrine ANQUETIN**, Directrice de recherche, CNRS, Université Grenoble-Alpes (France)

Rapporteur(e)s externes :

- **Elise BECK**, MCF HDR, Université Grenoble-Alpes (France)
- **Monkindé Nelly Carine KELOME**, Professeure Titulaire, Université Abomey-Calavi (Bénin)

Rapporteur interne :

- **Jean Marie DIPAMA**, Professeur Titulaire, Université Joseph KI-ZERBO (Burkina Faso)

Examineur/trice :

- **Kouassi Félix DONGO**, Professeur Titulaire, Université Félix Houphouet BOIGNY (Côte d'Ivoire)
- **Marion AMALRIC**, MCF HDR, Université de Tours (France)

« Nous n'avons pas choisi le thème de cette recherche. Il s'est imposé à nous par sa présence constante [...] dans notre environnement comme nos préoccupations personnelles. Nous l'avons vécu avant de le penser ».

Ngaressem (1998)

DÉDICACE

À ma famille, spécialement à mes parents pour tous les sacrifices consentis pour moi, pour l'affection et le soutien indéfectible.

À mon tendre époux Matthieu SOME, pour l'épaule et le constant appui, même au tréfonds de ma vulnérabilité.

« La vulnérabilité des choses précieuses est belle parce que la vulnérabilité est une marque d'existence. » Simone Weil



AVANT-PROPOS

Le projet Rain Cell (Rain Measurement from Cellular Networks) Africa est un projet issu de la collaboration de scientifiques du Burkina Faso et de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) et financé par la Banque Mondiale.

Initiée à Ouagadougou (Burkina Faso) en 2015, la phase 1 de RainCell consistait à mesurer la pluie à partir des réseaux de téléphonie cellulaire. Après cette phase, un deuxième volet du projet Raincell (Raincell phase 2) a été entamé et visait à comprendre la vulnérabilité sociale des populations sahéliennes aux risques d'inondations urbaines. Les villes de Ouagadougou et Bamako dans leur ensemble ont été identifiées comme site pour la réalisation de cette étude. Après l'enquête sociale de Ouagadougou en mars 2017, Bamako a suivi pour l'analyse de la vulnérabilité. Ainsi, du 25 novembre 2018 au 14 décembre 2018, l'étude de la vulnérabilité des citoyens de la ville de Bamako et de leur réaction à des informations potentielles d'alerte d'inondation a été effectuée sur la base d'une enquête sur les ménages. Les enquêtes ont été élaborées sur la même base de questions dans les deux villes. Il s'est agi de s'intéresser au lien possible entre vulnérabilité des habitants de Bamako et de Ouagadougou aux inondations, à leur capacité de récupération après un phénomène d'inondation et à la possibilité de les avertir avant qu'une forte pluie ne survienne. Ce dernier aspect implique de savoir quel type d'informations devrait être donné. Pour quoi faire ? Cela induit également des questionnements sur les comportements des populations en cas d'alerte : pourraient-elles se comporter de manière inadéquate une fois averties ? Pourraient-elles paniquer ? Que se passerait-il si les fausses alertes augmentaient ? Les questions auxquelles la phase 2 du projet tentait de répondre portaient ainsi sur la résilience des personnes et leur capacité d'adaptation face au risque d'inondation, et permettaient d'analyser les capacités sociales, culturelles, mentales et techniques.

Notre thèse s'inscrit dans le cadre de cette phase 2 du projet Raincell. Elle a ainsi reçu le soutien financier de l'IRD à travers les fonds mobilisés par le Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (GFDRR) dans le cadre du projet, mais également le soutien de l'ambassade de France à travers la bourse de mobilité du Service de Coopération et d'Action Culturelle (SCAC). Par ailleurs, la région Ile-de-France et l'Agence Universitaire de la Francophonie (AUF) ont également contribué financièrement aux travaux en mettant à disposition une bourse de mobilité internationale qui a permis certains séjours dans les villes d'étude et au Canada. La bourse nationale du Burkina Faso a complété les financements pendant trois ans.

REMERCIEMENTS

« Pour la majorité des doctorants, il arrive un jour où il devient vital d'en finir... » (Lhéréty, 2011)

À l'entame de cette partie oh combien importante pour moi, des sentiments contradictoires m'inondent (comme le thème de ma thèse !), et se matérialisent par deux mots dont je n'avais jusqu'alors pas mesuré la portée : « Enfin » et « Gratitude ».

« Enfin » du fait que je vois au bout du compte la ligne droite finale de la rédaction de la thèse et aperçois le bout du tunnel de ce marathon transformé en « sprint » final. *La thèse s'apparente à une épreuve personnelle* (Lhéréty, op.cit) qui s'est révélée éprouvante à bien des égards. Elle fut somme toute une expérience certes difficile sur le plan moral, physique et psychologique, mais qui s'est révélée enrichissante et formatrice sur le plan intellectuel, social et émotionnel.

« Gratitude », car ces aspects ne m'auraient pas été aussi profitables sans le concours de nombreuses personnes, physiques et morales. Leur exprimer ma gratitude est une démarche assez complexe tant elle est importante à mes yeux et ne saurait réellement se traduire par quelque mot que ce soit, que je trouve bien trop faible pour traduire toute ma reconnaissance. Je me penche cependant volontiers à cet exercice dans les lignes qui suivent en espérant toutefois que la formulation utilisée se rapprochera au mieux de ce que je souhaite exprimer. Il n'y a que sur ces quelques pages que j'ai le droit de vous parler, à vous lecteurs ou proches, de mon expérience en tant que doctorante, des péripéties par lesquels je suis passée et des personnes qui ont permis que cette phase d'écriture scientifique nécessairement sobre pour respecter les us et coutumes en science puisse être entamée. Je ne m'en priverais donc pas.

Je tiens en premier lieu à remercier mes deux directeurs de thèse :

- M. Emmanuel BONNET, directeur de recherche à l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) et directeur de ce travail, pour m'avoir permis de travailler sur un sujet particulièrement adapté à mes aspirations et à mes intérêts et avoir accepté de m'intégrer à son équipe, me permettant d'approfondir auprès d'eux ma formation de géographe. Son appui intellectuel et psychologique, ses encouragements constants et ses nombreux conseils avisés ont pesé lourd dans l'achèvement de ma thèse. Pour cela, je lui en saurais à jamais gré. Ma thèse n'a pas été un long fleuve tranquille, mais pendant les moments de tumulte, j'ai toujours su compter sur un soutien de taille auprès de lui. Je le remercie également d'avoir pris le temps de m'expliquer et parfois de me réexpliquer certains concepts qui m'ont permis d'enrichir mes connaissances, pour les discussions autour des pistes à creuser ou à mettre en perspectives, pour ses encouragements constants et pour toutes les opportunités qu'il m'a offertes.

▪ Pr Bila Gérard SEGDA, professeur titulaire de physique à l'Institut de Génie de l'Environnement et du Développement Durable (IGEDD), pour avoir accepté de diriger également ce travail et m'avoir parfaitement intégrée dans le laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement (LPCE). Je lui exprime ma reconnaissance pour sa disponibilité, son appui constant et pour les longues discussions que nous avons pu mener durant ces années de recherche pour prendre en compte l'aspect environnemental des inondations. Je le remercie également pour toutes les personnes physiques et morales qu'il m'a recommandées et permises de rencontrer afin de disposer de données pour l'accomplissement de ce travail. Je lui exprime également ma reconnaissance pour toutes les opportunités qu'il m'a permises de saisir et pour sa sollicitude.

Je remercie tous les membres du jury d'avoir accordé du temps à l'évaluation de cette thèse. Merci pour les nombreux conseils, l'effort appréciable de relecture et les critiques qui ont énormément contribué à l'amélioration de la qualité de ce travail. Ainsi, je remercie Mme Elise BECK, Maîtresse de Conférence HDR à l'Université Grenoble Alpes, Mme Monkindé Nelly Carine KELOME, Professeure titulaire à l'université Abomey-Calavi et M. Jean-Marie DIPAMA, Professeur titulaire à l'université Joseph KI-ZERBO, de l'honneur qu'ils m'ont fait d'avoir accepté d'être les rapporteurs de cette thèse et pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail. Je tiens également à remercier Mme Sandrine ANQUETIN, Directrice de recherche au CNRS pour avoir accepté de présider ce jury de thèse. Un grand merci à Mme Marion AMALRIC, Maîtresse de Conférence HDR à l'université de Tours et M. Kouassi Félix DONGO, Professeur Titulaire à l'Université Félix Houphouet BOIGNY pour avoir accepté de siéger à ce jury.

Cette thèse a été réalisée au sein du Centre d'Études sur la Mondialisation, les Conflits, les Territoires et les Vulnérabilités (CEMOTEV), membre de l'Université de Versailles Saint-Quentin en Yvelines (UVSQ) avec l'appui important de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD), et également au sein du LPCE, membre de l'Université Joseph KI-ZERBO. Je tiens à exprimer mes remerciements aux différents responsables de ces structures et leur personnel pour toute l'aide que j'ai reçue durant mes travaux de thèse, à travers mon accueil et mon intégration, et pour avoir facilité ce projet. Mes remerciements vont à l'endroit de Pr Antoine BERE, directeur du LPCE et du Pr Vincent GERONIMI, directeur du CEMOTEV pour mon intégration dans les différents laboratoires et l'aide précieuse reçue pour faciliter le projet doctoral. Je remercie chaleureusement Loïc PIAN pour son accompagnement

pour mes inscriptions et pour avoir géré d'une main de maître les aspects techniques de ma soutenance en ligne.

Je remercie Pierre MORAND, Catherine PAZQUEZ (notre chère maman Bondy !), Jean-Luc DUBOIS et Patrick GUBRY de l'IRD Bondy pour leur accueil chaleureux durant mes mobilités, tout leur appui et le partage de leurs connaissances sur divers aspects de la vie, qui m'ont édifiée durant la thèse. À travers eux, je remercie toute l'équipe Résilience à Bondy et ailleurs.

Ma gratitude va également à l'endroit de l'équipe Raincell Africa qui n'a ménagé aucun effort pour faciliter mes travaux notamment à travers le financement de mes séjours au Mali dans le cadre du projet Raincell. Mes remerciements vont en particulier à M. CAZENAVE et Mme NANE, qui ont tous deux contribué à fournir des données pluviométriques et des Modèles numériques de Terrain (MNT) des deux villes d'étude à un moment crucial de la thèse, ainsi qu'à M. ALCOBA et M. BOUVIER.

À Bamako, je tiens à remercier le Représentant de l'IRD, M. Laurent VIDAL et tout son staff pour l'accueil chaleureux et toute l'aide reçue, ainsi que M. SOLIMANE pour les recommandations de personnes à rencontrer et les discussions. Je remercie également Mama SANOGO avec qui j'ai collaboré pour la coordination de l'enquête, pour son dynamisme, sa grande humanité et toute l'aide que j'ai reçue pour comprendre les problématiques propres à Bamako. Merci à Mohamed SANOGO de m'avoir permis de m'imprégner du Bamako profond et de m'avoir aidée à me déplacer dans le cadre des entretiens à réaliser. Merci aussi à tous les enquêteurs recrutés dans le cadre de l'enquête Raincell Bamako, pour avoir contribué à la réalisation de ses travaux.

Je remercie Pr Jean CARTIER-BRESSON et Pr Vincent GEROMINI pour le suivi de ma thèse à travers les comités de thèse de Paris Saclay et toutes les réponses qu'ils ont su fournir quant aux difficultés qui ont pu se présenter. Mes remerciements vont également à l'endroit des membres du comité de thèse de l'Université Joseph KI-ZERBO dont les commentaires et suggestions ont été d'un apport certain pour la bonne conduite des travaux, à une période où j'étais tentée de me disperser. Ainsi, je remercie sincèrement le Pr Harouna KARAMBIRI, Dr Paul SAVADOGO directeur de recherche et Dre Suzanne YAMEOGO, maîtresse de conférence. Je suis également reconnaissante pour ses conseils avisés et ses recommandations.

Je remercie Mme NIKIEMA, Mme ROBERT, Mme AMALRIC pour leurs conseils avisés et tous leurs encouragements. Un grand merci à Hugues HANGNON pour sa franche

collaboration et son aide multiforme, à Paulin HIEN pour certaines données ainsi qu'à Dansiné DIARRA pour son aide dans l'utilisation de l'application Kobocollect.

J'exprime ma gratitude aux municipalités de Bamako et Ouagadougou et leurs démembrements ainsi qu'à toutes les responsables de structures que j'ai eu à approcher dans le cadre de la thèse et tous les habitants qui ont bien voulu prendre part aux deux enquêtes. Je remercie également toutes les personnes ressources rencontrées à Bamako et Ouagadougou qu'il me sera difficile de lister du fait de leur nombre. Merci au centre régional Agrhymet d'avoir fourni des données pluviométriques sur les deux villes et aux services de la météo Burkina pour les données fournies.

Mes remerciements s'adressent également à mes collègues de travail et amis doctorants, camarades de « lutte » de divers horizons. Je me réserve le droit de ne pas citer de noms de peur d'en oublier, mais je tiens à exprimer à tous toute ma reconnaissance pour l'assistance, l'atmosphère conviviale et le partage de connaissance et de données.

Je remercie chaleureusement mes amis et ma famille élargie de Ouagadougou et de France, qui chacun à leur manière ont enrichi mes années de thèse et ont réussi très efficacement à me faire penser à autre chose qu'aux risques et aux inondations, quand cela se révélait nécessaire. Merci à tous mes « beaux » et « belles » pour les encouragements, les relectures et le soutien moral.

Je tiens particulièrement à remercier mes parents, mon frère et ma sœur pour m'avoir donné tous les moyens de mener à bien mes études et pour le soutien constant qui m'a permis de garder le cap. Merci d'avoir été présents quand rien ne semblait aller et de vous être démenés pour me trouver des solutions dans des domaines étrangers à votre centre de prédilection, la médecine. Merci surtout d'avoir cru en moi à tout instant et de m'avoir encouragé et défendu. Sur les chemins de l'analyse de la vulnérabilité des populations du Sahel face aux inondations, j'ai découvert ma propre vulnérabilité physique et émotionnelle. Sans vous, je n'aurais certainement pas pu découvrir à quel point je peux faire preuve de résilience malgré diverses embûches. Merci aussi pour cela.

Enfin, ma très grande gratitude va à l'endroit de mon époux, Matthieu, mon pilier et mon soutien de tout temps. Merci de m'avoir supportée et soutenue depuis fort longtemps et particulièrement durant ces quatre années de thèse. Merci pour l'aide précieuse en statistique, pour l'oreille particulièrement attentive, pour l'épaule et le réconfort pendant les phases de stress et/ou de découragement. « Démarrer une thèse est souvent exaltant, la principale difficulté consiste à tenir à la distance » (Lhéréty, 2011). Merci de m'avoir encouragée à tenir

la distance, d'avoir cru en moi, même lorsque je n'y croyais plus moi-même, et pour m'avoir poussée à garder la cadence pour achever mes travaux. Merci d'être un compagnon, un partenaire et un soutien dans divers aspects. J'espère que ce travail qui est le nôtre te rendra fier.

J'ai envie du coup de m'excuser pour le stress que ces quatre ans ont pu engendrer à mon entourage (surtout vers la fin !), à **mes directeurs** et à **ma famille** qui n'ont du reste jamais cessé de s'inquiéter de me savoir loin en pleine phase de pandémie mondiale, ou au cœur du Mali, parfois aux prises d'attaques terroristes. Quatre années, ce fut long... mais pas tant que ça pour avoir le recul nécessaire, optimiser son travail, arracher parfois des données aux administrations, qui pour certaines, semblent prendre un malin plaisir à nous voir les supplier. Quatre ans... ça peut également se révéler très court pour maîtriser un sujet et le maturer, comprendre les contours de concepts, faire des choix méthodologiques et les assumer pleinement, choisir des pistes de travail pour au final connaître la frustration de devoir les abandonner... Quatre ans de thèse, c'est également désespérer quelque temps pour des résultats qu'on ne comprend pas ; mais, c'est surtout s'exalter pour les petites victoires, les petits paragraphes écrits après d'innombrables ratures... les mots recherchés pendant des jours... c'est découvrir au bout de longues nuits de travail qu'on a pu écrire 300 pages d'une histoire qu'au finish on espère impactante. Ces quatre années de thèse au final m'ont permis de faire de belles rencontres humaines et professionnelles, d'avoir des interactions avec des personnes formidables et des administrations dynamiques et de jeter les jalons pour l'après-doctorat.

À la lecture de ma thèse, vous aurez peut-être le sentiment qu'elle s'apparente juste à un pavé jeté dans la mer des sciences du risque. Ce pavé cependant est d'une grande importance pour moi et, je l'espère, contribuera à l'édification d'un pont entre acteurs et populations pour une meilleure gestion du risque inondation.

À tous les lecteurs étrangers aux problématiques du Sahel, j'ose espérer pouvoir vous plonger dans l'univers sahélien fait de soleil et de chaleur humaine, où le risque au-delà des aspects négatifs se conjugue tant bien que mal aux sourires et aux rires, somme toute laissant présager une forme de résilience.

Merci à vous tous qui prendrez le temps de découvrir cette contribution scientifique...

NB : les mots soulignés et suivis d'un astérisque (*) dans la thèse sont définis dans la partie lexicale pour faciliter la compréhension du texte.

SIGLES ET ABRÉVIATIONS

ACM : Analyse des Correspondances Multiples

ACP : Analyse en Composantes Principales

ACR : Anomalies Centrées Réduites

AFD : Agence Française pour le Développement

AFP : Agence France Presse

AFRISTAT : Observatoire économique et statistique d'Afrique subsaharienne

AGRHYMET : Centre agrohydrométrie

AHP : Processus D'analyse Hiérarchique

AIC : Akaike Information Criterion

AUF : Agence Universitaire de la Francophonie

AWEI : Automated Water Extraction Index

CAEB : Conseil Appui pour l'Education à la Base

CAH : Classification Ascendante Hiérarchique

CAS : Cadre d'Action de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe

CEDEAO : Communauté Économique des États de l'Afrique de l'Ouest

CEMOTEV : Centre d'Études sur la Mondialisation, les Conflits, les Territoires et les Vulnérabilités

CEREMA : Centre d'Études et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement

CGCT : Code général des Collectivités Territoriales

CONASUR : Conseil National de Secours d'Urgence et de Réhabilitation

CORUS : Centre des Opérations de réponse aux Urgences Sanitaires

CRED: Centre for Research on the Epidemiology of Disasters

CYPRES : Centre d'information pour la prévention des risques majeurs

DG COAC : Directeur général du Contrôle des Opérations d'Aménagement et de Construction

DGPC : Direction Générale de la Protection Civile

DGRE : Direction Générale des Ressources en Eau

DGSS : Direction Générale des Services Sociaux

DGUVT : Direction Générale de l'Urbanisme, de la Viabilisation et de la Topographie

DNH : Direction nationale de l'Hydraulique

EM-DAT: Emergency Events Database
FIT : Front Inter-Tropical
FVI: Flood Vulnerabilty Index
GEV : loi Généralisée des Valeurs Extrêmes
GFDRR: Global Facility for Disaster Reduction and Recovery
GIE : Groupement d'Intérêt Economique
HLM : Habitats à Loyer Modéré
IGEDD : Institut de Génie de l'Environnement et du Développement Durable
IMReD : Introduction, Méthodes, Résultats et Discussion
INERIS : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques
INSD : Institut National de la Statistique et de la Démographie
Instat-Mali : Institut National de la Statistique du Mali
IRD : Institut de Recherche pour le Développement
LPCE : Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement
MEDD : Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable
MHU : ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme
MNT : Modèle Numérique de Terrain
NDVI : Normalized Difference Vegetation Index
OMS : Organisation mondiale de la santé
ONU : Organisation des Nations Unies
ORSEC : Organisation des Secours
PGRCI : Projet de Gestion des Risques Climatiques et d'Inondation
PME : Petites et Moyennes Entreprises
PNA : Politique nationale de l'Assainissement
POS : Plan d'Occupation des Sols
PTF : Partenaires techniques et financiers
PRIMARISK® : Plateforme de Ressources Intégrées pour la Maîtrise des Risques majeurs
RGPH : Recensement général de la Population et de l'Habitat
RRC : Réduction de Risque de Catastrophe
SAVI: Soil Adjusted Vegetation Index
SDAB : Schéma Directeur d'Assainissement de Bamako
SPAQPO : Sous-Projet d'Assainissement des Quartiers Périphériques de Ouagadougou
SPONG : Secrétariat permanent des organisations non gouvernementales

TWI: Topographic Wetness Index

UE : Union européenne

UI: Urban Index

UICN : Union internationale pour la conservation de la nature et ses ressources

UNESCO : Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture

UICN : Union internationale pour la conservation de la nature

UNICEF : Fonds des Nations unies pour l'Enfance

UNISDR : Bureau des Nations Unies pour la Réduction des Risques de Catastrophes

UVSQ : Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines

SOMMAIRE

DÉDICACE	ii
AVANT-PROPOS	iii
REMERCIEMENTS	iv
SIGLES ET ABRÉVIATIONS	ix
SOMMAIRE	xii
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
PARTIE I. LES CADRES DE L'ÉTUDE : DES HOMMES ET DES RISQUES URBAINS	7
Introduction.....	7
Chapitre 1. Le cadre théorique : concepts et généralités sur les inondations dans les villes du Sud.....	8
Chapitre 2. Le cadre méthodologique des études sur les vulnérabilités face aux inondations.....	51
Chapitre 3. Le cadre géographique : Bamako et Ouagadougou, des villes sahéliennes propices aux catastrophes naturelles.....	84
Conclusion Partie I.....	116
PARTIE II. VULNÉRABILITÉ PHYSIQUE ET ENVIRONNEMENTALE : DEUX CAPITALES SAHÉLIENNES SOUS LES EAUX	118
Introduction.....	118
Chapitre 4. Comprendre l'aléa inondation et la vulnérabilité biophysique : une démarche adaptée à Ouagadougou et Bamako.....	120
Chapitre 5. La vulnérabilité biophysique au prisme de l'analyse de l'aléa à Ouagadougou et à Bamako.....	164
Conclusion Partie II.....	196
PARTIE III. VULNÉRABILITÉ SOCIALE : OUAGALAIS ET BAMAKOIS FACE A LA FUREUR DES EAUX	198
Introduction.....	198
Chapitre 6. Analyser la vulnérabilité sociale : le choix d'une méthodologie mixte.....	199

Chapitre 7. Vulnérabilité sociale de Ouagadougou et de Bamako : deux sociétés menacées par les inondations.....	229
Conclusion partie III.....	272
PARTIE IV. GESTION DU RISQUE A OUAGADOUGOU ET A BAMAKO : ENTRE FAIBLESSES ET OPPORTUNITÉS	274
Introduction	274
Chapitre 8. Un cadre de référence international et des politiques nationales au service de la gestion des inondations	276
Chapitre 9. Capacité de réponse des acteurs aux inondations : un foisonnement de gestionnaires pour des résultats mitigés	334
CONCLUSION PARTIE IV	363
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	365
Résumé des contributions scientifiques de la thèse.....	365
Limites de l'étude.....	368
Quelques solutions envisageables	369
Perspectives de recherche.....	370
RÉFÉRENCES	373
LEXIQUE	398
ANNEXES.....	399
Annexe 1 : Quelques facteurs de vulnérabilité d'après Veyret (Veyret & Reghezza, 2005)	399
Annexe 2 : Formules de calcul des indices pluviométriques de l'ETTCDMI	400
Annexe 3 : Description des tests de tendance et de ruptures.....	401
Annexe 4 : Tests d'hypothèse de l'analyse fréquentielle et considérations théoriques des modèles fréquents choisis.....	404
Annexe 5 : Échelle de comparaison binaire d'après Saaty (1981) et Griot (2003)	408
Annexe 6 : Modèle de grille d'archivage de l'information	409
Annexe 7 : Cartes des facteurs intervenant dans la vulnérabilité biophysique	410

Annexe 8 : Questionnaires	413
Annexe 9 : Détermination de la taille de l'échantillon.....	417
Annexe 10 : Exemple de guides d'entretien.....	419
Annexe 11 : Liste des structures ayant pris part aux entretiens	421
Annexe 12 : Recodage des variables intervenant dans l'indice de bien-être économique. 422	
Annexe 13 : Exemple de processus de regroupement de modalités de faible modalité.....	423
Annexe 14 : Zones de moyens d'existence du District de Bamako	424
Annexe 15 : Arbres hiérarchiques en fonction des axes factoriels 1 et 2.....	425
Annexe 16 : Indice de vulnérabilité socio-spatiale à Bamako en fonction des modalités . 426	
Annexe 17 : Décision de non-intervention du CONASUR dans les zones inondables identifiées	431
Annexe 18 : Suspension temporaire des dossiers de promotion immobilière au Burkina Faso	432
Annexe 19 : Schéma de synthèse du cadre systémique d'analyse de la vulnérabilité	433
LISTE DES TABLEAUX	434
LISTE DES IMAGES	435
LISTE DES FIGURES	436
LISTE DES PHOTOGRAPHIES	440
LISTE DES ANNEXES	441
TABLE DES MATIERES	442
ABSTRACT:.....	454
RESUME.....	455

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La problématique de la gestion des risques demeure depuis près d'un demi-siècle au cœur des préoccupations internationales et nationales aussi bien au niveau politique, institutionnel et scientifique, qu'au sein des populations dans leur ensemble (Dauphiné & Provitolo, 2013). L'étude des risques est devenue un centre d'intérêt majeur pour toutes les sociétés du fait de son impact grandissant sur le mode et la qualité de vie des populations à travers le monde. En effet, tous les niveaux d'activités sont susceptibles d'être impactés par la survenue d'évènements dommageables et de générer des risques pour les individus. Ainsi, chaque année, des risques divers (inondations, sécheresses, accidents technologiques...) entraînent des bouleversements importants et des catastrophes dans plusieurs localités, mettant à nu les difficultés des sociétés à faire face aux dommages. Les politiques se voient par conséquent de plus en plus jugés sur leur capacité à gérer efficacement la survenue d'évènements dommageables, particulièrement en ce qui concerne la protection des personnes et des biens.

La prise en compte des risques dans la gestion des territoires s'est ainsi imposée au fil du temps comme une nécessité centrale dans l'élaboration de politiques* d'aménagement, du fait des bouleversements parfois irréversibles que leur survenue entraîne dans toutes les sociétés.

De ce fait, la survenue de plus en plus médiatisée des catastrophes, qu'elles soient d'origine naturelle ou anthropique, ramène sur la table des réflexions les questions d'analyse de la sécurité de nos sociétés (Bonnet, 2002) et de leur exposition aux risques. Depuis près d'un demi-siècle maintenant s'est engagée dans le monde une lutte contre les évènements dommageables à travers la mise en œuvre de projets, programmes* et études variés.

Cependant, malgré tous les moyens engagés, des évènements tels que la pandémie de la COVID-19 viennent périodiquement rappeler la vulnérabilité mondiale face aux risques. Cette pandémie a mis en exergue la nécessité des États de se préparer au niveau national, régional et mondial à la survenue de catastrophes, principalement celles liées aux risques naturels.

Ces derniers, survenant de manière lente ou brutale à la suite de phénomènes d'origine atmosphérique, biologique, géologique ou hydrologique, restent parmi les évènements les plus dommageables dans le monde et sont en augmentation fulgurante depuis quelques années. Ainsi, l'analyse de la base de données Emergency Events Database (EM-DAT) du CRED (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters) permet de constater depuis quelques décennies une accélération de la fréquence des risques naturels partout dans le monde. En effet, 7 348 évènements ont été recensés au cours des 20 dernières années (2000 à 2019) contre 4 212 évènements entre 1980 et 1999 (CRED, 2020).

En outre, les risques naturels dans leurs diverses expressions (inondation, sécheresse, séisme, éruption volcanique...) entraînent des dégâts humains et matériels importants, aussi bien dans les pays développés que dans les pays en voie de développement.

Même si tous les États et toutes les activités à l'heure actuelle sont menacés par ces risques naturels, force est de constater une inégalité en termes d'occurrence et de capacités de gestion, avec une exposition beaucoup plus importante de certains territoires. Globalement, les pays en développement, principalement les « pays du Sud » restent les plus impactés par les catastrophes d'origine naturelle avec un nombre de personnes affectées plus important qu'ailleurs dans le monde. Cela s'explique à la fois par leur position géographique qui favorise des événements climatiques dommageables, leurs particularités démographiques à la base d'une exposition plus accrue de certaines populations, mais également par les moyens techniques et humains à disposition pour faire face aux phénomènes.

Les changements climatiques déjà amorcés dans plusieurs de ces pays ont tendance à empirer la situation depuis le début du millénaire (Douglas et al., 2008), avec la hausse des températures et des événements extrêmes. Cette tendance devrait perdurer à mesure que les effets du changement climatique s'intensifient. D'après Hauhouot (2008), pour le risque inondation par exemple, plus d'un demi-million de personnes vont être touchées en Afrique chaque année suite à des pluies diluviennes. Pour les décennies de 2000 à 2019, le continent africain a déjà fait face à au moins 1143 catastrophes naturelles entraînant 46 078 décès et affectant au moins 337 millions de personnes d'après le CRED (2020). Les catastrophes survenues se sont manifestées principalement par des sécheresses et des inondations entraînant des pertes en vies humaines et des pertes économiques importantes, fragilisant le tissu social et entraînant des déplacements récurrents.

En analysant de plus près la vulnérabilité en Afrique, on observe que la zone sahélienne s'est révélée au fil des années être l'une des zones les plus sensibles aux événements climatiques extrêmes, à cause des capacités adaptatives limitées du fait de la pauvreté. C'est aussi une zone particulièrement impactée par les catastrophes naturelles, avec des dommages estimés entre 39 et 80 milliards de dollars US entre 2000 et 2008¹. L'un des phénomènes climatiques notoires qui ont frappé cette zone en particulier demeure la vague de sécheresse des années 70, qui a fragilisé la région et modifié le comportement socioéconomique des populations. Mais depuis les années 2000, les chroniques pluviométriques montrent un retour des pluies au Sahel,

¹ <https://pubs.iied.org/sites/default/files/pdfs/migrate/10835FIIED.pdf>, consulté le 5 avril 2018

entraînant des inondations. Ces dernières interviennent à la suite d'évènements naturels (avec une origine pluviale et/ou fluviale) parfois intenses et ont quasiment à chaque hivernage un impact humain et économique important : des centaines de morts, plusieurs zones touchées, des enjeux sensibles fortement impactés... Ainsi, en 2020, plusieurs villes sahéliennes en ont été victimes. Plusieurs quartiers de Niamey, la capitale du Niger, ont été immergés durant le mois d'août entraînant un bilan de près de 9 000 maisons effondrées, 50 000 sinistrés et une dizaine de morts. Au Burkina Faso, les pluies qui se sont abattues de manière quasi ininterrompue tous les jours de la première semaine de septembre 2020, ont eu raison de milliers de maisons d'habitation et ont causé près de 41 décès, 112 blessés et plus de 100 000 sinistrés.

Ainsi, depuis le début du millénaire, la pluviométrie au Sahel a entraîné des pertes colossales (Nouaceur, 2020), alors que l'économie des pays est déjà fragilisée par les attaques terroristes, l'insécurité grandissante et le manque aigu de ressources.

Les changements climatiques ne sont pas étrangers à l'intensification de ces catastrophes dans la zone. En effet, selon le Groupe Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC), le Sahel sera l'une des zones les plus impactées par les changements climatiques avec une augmentation du nombre d'inondations (AGRHYMET, 2010). Cette situation semble déjà amorcée si l'on se réfère à la fréquence des crues et des désastres enregistrés. Cependant, les changements climatiques à eux seuls n'expliquent pas l'ampleur des dégâts. Les dommages sont en effet exacerbés par des facteurs typiquement anthropiques. Par exemple, les habitudes des populations sahéliennes adoptées pour affronter la sécheresse des années 70 se révèlent inadaptées pour faire face aux inondations. Ces habitudes, consistant entre autres en une urbanisation* dans les lits majeurs des fleuves, mettent aujourd'hui en danger les populations alors que celles-ci étaient convaincues que les années de sécheresse perdureraient et que la pluviométrie resterait faible. Pire, il ressort que ces activités anthropiques couplées à d'autres faits sociaux récents accentuent la vulnérabilité des populations au risque inondation. Par exemple, les pays en développement dont fait partie toute la bande sahélienne connaissent aujourd'hui la plus forte croissance urbaine dans le monde. Cette croissance urbaine est le moteur de développement qui a constitué le socle pour l'émergence de pays comme la Chine et le Brésil. Cependant, elle peut s'avérer être une bombe à retardement si les politiques mises en œuvre ne sont pas en mesure de révéler le plein potentiel des populations et d'engranger un essor économique et social important. Ainsi, au Sahel, force est de constater que la croissance démographique galopante de la région favorise l'installation anarchique des populations en ville et n'est pas étrangère à l'augmentation des risques. Depuis une vingtaine d'années au Sahel

s'est engagée une lutte contre les risques climatiques, avec l'implication forte d'institutions internationales et de structures étatiques pour réduire les risques de catastrophes. Cependant, au regard de l'augmentation constante du nombre de catastrophes dans ces pays et de personnes touchées, force est de constater que les stratégies déployées, aussi imposantes soient-elles, sont insuffisantes principalement en zones urbaines où les enjeux impactés sont plus nombreux.

Au regard de tous ces constats, de nombreuses questions se posent sur le mode de gestion des risques liés aux inondations dans les pays sahéliens et les raisons qui expliquent que les stratégies déployées se soient révélées inefficaces jusqu'ici. L'inefficacité des mesures entreprises pour réduire les risques d'inondations en milieu urbain est-elle plus liée à un problème de gouvernance et de failles de gestion ou plutôt aux actions des populations vivant dans les localités vulnérables ?

La question centrale que l'on se pose ainsi est de savoir quels sont les mécanismes de mise en place de la vulnérabilité des villes au niveau sahélien. En d'autres termes, quels sont les facteurs qui interviennent dans la vulnérabilisation urbaine du Sahel face aux inondations ?

Notre thèse se propose d'apporter des éléments de réponse en analysant la vulnérabilité au Sahel à travers le prisme de deux villes. Il s'agit de se pencher sur les causes profondes de la vulnérabilité des territoires à la fois en lien avec les facteurs physiques, les actions des populations et les blocages institutionnels. Nous avons choisi d'orienter nos investigations vers deux capitales situées en Afrique de l'Ouest à savoir Ouagadougou et Bamako. Ces deux capitales sont confrontées d'une part à une urbanisation rapide qui induit un étalement important de l'emprise territoriale et d'autre part à un boom démographique classé parmi les plus importants d'Afrique et du monde. Ces caractéristiques en font des territoires d'études intéressants pour la compréhension de la vulnérabilité au Sahel.

L'objectif principal de la thèse est ainsi de contribuer à la meilleure gestion des inondations en zone sahélienne par une meilleure compréhension du processus de vulnérabilité au niveau urbain. Cela suppose la formulation de plusieurs hypothèses en lien avec notre question de recherche que nous récapitulons dans les lignes suivantes :

- Les facteurs physiques environnementaux sont responsables des inondations et entraînent une vulnérabilité différentielle sur le plan biophysique en fonction des villes et des quartiers. En d'autres termes, il existe une vulnérabilité du territoire liée aux caractéristiques environnementales qui impacte les différents enjeux en présence.
- Les inégalités spatiales et sociodémographiques au Sahel sont une source de vulnérabilité sociale qui varie également en fonction de l'espace et des populations en

présence. Autrement dit, les habitants des villes sont vulnérables aux inondations, mais à des niveaux variés liés aux caractéristiques sociales intrinsèques.

- La gestion des catastrophes naturelles met en jeu une diversité d'acteurs et de politiques, dont la mauvaise coordination et le niveau d'intervention inapproprié entraînent des insuffisances dans la réponse apportée lors de la survenue des inondations.

La vérification de ces hypothèses formulées repose dans notre thèse sur une comparaison de vulnérabilité relative² entre Ouagadougou et Bamako et passe par plusieurs étapes :

- caractériser les zones les plus vulnérables sur le plan environnemental des deux capitales d'étude (en d'autres termes, il s'agit de les identifier et de déterminer leurs caractéristiques) ;
- analyser la vulnérabilité sociale des populations en lien avec les facteurs socioéconomiques de vulnérabilisation identifiés dans la littérature ;
- analyser les mesures politiques et institutionnelles mises en œuvre pour limiter les impacts des inondations. Il s'agit de déterminer les forces et les faiblesses des politiques publiques ainsi que les insuffisances sur le plan institutionnel qui entravent la bonne gestion territoriale des risques liés aux inondations.

L'analyse multicritère et interdisciplinaire³, voire pluridisciplinaire⁴, constitue l'originalité de cette étude. En effet, très peu d'études au Sahel sur les risques naturels ont fait intervenir à la fois les aspects physiques, sociaux et institutionnels dans les recherches sur les vulnérabilités, avec en plus une dimension comparative ancrée dans les sciences environnementales et la géographie. Peu d'équipes ont ce type d'approche interdisciplinaire qui pourtant reste très adaptée pour une compréhension globale des liens nature/société et des enjeux territoriaux.

² Il ne s'agissait pas dans notre travail d'effectuer une comparaison absolue de vulnérabilité entre Ouagadougou et Bamako. Il s'agissait plutôt pour nous, à travers la vulnérabilité relative, de déterminer les facteurs qui expliquent que certaines localités de deux villes d'étude soient plus à même de subir des dommages.

³ L'interdisciplinarité consiste à entreprendre un dialogue entre les disciplines pour créer des passerelles entre les savoirs.

⁴ La pluridisciplinarité consiste en notre sens à aborder un même objet sous différents points de vue en fonction des disciplines mobilisées.

Tous les outils utilisés dans cette thèse interdisciplinaire ont été orchestrés dans le cadre d'une méthodologie reposant principalement sur la géographie et d'une certaine façon sur les sciences de l'environnement en général.

Pour parvenir à l'analyse pluridisciplinaire de la vulnérabilité face aux inondations au Sahel, notre thèse s'articule autour de quatre parties :

- La première partie est consacrée au cadre conceptuel et à l'état des lieux des recherches effectuées en géographie et en sciences de l'environnement sur le risque inondation. Par ailleurs, nous présentons de manière globale le sahel et les villes d'étude dans leur particularité naturelle et anthropique. Dans la même lancée, nous mettons cette présentation des villes d'étude en parallèle avec les menaces hydrologiques survenues dans le passé et qui ont eu un impact sur le devenir des populations.

- La deuxième partie présente la vulnérabilité biophysique (fortement en lien avec les questions d'aléa) auxquels doivent faire face les capitales sahéliennes d'étude. Dans un premier chapitre, nous abordons les méthodes que nous avons utilisées pour représenter l'aléa historique, avant de montrer dans le chapitre suivant, comment de manière pratique, il se décline spatialement sur les deux territoires d'étude. En d'autres termes, nous abordons dans cette deuxième partie l'aléa inondation par rapport au facteur qui le génère, c'est-à-dire la pluviométrie, en faisant une analyse des événements extrêmes et de leur lien avec les inondations dans les deux capitales. Nous nous penchons également sur la cartographie de l'historique des inondations afin de valider la carte de vulnérabilité biophysique. Enfin, nous discutons les résultats au regard des facteurs susceptibles d'aggraver cette vulnérabilité biophysique.

- La troisième partie associe présentation des approches d'estimation de la vulnérabilité et présentation des résultats pour les villes d'étude. La vulnérabilité des communautés urbaines précaires est évaluée puis cartographiée afin d'en déterminer les causes profondes et d'entrevoir des pistes d'amélioration grâce à la comparaison entre villes.

- La quatrième partie aborde la gestion du risque en analysant les réponses institutionnelles et les enjeux sous-jacents. Les politiques urbaines sont analysées dans le premier chapitre pour en identifier les bonnes pratiques et les limites. Le deuxième chapitre fait une synthèse de la situation des acteurs observés à Ouagadougou et Bamako, et propose des solutions à mettre en œuvre par les décideurs pour remédier aux problèmes liés aux inondations dans chaque territoire, mais également de manière plus globale au Sahel.

PARTIE I. LES CADRES DE L'ÉTUDE : DES HOMMES ET DES RISQUES URBAINS

*« C'est une chose de penser qu'on est sur le bon chemin, une autre de croire
que ce chemin est le seul » Paulo Coelho*

Introduction

Toute démarche scientifique impose le suivi d'un cheminement qui part d'un choc ou de la prise de conscience d'un problème, passe par l'établissement de questions de recherche et d'hypothèses et se parachève par la formulation d'objectifs que la recherche devra permettre d'atteindre. Elle implique un processus de maturation du sujet en plusieurs étapes : faire un état des lieux, poser le problème, faire des choix assumés et se frayer un chemin parmi tant d'autres pour enfin atteindre les objectifs fixés. Ainsi, au-delà des aspects techniques de la science, faire de la recherche scientifique constitue somme toute un moyen de trouver sa voie, en décortiquant et en écoutant les voix de plusieurs devanciers.

Cette première partie de notre thèse aborde ainsi les différents chemins empruntés par plusieurs chercheurs avant nous, concernant l'étude des risques naturels et des inondations en particulier. Il s'agit, au regard de la problématique des inondations urbaines au Sahel, de dégager le chemin de la recherche à employer, en choisissant une méthodologie adaptée. À ce propos, l'augmentation de la fréquence des inondations et de leurs impacts au Sahel malgré les études qui y sont menées chaque année nous interpelle sur le moyen d'analyser le phénomène dans notre zone d'étude. Comment étudier de manière efficace le Sahel urbain et la vulnérabilité de ces territoires face aux inondations ? Nous répondons à cette question en abordant ce que d'autres chercheurs de disciplines variées ont déjà construit, à travers une revue des concepts et généralités sur les inondations (chapitre 1). Nous analysons par la suite le cadre méthodologique existant qui servira à choisir par quelle approche sera abordée la vulnérabilité dans la suite de nos travaux pour être des plus efficaces (chapitre 2). Nous terminons cette partie en nous focalisant sur deux villes, Ouagadougou et Bamako (chapitre 3).

Chapitre 1. Le cadre théorique : concepts et généralités sur les inondations dans les villes du Sud

Introduction

Face à la recrudescence des catastrophes naturelles, les recherches sur la réduction des risques se multiplient à travers le monde. Elles sont galvanisées par une médiatisation de plus en plus poussée des événements du fait des changements climatiques, et par une volonté de mieux connaître la vulnérabilité des territoires. Ces recherches font intervenir l'environnement physique et social et de ce fait voient le concours de nombreuses disciplines plus ou moins connexes. En fonction des disciplines (géographie, urbanisme, sciences de l'environnement, sciences de l'ingénieur, sciences de la vie et de la Terre, climatologie, hydrologie, médecine, économie...), les concepts sur le risque revêtent diverses acceptions. La compréhension des terminologies utilisées et des paradigmes qui les encadrent est un préalable nécessaire à l'analyse des vulnérabilités aux inondations.

Ce chapitre présente les définitions de certains concepts fondamentaux liés à la cindynique ou science des risques et les généralités relatives aux inondations dans le monde et en milieu urbain en particulier. Un accent est mis sur les définitions des sciences de l'environnement dans leur acception géographique, domaines de prédilection de cette thèse. L'idée est de mieux comprendre le risque inondation dans les espaces urbains, en faisant ressortir les domaines pluriels touchés par cette notion.

1.1. Terminologie et paradigme conceptuel : villes, risque, aléa et vulnérabilité

Les principales terminologies utilisées dans les réflexions sur la gestion des catastrophes font référence à divers entendements et sont définies de différentes manières en fonction des domaines d'étude. Les notions et concepts abordés dans les lignes qui suivent le sont du fait de leur rôle central dans la prise de décision pour la prévention des risques et dans le renforcement de la résilience des populations. Nous les présentons en les repositionnant dans le champ disciplinaire géographique et environnemental.

1.1.1. La notion de ville ou de zones urbaines

La population mondiale à l'heure actuelle est constituée de 55 % de citadins selon les Nations Unies⁵. À l'horizon 2050, ils estiment que ce taux avoisinera les 70 %. Ces régions urbaines constituent déjà, du fait de leur forte démographie et de la présence d'enjeux divers, des zones très impactées par les risques naturels. Pour ce faire, elles révèlent de manière accrue toutes les problématiques liées à la gestion de ces risques. Elles concentrent en effet tous les enjeux économiques, sociaux et environnementaux et doivent donc faire l'objet d'études spécifiques. En effet, « une étude de la ville en tant qu'unité d'analyse est essentielle pour relever les défis futurs et mieux positionner les villes comme moteurs du développement national » (ONU Habitat, 2002).

Les villes demeurent les zones de possibilités par excellence au niveau mondial, car elles permettent l'innovation dans des domaines variés (énergie, environnement, sciences, politiques...). Aussi, elles soutiennent la croissance économique du fait des habitudes de consommation et d'investissement. Pourtant, leur performance n'est pas toujours au rendez-vous, en partie à cause de l'inadéquation des mesures mises en œuvre par les décideurs, du fait de leur méconnaissance des besoins des territoires. Pour pallier cette insuffisance, la recherche urbaine s'est accrue depuis quelques années. Bien que les études urbaines soient d'un intérêt certain, elles se heurtent à des difficultés de définitions pourtant nécessaires pour mieux cerner les villes (ONU Habitat, 2002). En effet, le concept de ville ou de zone urbaine est une notion floue, évolutive, variant selon les domaines d'études et les pays, et qui repose sur des critères divers (équipements, effectifs de populations, critères administratifs et démographiques, continuité du bâti, critères économiques...). Cette diversité de critères selon les pays pour définir les villes limite les possibilités de comparaison, principalement à l'échelle supranationale.

Au Burkina Faso par exemple, le milieu urbain est défini sur la base d'un seuil de population supérieur ou égal à 5000 habitants et la capacité à regrouper un minimum d'infrastructures socioéconomiques et administratives (INSD, 2019). De 1975 à nos jours, les critères retenus pour qualifier les villes y ont évolué, passant d'une délimitation purement juridique et administrative, à une délimitation fondée sur le critère démographique (au moins 10 000 habitants), la capacité de la ville à regrouper un minimum d'infrastructures

⁵ <https://www.un.org/development/desa/fr/news/population/2018-world-urbanization-prospects.html>, consulté le 01/11/2020

socioéconomiques et administratives et les capacités de mobilisation de ressources financières (INSD, 2015). Au Mali, la population urbaine était considérée dans les premiers recensements généraux de la population comme celle vivant dans les communes, les chefs-lieux de cercle⁶ et dans toute autre agglomération d'au moins 5000 habitants (RGPH, 1987). La loi n° 99/035 du 10 août 1999 portant décentralisation, a quelque peu modifié cette définition, en considérant comme villes toutes les communes désignées comme urbaines par l'administration. Plus récemment, Mesplé-Somps et al. (2018), dans leur étude sur la dynamique urbaine au Mali, ont défini la ville comme une agglomération de densité au moins égale à 250 habitants/km — et dont la population excède 5000 habitants.

Comme on le voit, la définition de la ville ne fait pas consensus dans tous les pays et dans toutes les études, ce qui rend difficiles les analyses comparatives entre villes à l'international.

Par ailleurs, les éléments de comparaison ne sont pas toujours fiables, compte tenu de l'imprécision des données nationales fournies. De plus, différents concepts sont utilisés en référence à la ville, ajoutant de la confusion sémantique à cette notion déjà ambiguë. Il s'agit des termes d'agglomération urbaine, de commune urbaine, de zone métropolitaine et de banlieue, très souvent considérés comme équivalents du terme « ville » alors que des nuances existent en fonction des pays.

Dans notre étude sur la vulnérabilité urbaine au Sahel, nous identifions la ville comme un lieu d'échanges et de services où se mènent des activités principalement de type tertiaire (Dauvergne, 2011) et où s'observe une dynamique spatiale et démographique plus importante qu'ailleurs sur le territoire.

En d'autres termes, la ville est une zone de forte densité de population où évoluent des services variés liés à la santé, aux activités culturelles, au divertissement, mais également à l'administration du territoire. Elle s'oppose à la campagne et plus généralement au rural par la moins grande influence des activités agricoles sur les enjeux socioéconomiques.

Les localités qui à notre avis représentent au mieux les zones urbaines restent les capitales des pays. En effet, leur caractérisation en tant que ville fait en général l'unanimité du fait de leur position centrale pour les États. De plus, leurs limites spatiales sont clairement établies par les services étatiques compétents, ce qui simplifie et rend cohérentes les études comparatives. Il faut cependant nuancer ce dernier aspect puisque les limites fixées par l'autorité compétente

⁶ Un cercle au Mali est une collectivité territoriale et une circonscription administrative dont le niveau peut être comparé au département français.

peuvent se révéler dépassées au fil du temps, du fait de l'expansion territoriale des villes. Par ailleurs, ces capitales favorisent plus qu'ailleurs les interactions socioéconomiques du fait de l'envergure de l'urbanisation et font moins l'objet d'une confusion avec le monde rural que dans d'autres villes.

Cependant, au Sahel, et particulièrement dans nos deux capitales d'étude (Ouagadougou et Bamako), le mode d'occupation de l'espace fait cohabiter modernité et tradition, légalité et illégalité, urbanisation formelle et occupation informelle. Il intervient ainsi en ville une espèce de ruralité que Robineau (2014) qualifie « d'espace de l'entre-deux ». Cette dualité du mode de vie a déteint sur le tissu urbain qui se caractérise désormais par des zones qualifiées de centres-ville constituant le centre des affaires, et par des quartiers situés plus en périphérie. Le tissu urbain au Sahel, et particulièrement dans nos deux zones d'étude, regroupe ainsi deux types de quartiers :

- **les espaces formels ou zones loties** : Ils concernent les espaces dotés de légalité et qui ont fait l'objet d'un découpage ou morcellement par des services compétents. Ces zones figurent dans les documents d'urbanisme* et regroupent les quartiers d'affaires ainsi que les quartiers viabilisés de la ville. Ces espaces aménagés par l'État ou par des promoteurs immobiliers, comportent en général des services de base comme l'adduction d'eau potable ou l'électricité, le tracé rectiligne des rues, les ouvrages de gestion des eaux pluviales...

- **Les espaces informels** : Ce sont des zones situées en marge de la ville et qui n'ont pas fait l'objet de planification urbaine. Ce sont des zones généralement d'exclusion sociale et économique, souvent en marge du développement amorcé en centre-ville. Selon les pays, un vocabulaire diversifié permet de décrire ces territoires : bidonvilles, quartiers illégaux, zones non loties, zones périphériques, quartiers marginaux, quartiers spontanés, *sonorobougou* (Mali), *favelas* (Brésil), *barridas* (Pérou), *barracas* (Mexique), *djebel* (Maghreb), *slums*...

Au Sahel, ces quartiers relèvent soit de l'illégal soit du droit coutumier de propriétés. Ils peuvent également être constitués d'anciens habitats ruraux qui ont été rattrapés par l'urbanisation et englobés par la ville, sans être inclus dans la planification urbaine.

La définition de l'urbain peut être sujette à débats notamment pour ce qui concerne la délimitation spatiale et le mode d'occupation de ces zones. On retiendra dans notre travail que nous nous focalisons sur l'espace urbain tel que défini dans les documents urbains des pays sahéliens, qui prend en compte et les espaces formels et les espaces informels.

Selon ONU-Habitat (2002), plus de 70 % de la population urbaine subsaharienne habitent dans des types de quartiers soit informels soit présentant leurs caractéristiques, dans des conditions précaires. Cette situation de précarité augmente la probabilité pour les populations qui y vivent d'être impactées par des catastrophes et les place dans une position de vulnérabilité et de risque.

1.1.2. La notion de risque : de la définition de l'aléa et des enjeux au trio vulnérabilité-risque-résilience

L'étude des risques fait appel à différents concepts (aléa, vulnérabilité, résilience, enjeux exposés...) dont les définitions diffèrent selon l'approche et le domaine dans lequel ils sont utilisés. Devant la profusion de terminologies et de définitions existantes, il convient de fixer ce à quoi chaque terme renvoie dans le cadre de cette thèse, afin de poser des bases claires pour la suite des travaux.

1.1.2.1. L'aléa

Point de départ et élément déterminant de l'analyse du risque, l'aléa se définit d'après le centre d'information pour la prévention des risques majeurs (CYPRES, nd) comme *la probabilité qu'un phénomène accidentel produise, en un point donné, des effets d'une gravité potentielle donnée au cours d'une période déterminée*. Le phénomène accidentel désigne un événement soudain et imprévu pouvant entraîner des dégâts corporels et matériels (Margossian, 2006). L'aléa désigne donc, pour un événement imprévu, la combinaison de sa probabilité d'occurrence et de sa gravité. D'après le Bureau des Nations Unies pour la réduction des risques de catastrophe (UNISDR, 2015), il constitue un phénomène imprévisible et généralement défavorable, qui peut porter préjudice aux personnes, aux biens et à l'environnement et perturber l'activité économique et sociale. La définition de l'aléa rapportée à la gestion des risques fait ainsi référence à la possibilité que se réalise un événement dangereux qui peut échapper à la maîtrise de l'homme. Il s'agit donc de l'élément physique qui génère le risque et qui peut causer potentiellement des dommages aux biens, à l'environnement et aux personnes. D'après Torterotot (1993), *l'aléa est l'élément « perturbateur » conditionné par l'extérieur, susceptible de provoquer des modifications aux sols, à l'écosystème, aux personnes, aux biens et aux activités*.

L'aléa est caractérisé par sa nature, sa localisation, sa probabilité d'occurrence, sa durée, l'intensité du phénomène dangereux et sa gravité potentielle.

La nature de l'aléa désigne l'origine du phénomène. Il peut être soit d'origine naturelle, c'est-à-dire être lié à d'autres espèces vivantes (ex. : épidémies) ou aux forces atmosphériques ou de la lithosphère (ex. : inondations ; mouvements de terrain), soit d'origine anthropique, c'est-à-dire liée aux technologies humaines (ex. : explosions chimiques, marées noires) ou aux rapports sociaux (ex. : terrorisme, guerre).

La localisation de l'aléa traduit l'espace affecté ou susceptible d'être touché par le danger. Prévoir cette zone d'impact de l'aléa avant que celui-ci ne survienne, bien que faisant l'objet de tentatives, se révèle être une opération délicate du fait de la dynamique des territoires. En effet, les cartes d'aléas élaborées par les scientifiques pour faciliter la gestion des menaces ne traduisent que la probabilité qu'une zone soit touchée par un phénomène d'une intensité donnée et renferment par conséquent de fortes incertitudes.

La probabilité d'occurrence traduit la probabilité qu'un phénomène dangereux survienne et mette en danger une partie de la population. Elle est généralement estimée de manière temporelle à partir de périodes de retour calculées sur la base de séries statistiques suffisamment longues d'évènements passés (Dauphiné & Provitolo, 2013; Thouret et al., 2003). Cependant, il n'est pas toujours possible d'avoir à disposition des séries temporelles suffisamment longues pour y appliquer les lois probabilistes. Par exemple, la nouveauté de certains risques tels que le terrorisme, et la rareté de certaines catastrophes dans le cadre d'aléas technologiques, ne permettent pas d'appliquer directement des modèles probabilistes pour quantifier l'aléa. Pour pallier ces insuffisances, des moyens détournés sont utilisés et se basent sur le calcul de la probabilité d'occurrence des causes pouvant déclencher un aléa (calcul de la non-performance d'un système de sécurité, de la résistance des matériaux...). Ces techniques servent à établir un arbre à problème qui permet de retrouver et de comprendre *a posteriori* les facteurs responsables de la survenue d'un évènement dangereux et d'en lister les conséquences ou les effets potentiels.

L'intensité de l'aléa est en lien avec le degré de force ou l'ampleur d'un phénomène. C'est un élément physique que l'on peut estimer grâce à des lois physiques ou statistiques (vitesse d'un écoulement, durée d'une crue) ou que l'on peut mesurer à l'aide d'instruments adaptés (hauteur d'eau, magnitude). Il dénote de la gravité d'un phénomène qui, si elle dépasse un certain seuil, peut conduire à une catastrophe. Ce terme de catastrophe est utilisé en référence à un phénomène de faible probabilité d'occurrence, mais qui lorsqu'il se matérialise produit des dommages si grands et si soudains qu'ils limitent les capacités et les efforts pour y répondre de manière rationnelle (Posner, 2004). La survenue d'une catastrophe se fait soit par l'occurrence

d'un aléa isolé dans une zone à forts enjeux, soit par la succession ou la combinaison de plusieurs aléas aux origines diverses. Il importe donc de pouvoir les anticiper et connaître leur probabilité d'occurrence et leur intensité potentielle afin de définir des mesures d'adaptation et de prévention efficaces.

L'aléa est qualifié de naturel lorsque le phénomène dangereux pour les sociétés a une origine naturelle, c'est-à-dire qu'il provient principalement de facteurs physiques naturels identifiables par leur intensité et leur fréquence. Ces facteurs sont liés par exemple au climat ou à la météorologie (tempête, pluviométrie) même s'ils peuvent être exacerbés par les actions humaines. Dauphiné et Provitolo (2013) parlent d'aléa anthropisé, c'est-à-dire un *phénomène dont le déclenchement est naturel, mais dont l'évolution est liée à l'action humaine, notamment aux modalités d'occupation du sol.*

Notre étude s'intéresse aux inondations, phénomènes dits « naturels » du fait de leur origine hydrologique, mais fortement liés aux actions humaines. L'aléa inondation est le type de catastrophe naturelle le plus rencontré dans le monde d'après l'Organisation mondiale de la santé (OMS)⁷. C'est un processus inhérent à la pluviométrie ou à la présence de cours d'eau dans des zones inondables. Il intervient après une réponse du bassin versant aux précipitations. Cette réponse transforme l'aléa météorologique en aléa hydrologique. Elle est fonction de caractères variables (antécédents pluviométriques, taux d'humidité du sol, état du couvert végétal, pratiques culturales...) et de caractéristiques pérennes dans le temps, ou supposées telles à l'échelle des phénomènes étudiés (pédologie, géologie, superficie, pente, aménagements anthropiques). La variabilité temporelle des caractéristiques du bassin entraîne une variation de sa réponse aux précipitations. Ainsi, une même intensité de pluie n'aura pas les mêmes conséquences selon l'époque à laquelle elle se produit. En effet, la variabilité des états de surface du sol et de la couverture végétale d'une saison à l'autre, d'un événement à l'autre, voire au cours d'un même événement aura un impact sur le ruissellement et les crues. Outre leur variabilité temporelle, les caractéristiques physiques du bassin versant présentent une forte variabilité spatiale qui influe également sur l'impact des précipitations.

Les critères traditionnellement sélectionnés pour définir les niveaux de l'aléa inondation sont :

- ❖ **la période de retour** : elle désigne l'occurrence temporelle d'une crue et correspond à l'inverse de la probabilité d'occurrence de la crue. Plus cette période est grande, plus les

⁷ https://www.who.int/health-topics/floods#tab=tab_1, consulté le 25/11/2020

débits et l'intensité de la crue sont importants. On distingue d'après le dossier d'information sur les inondations du ministère de l'Écologie et du Développement durable français (MEDD, 2004) :

- les crues fréquentes avec une période de retour comprise entre un et deux ans
- les crues moyennes, dont la période de retour est comprise entre 10 et 20 ans
- et les crues exceptionnelles ou extrêmes, dont la période de retour est de l'ordre de 100 ans. Les cartes d'aléas sont en général construites sur la base de la probabilité d'occurrence des crues exceptionnelles et moyennes.

- ❖ **La vitesse** : au-delà de 0,5 m/s, la vitesse du courant devient dangereuse avec des risques pour les populations d'être emportées ou d'être blessées par des objets arrivant à vive allure.
- ❖ **La hauteur** : au-delà de 1 m, le risque d'être déstabilisé et donc de se noyer est accru. Aussi, des hauteurs d'eaux de 30 cm sont déjà capables de soulever ou d'emporter un véhicule.
- ❖ **La durée de l'inondation** : lorsqu'elle est supérieure à 24 heures, des problèmes sanitaires sont susceptibles d'apparaître du fait de la pollution contenue dans les eaux et provenant parfois des systèmes d'assainissements individuels.

Sur la base de ces éléments, Scarwell et Laganier (2017) ont établi une classification de l'aléa (Tableau I-1). D'après cette classification, au-delà de 1,5 m et pour une durée d'inondation supérieure à 2 jours, un aléa peut être considéré comme fort dès que les vitesses sont supérieures à 1,25 m/s.

Tableau I-1 : Critères de classification de l'aléa d'après (Scarwell & Laganier, 2017a)

Durée/Hauteur	<0,5 m	De 0,5 à 1 m	De 1 à 1,5 m	>1,5m
< 48 h	Faible	Faible si $V_s < 1,5$ m/s	Moyen	Fort
		Moyen si $V_s > 1,5$ m/s		
De 2 à 8 jours	Faible	Moyen	Moyen si $V_s < 0,5$ m/s	Fort
			Moyen si $V_s > 0,5$ m/s	
De 8 à 15 jours	Faible si $V_s < 1,5$ m/s	Moyen	Fort	Très fort si $V_s > 1,25$ m/s
	Moyen si $V_s > 1,5$ m/s			
> 15 jours	Moyen	Moyen si $V_s < 0,5$ m/s	Fort si $V_s < 1,5$ m/s	Très Fort
		Fort si $V_s > 0,5$ m/s	Très fort si $V_s < 1,25$ m/s	
				Très fort

La figure I-1, quant à elle, permet de classer l'aléa en fonction de la hauteur et de la vitesse des écoulements.

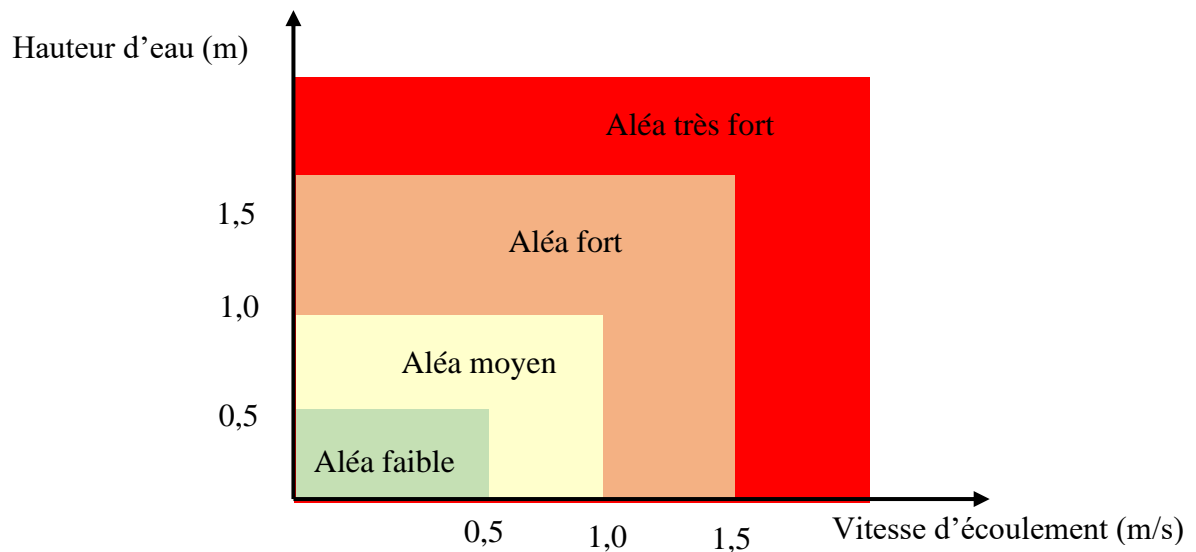


Figure I-1 : Classification de l'aléa en fonction de la hauteur d'eau et de la vitesse de l'écoulement

L'aléa fait partie intégrante des systèmes de fonctionnement humain. Il ne constitue une menace que lorsqu'il survient dans des zones regroupant des enjeux, que l'on qualifie alors de vulnérables.

1.1.2.2. La vulnérabilité

Emprunté du latin tardif « vulnerabilis », le terme vulnérabilité fait référence dans son sens étymologique à « ce qui peut être blessé ». La notion de vulnérabilité, souvent perçue en termes de résistance physique par les sciences dites dures (Reghezza, 2006), est un terme du vocabulaire courant qui est massivement utilisé dans la littérature scientifique depuis les années 1970 (Thomas, 2008). Dans le domaine médical, la vulnérabilité se rapporte à ce qui peut être brisé ou détruit facilement, qui est susceptible de s'affaiblir ou de mourir rapidement et qui manque de force ou d'endurance.

La définition du concept de vulnérabilité a fait l'objet de nombreuses publications. Il s'agit d'une notion dynamique, polysémique, multi scalaire et multidimensionnelle, qui se révèle centrale dans l'analyse des risques en milieu urbain. Elle résulte de caractéristiques qui diffèrent selon que l'on se situe plutôt du côté des sciences sociales ou du côté des sciences dites dures (Figure I-2). Pour ces dernières, la vulnérabilité est un concept lié à l'endommagement, à l'exposition à un aléa ou à la résistance physique tandis que pour les sciences sociales, le concept de vulnérabilité fait plutôt référence à l'ajustement et aux différentes capacités : capacité d'adaptation (Birkmann, 2007; Buckle et al., 2001; Demoraes

& D'Ercole, 2009; Turner et al., 2003), capacité à faire face et capacité de résistance sociale individuelle ou collective et d'ajustement (Cardona, 2004; Cutter, 2003).

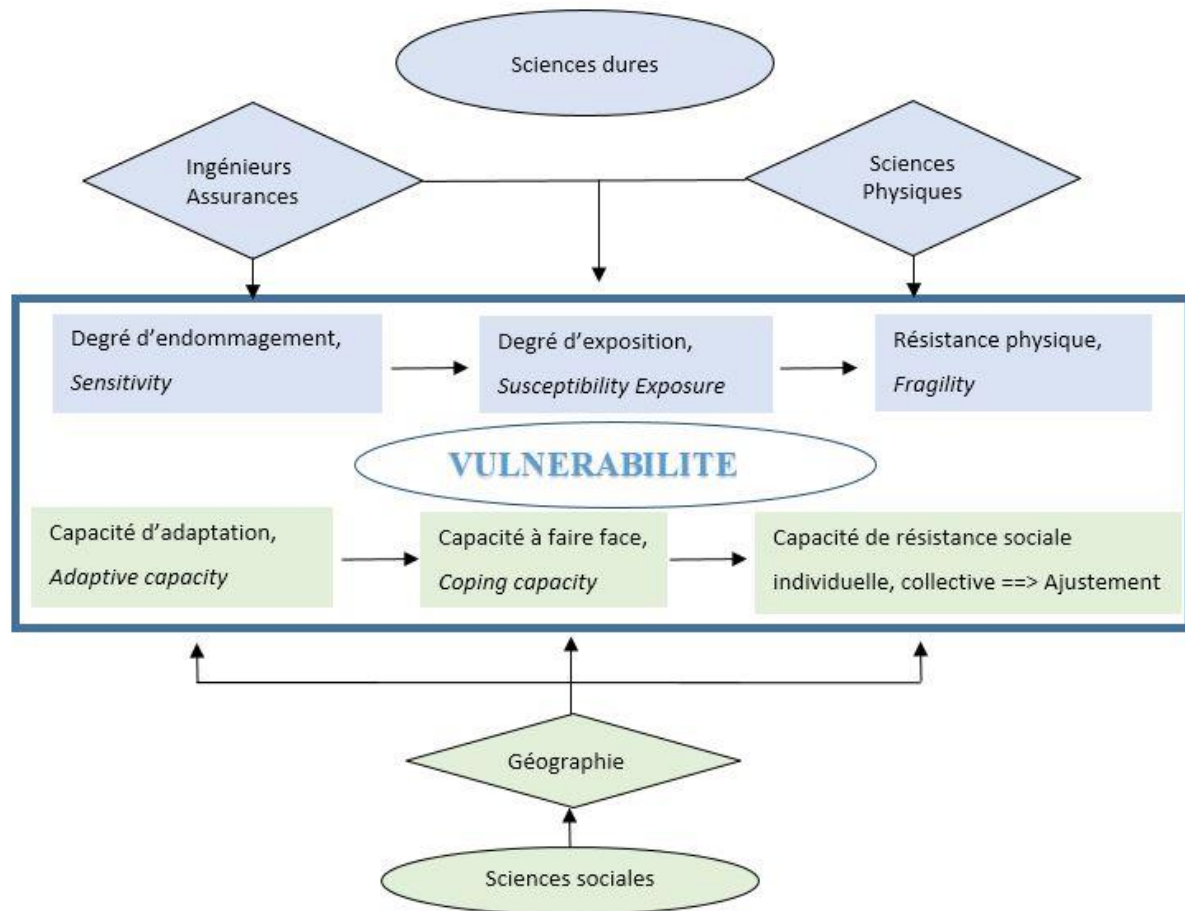


Figure I-2 : Polysémie du concept de vulnérabilité inspiré de Reghezza (2006)

Depuis quelques années, les recherches sur les vulnérabilités tentent de réconcilier l'une ou l'autre des tendances (tendance science sociale/sciences physique et ingénieriale) en considérant la vulnérabilité comme une combinaison d'éléments. Pour Wilhelmi et Morss (2013), il s'agit du résultat de l'exposition, de la sensibilité du système et de la capacité à faire face. Pour Barroca et al. (2005), la vulnérabilité fait plutôt référence aux mécanismes d'exposition aux risques, de politiques publiques liées à la prévention et à l'intervention et de perception du risque par les usagers. Pour Birkmann (2007) et Turner et al. (2003), l'étude de la vulnérabilité doit être fondée sur des expériences passées et tenir compte des trois piliers du développement durable : le volet social, économique et environnemental.

En définitive, la vulnérabilité peut se résumer en trois dimensions dont l'intérêt dépend du domaine d'application : la vulnérabilité biophysique, la vulnérabilité sociale et la vulnérabilité territoriale.

❖ La vulnérabilité biophysique

C'est un type de vulnérabilité totalement relié à l'aléa, et dépendante de l'exposition à celui-ci. Il s'agit de la vulnérabilité aléa centré tel qu'entendu par les sciences physiques et ingénieriales. Elle renvoie à la mesure du degré d'endommagement d'éléments physiques inertes, d'écosystèmes naturels et artificiels (on parle aussi de vulnérabilité environnementale) et des pertes ou des effets quantifiables susceptibles de toucher des populations. Il s'agit ici de déterminer la seule tendance des éléments physiques tels que les infrastructures à être endommagés par un évènement d'une gravité donnée, ou des personnes en tant qu'entité dénombrable à être affectées par un aléa. Certains auteurs la conçoivent comme une vulnérabilité intrinsèque au système, c'est-à-dire liée à la résistance propre du système face à la menace (Dunglas, 2005). Les éléments physiques et les populations sont alors entendus comme des enjeux dont l'endommagement est évaluable et mesurable (approche descendante ou top-down). Envisager la vulnérabilité du point de vue « biophysique » permet de facilement la quantifier, en tenant compte « d'éléments matériels objectifs » tels que l'intensité de l'aléa, la densité de la population, la qualité des matériaux utilisés pour la construction... (Quenault, 2015a).

Trois facteurs sont à la base de cette vulnérabilité biophysique à savoir l'exposition des enjeux à l'aléa, leur sensibilité et leur résistance. Il importe de clarifier les notions d'enjeux, d'exposition, de résistance ou de sensibilité, car elles sont parfois à tort confondues à la vulnérabilité.

Les enjeux se définissent comme des objets géographiques qui possèdent une certaine valeur pour les acteurs d'un territoire. Ils peuvent être humains, matériels, économiques, environnementaux, organisationnels ou liés au patrimoine. C'est sur ces enjeux qu'intervient la vulnérabilité.

L'exposition à un aléa fait référence au recoupement spatial entre un aléa et des enjeux directement touchés par la survenue de cet aléa (Leone & Vinet, 2006). L'étendue spatiale de cette zone d'exposition est appelée zone à risque. Une zone peut être vulnérable sans être exposée à un aléa. Par exemple, un hôpital peut être dit vulnérable à une inondation sans y être exposé, s'il n'est pas dans la zone touchée par la crue, mais que les pylônes acheminant l'électricité dans cet hôpital ont été endommagés par l'inondation. La vulnérabilité va donc au-delà des zones exposées directement à un aléa.

La sensibilité d'un système fait référence au degré d'endommagement que les enjeux peuvent subir et permet d'entrevoir le niveau de fragilité de ce système. Ainsi, plus un système sera reconnu sensible à un danger, plus les pertes qu'il pourrait subir seront importantes.

La résistance est la capacité d'un système à faire face à une perturbation sans en subir les dégâts. Elle peut être soit physique par exemple dans le cadre de la résistance d'une infrastructure à un aléa ou soit liée aux mentales ou au physique, dans le cadre de la résistance d'une personne ou d'une société à un aléa.

Pendant longtemps, l'approche par la vulnérabilité biophysique était celle préconisée pour la prévention des risques. Les solutions techniques étaient alors perçues comme le moyen par excellence de maîtriser les aléas et de limiter l'impact sur les personnes et les biens (Veyret & Reghezza, 2006). Or, même si ces solutions sont d'un intérêt certain, elles ne peuvent être mises en œuvre indéfiniment. Par exemple, la construction et la surélévation de digues, même si elles peuvent permettre de limiter un moment l'inondation des terres, ne peuvent être poursuivies sur le long terme. En effet, pour faire face à l'intensification des phénomènes, une solution technique consisterait à construire des digues de plusieurs centaines de mètres, ce qui n'est pas économiquement envisageable. Aussi, les phénomènes extrêmes sont quasiment impossibles à maîtriser sur la seule base de mesures techniques. Ainsi, depuis une vingtaine d'années, d'autres approches ont vu le jour et ont permis de faire évoluer le concept de vulnérabilité pour prendre en considération les systèmes sociaux et environnementaux dans leur ensemble. *En plus d'intégrer les notions d'aléa et d'enjeux, la vulnérabilité traite des pratiques de gestion mises en œuvre face au risque, ainsi que les représentations que s'en font les gestionnaires et les populations concernées* (Basara, 2019). Le concept de vulnérabilité sociale est alors de plus en plus abordé dans les recherches sur les risques.

❖ La vulnérabilité sociale

C'est une notion centrale dans l'analyse des risques en milieu urbain (Adger, 2006) et même en milieu rural. Il s'agit du type de vulnérabilité tel que perçu par les sciences humaines et sociales. Cette vulnérabilité est une caractéristique intrinsèque à la société. Elle précède la survenue d'un aléa sans y être forcément liée, mais se révèle avec la survenue de la catastrophe (approche ascendante bottom up). Un système est socialement vulnérable, que l'aléa se produise ou pas, même si c'est l'occurrence de cet aléa qui révèle la vulnérabilité de la société (Quenault, 2015a).

La vulnérabilité désigne ainsi l'incapacité d'une société à anticiper l'aléa, à faire face et à gérer l'urgence, à adapter son comportement en temps de crise et à se reconstruire (Barroca

et al., 2005; Wisner et al., 2003). Ainsi, *plus un système est apte à se rétablir après une catastrophe, moins il est vulnérable* (Dauphiné & Provitolo, 2013).

La vulnérabilité sociale, centrée sur le volet humain, est fonction de facteurs sociaux (caractéristiques démographiques, discriminations, inégalités sociales, déséquilibre des pouvoirs...), économiques (niveau de ressources et accessibilité aux crédits), culturels, historiques, politiques (Meschinet de Richemond & Reghezza, 2010), techniques et organisationnels auxquels s'ajoutent la santé, la capacité d'adaptation, l'accès à l'information, la perception du risque, la qualité de vie dans les quartiers et le régime foncier (Rufat et al., 2015) ainsi que les problèmes et limites institutionnelles. Ces facteurs, d'ordres structurels et conjoncturels, sont susceptibles de rendre une société plus sensible et moins à même de faire face à la survenue d'un évènement dangereux. Ce sont des éléments socialement construits antérieurement à la catastrophe et qui révèlent la vulnérabilité lors de la survenue d'un aléa (Quenault, 2015a). Dans l'étude de la vulnérabilité sociale liée aux inondations, les différents facteurs sociaux demeurent complémentaires. D'après la classification de Cannon (2000), on peut les regrouper en trois grands ensembles à savoir le degré de préparation individuelle et collective, l'état sanitaire et la résilience.

- **Le degré de préparation individuelle ou collective**

Ce facteur est en lien avec la disponibilité des protections techniques, sociales et mentales mobilisables par un individu ou une société pour résister, limiter l'exposition ou atténuer les dégâts causés par un aléa. Il est reflété par plusieurs facteurs :

- ✓ Les caractéristiques démographiques (âge, sexe, race, statut d'immigrant et familles monoparentales...) : ils permettent la structuration de la population en identifiant les classes de société les plus vulnérables. Pour ce qui est de l'âge, les populations les moins vulnérables concernent la tranche jeune, encore dans la force de l'âge. Celles-ci sont plus à même s'en sortir en cas de catastrophe, sans nécessairement avoir besoin d'une aide ou d'une quelconque assistance, contrairement aux enfants et aux personnes âgées.
- ✓ Le statut socioéconomique (revenu du ménage, chômage, niveau d'instruction, valeur du logement, taille du ménage, avoirs et équipements...) : c'est un déterminant discriminant de la vulnérabilité. En effet, les inondations « frappent de façon inégalitaire » en emportant « les plus démunis qui vivent dans des milieux insalubres où le risque est accru » (Dauphiné & Provitolo, 2013). Les populations les plus pauvres sont celles qui en général vivent dans les sites les

plus à risque et dans les habitats les moins solides du fait de leurs faibles revenus. Aussi, ces populations pauvres avec leurs biens en général très peu diversifiés, mais concentrés en un même endroit (les maigres richesses sont regroupées dans les maisons) sont plus susceptibles de tout perdre lors de la survenue d'une catastrophe. Le statut socioéconomique permet ainsi de distinguer les personnes et les communautés mobilisant d'importantes ressources, et susceptibles de faire face aux impacts des inondations et de se rétablir à court terme. Ce niveau socioéconomique est à la base d'un processus de marginalisation des populations les plus pauvres : elles se trouvent souvent exclues des politiques publiques, avec un pouvoir de décision réduit et des difficultés à avoir accès aux ressources (Becerra, 2012; Birkmann & Wisner, 2006). Les populations sont alors en proie à une vulnérabilité fonctionnelle qu'on lie à la gestion des systèmes socioéconomiques et qui est fortement dépendante de la volonté politique et de la gouvernance.

- ✓ La capacité d'adaptation : elle est assimilée aux capacités (Lallau & Rousseau, 2009) et parfois à la résilience, et est entendue par Pelling (2003) comme la capacité des personnes à s'adapter au changement. Elle regroupe l'ensemble des ressources, stratégies, compétences, réseaux, capital social, disponibles ou mobilisés ou encore mobilisables par une personne pour se prémunir, faire face, s'adapter et se rétablir des conséquences d'une inondation à court, moyen et long terme. Dans un monde en perpétuel changement, la capacité d'adaptation se révèle être un atout qui peut conditionner la survie.
- ✓ La perception des risques et la culture du risque : elles ont été établies comme facteurs importants de vulnérabilité sociale dans plusieurs études (Amalric, 2019; Becerra et al., 2013; Bonnet, 2002; Kellens et al., 2011; Ruin & Lutoff, 2004). Ces dernières ont montré que les perceptions et les représentations du risque justifient et orientent les comportements et les réponses des populations. Ceux-ci peuvent être source de mortalité ou d'accidents dommageables s'ils sont mal adaptés (Jonkman & Kelman, 2005; Ruin, 2007; Vinet et al., 2011). En effet, une prise de risques inconsidérés par certaines populations est observable lors des catastrophes, dans l'optique de sauver des biens. Par ailleurs, la perception peut être appréhendée dans sa dimension culturelle : on parle alors de culture du risque.

Elle se définit alors comme *la façon de penser, de ressentir, de représenter et d'aborder le risque dans une société* (Soma, 2015, p. 27).

- ✓ La qualité de vie dans les quartiers : elle désigne la qualité du logement, l'accès aux transports, l'urbanisation illégale ou incontrôlée, l'accessibilité aux services et équipements de base, la densité de population et le drainage des eaux. Ce sont des éléments importants qui peuvent conditionner la gestion des catastrophes et entraîner une aggravation des pertes s'ils font l'objet de lacune avant la catastrophe.
- ✓ Le régime foncier : il renvoie au statut d'occupation d'une propriété. C'est un facteur déterminant dans l'adoption des mesures de protection ou de rétablissement post catastrophe. En effet, le fait de ne pas être propriétaire peut limiter le degré d'investissements dans des infrastructures de protection au niveau de la parcelle et rendre un ménage plus vulnérable aux inondations.

- **L'état sanitaire**

Il concerne les aspects liés à la mortalité, à la santé mentale et physique des populations et à la robustesse physique des individus. Un mauvais état sanitaire peut être à la fois la conséquence d'un aléa et un facteur de vulnérabilité sociale. En effet, le fait d'avoir un état de santé préexistant déjà fragilisé augmente la susceptibilité d'être fortement impacté par la survenue d'une catastrophe. Aussi, la survenue d'une catastrophe peut engendrer des dommages physiques aux personnes ou aux infrastructures telles que les hôpitaux et ainsi dégrader l'état sanitaire des populations. Ce dernier est fonction des caractéristiques démographiques comme l'âge, le sexe et de caractéristiques techniques telles que la résistance de l'habitat et des biens face à l'aléa.

- **La résilience**

Le concept de vulnérabilité/invulnérabilité est utilisé dans la littérature scientifique bien souvent de concert avec celui inverse et complémentaire de résilience (Thomas, 2008). Ce dernier, tiré du vocabulaire psychiatrique, dénote de l'habileté d'un système à se remettre d'un évènement traumatique, dommageable ou perturbateur. Il fait référence à la capacité du système à réduire les chocs ou à les absorber lorsqu'ils arrivent tout en se remettant rapidement en cas d'occurrence d'un évènement dommageable.

La résilience est souvent mise en relation avec la capacité de résistance psychique aux traumatismes divers (coping) et révèle la notion de pouvoir « faire face » à un évènement. C'est un concept multidimensionnel qui rend compte de processus souvent multifactoriels. D'après

Zio (2016), quatre propriétés permettent de caractériser une société résiliente et constituent de ce fait des indicateurs de résilience, tous reliés aux aspects techniques, organisationnels, sociaux et économiques. Il s'agit de la robustesse (capacité à résister), de la redondance (alternatives disponibles en cas de perturbation), de l'ingéniosité et de la rapidité du retour à l'état antérieur. Ce retour à un état antérieur, présent dans le sens étymologique premier du terme « résilience », tend depuis quelques années à être occulté par les recherches pour ne s'intéresser qu'aux capacités adaptatives des systèmes (Reghezza, 2006).

L'analyse de la résilience des sociétés est faite au travers de cadres variés dans la littérature et repose sur des méthodes et des modèles utilisant les principes de différents champs disciplinaires. L'application dans les différents champs disciplinaires a eu pour impact de faire évoluer la définition de la vulnérabilité vers des termes plus ou moins voisins (Lhomme et al., 2010). La résilience est ainsi un terme polysémique et controversé, utilisé dans plusieurs disciplines notamment en sciences de l'ingénieur, sciences humaines et sociales, environnement, médecine, économie, changement climatique, écologie, gestion des risques, psychologie... En définitive, nous adoptons la définition de Lhomme et al. (2010) pour qui la résilience est liée à des notions d'absorption et de récupération, c'est-à-dire à une capacité pour une société ou un système de se remettre en service à la suite d'une perturbation.

Pour revenir au concept général de la vulnérabilité sociale dans lequel s'inscrivent les aspects de degré de préparation, d'état sanitaire et de résilience, l'analyse de la littérature permet d'entrevoir que celui-ci ne fait pas totalement l'unanimité dans le domaine scientifique (Quenault, 2015a). En effet, certains auteurs y incluent des éléments de la vulnérabilité biophysique avec une vision systémique (Cutter et al., 2003), tandis que pour d'autres, les aspects biophysiques et sociaux sont absolument à différencier (Cardona, 2004). On note ainsi une complexification de la définition de la vulnérabilité qui peut englober en fonction des auteurs des caractéristiques physiques et structurales, sociales et psychosociales, économiques, environnementales, fonctionnelles et institutionnelles tout comme territoriale.

❖ La vulnérabilité territoriale

Les deux types de vulnérabilité abordés jusqu'ici prennent en compte les dynamiques géographiques, mais en considérant l'aléa ou le construit social comme point de départ. Or, il se trouve au sein de tout territoire des enjeux localisables qui peuvent être la source et diffuser leur vulnérabilité et entraver le fonctionnement et le développement de ce territoire (Gleyze & Reghezza, 2007). Ces enjeux qualifiés de majeurs constituent pour le territoire des éléments clés indispensables à son fonctionnement et à son développement et qui lui permettent de faire

face aux situations d'urgence. Ainsi, indépendamment de l'aléa, il existe des enjeux majeurs territoriaux qui ne sont que peu pris en compte par la vulnérabilité biophysique et sociale. Un troisième ensemble de vulnérabilité qualifié de vulnérabilité territoriale (D'Ercole & Metzger, 2009) tente de remédier à cette limite. C'est un type de vulnérabilité lié à la distribution géographique d'éléments majeurs, qui de par leur concentration sont susceptibles de fragiliser un territoire. L'espace géographique considéré dans le cadre de la vulnérabilité territoriale n'est lié ni à l'aléa, ni au construit social (dans sa dimension stricte du terme), mais aux enjeux territoriaux en présence.

Dans la démarche analysant la vulnérabilité territoriale, l'idée est d'abord de se pencher sur les éléments majeurs à protéger avant d'analyser les facteurs qui peuvent fragiliser le territoire c'est-à-dire l'aléa ou les inégalités sociales. Il s'agit d'analyser le « territoire du risque » (Reghezza-Zitt, 2015) en tant qu'élément susceptible de générer et d'interagir avec le risque. Cette approche permet une utilisation opérationnelle des cartes de vulnérabilité produites, en identifiant les lieux à préserver prioritairement.

Par exemple, la ville de Ouagadougou a subi en septembre 2009 une inondation importante qui a touché entre autres les installations techniques de la centrale électrique thermique de Paspanga. Plusieurs équipements sont restés immergés pendant plusieurs heures, ce qui a entraîné la non-fourniture d'électricité à plusieurs quartiers de la ville allant quelques fois au-delà de 24 heures. Plusieurs dégâts collatéraux sur le plan sanitaire ont été enregistrés du fait de cette non-fourniture de l'électricité, avec des décès signalés sur les plateaux d'opération dans des centres médicaux (World Bank, 2010). La centrale électrique et l'hôpital se sont révélés ici être des éléments majeurs à protéger et qui devaient faire l'objet à part entière d'une analyse de vulnérabilité territoriale.

En somme, du fait de son évolution dynamique dans l'espace et des facteurs divers qui l'influencent, le concept de vulnérabilité demeure un principe difficile à appréhender.

Les travaux de Schneiderbauer (2007) ont permis de représenter la dynamique temporelle de la vulnérabilité en fonction du niveau de développement (Figure I-3). Il ressort de ces travaux que le niveau de vulnérabilité est inversement proportionnel au niveau de développement d'une société. Généralement, ce niveau de développement s'améliore avec le temps d'où une diminution de la vulnérabilité. Cependant, l'occurrence d'un aléa a tendance à freiner cette diminution puisque la survenue d'une catastrophe place la société dans des situations d'endommagement, où il faut faire face aux difficultés générées par l'évènement. La société touchée doit alors absorber le choc et s'en remettre pour que le processus de diminution de la

vulnérabilité puisse reprendre son cours. Cette phase d'absorption du choc de l'aléa dénote de la capacité d'adaptation de la société. Le retour à un état préexistant n'est généralement pas possible puisque le processus de rétablissement peut être à nouveau impacté par l'occurrence d'un nouvel aléa (Figure I-3). Cependant, la société peut être capable grâce à l'amélioration de son niveau de développement de réduire à nouveau sa vulnérabilité à un niveau inférieur au niveau antérieur à l'aléa. Cette diminution de la vulnérabilité dénote de la résilience de la société.

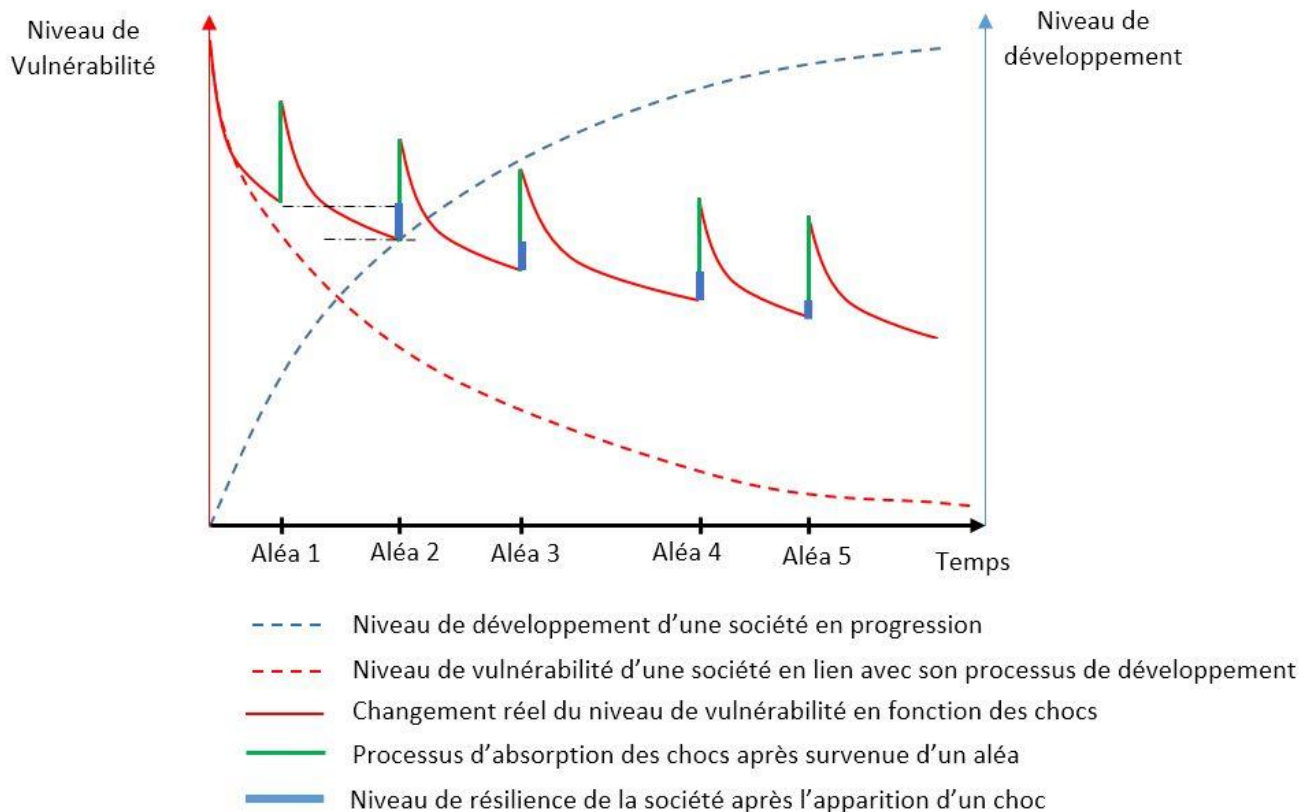


Figure I-3 : Dynamique temporelle de la vulnérabilité adaptée de Schneiderbauer 2007

La vulnérabilité globale peut en résumé être étudiée en évaluant les dommages potentiels aux personnes et aux biens et leur répercussion sur l'environnement naturel et économique ou en considérant la fragilité d'un territoire et ses capacités.

Lorsque la vulnérabilité est appréhendée dans le sens de l'analyse de l'endommagement, une autre classification que nous abordons dans le cadre méthodologique (Partie I - chapitre 2) peut être faite. La vulnérabilité globale est alors entendue comme le croisement d'une vulnérabilité humaine (propension à l'endommagement ou au dysfonctionnement), d'une vulnérabilité technique (degré d'endommagement) et d'une vulnérabilité organisationnelle

(incapacité de réponse vis-à-vis de l'endommagement). Le croisement de cette vulnérabilité globale avec l'aléa laisse émerger une notion tout aussi centrale, à savoir le risque.

1.1.2.3. Le risque

❖ Généralité sur la gestion des risques

L'étude des risques ou cindynique répond aux besoins humains de se protéger et de se prémunir des conséquences dommageables des phénomènes dangereux, parfois difficilement maîtrisables. De nombreuses définitions du risque existent dans la littérature scientifique et même dans l'entendement populaire et le sens commun.

Encadré 1 : Quelques définitions du risque

- Le risque est la probabilité d'occurrence de dommage compte tenu des interactions entre facteurs d'endommagement (aléas) et facteurs de vulnérabilité (peuplement, répartition des biens) (ENS Lyon, 2015).
- D'après l'UNDRO - United Nations Disaster Relief Office (1980), le risque est la quantification humaine et économique des dommages occasionnés par un phénomène naturel (nombre de décès, nombre de blessés, coût des pertes).
- Le risque est la combinaison de la probabilité de survenue d'un événement particulier et de l'impact que cet événement pourrait produire (Soma, 2015).
- Le risque est l'éventualité d'occurrence d'un événement dommageable lié à l'exposition à un aléa, perçu comme un danger (Dequincey et Thomas, 2017).
- Le risque représente dans le langage courant « un danger éventuel plus ou moins prévisible » ou « un danger, un inconvénient plus ou moins probable auquel on est exposé » (Breysse, 2009).
- Le risque est l'espérance mathématique de pertes en vies humaines, de blessés, de dommages aux biens et d'atteinte à l'activité économique au cours d'une période de référence et dans une région donnée, pour un aléa particulier (INERIS, 2014)

Divers mots-clés sont attribués à ce concept selon les domaines et la raison pour laquelle un phénomène considéré comme à risque est étudié. L'accent est mis dans la majeure partie des définitions actuelles sur l'impact négatif du risque (pertes, dommages, mal), en le considérant comme une menace ou un danger dont il faut se prémunir.

Dans la vie courante, les termes danger (*hazard* en anglais), menace (*threat* en anglais) et risque (*risk* en anglais) sont bien souvent confondus. Dans l’imaginaire collectif, un danger est un évènement qui peut gravement porter préjudice à l’intégrité physique d’une personne, d’un bien, d’un équipement, d’infrastructures ou de superstructures... Le danger engendre la menace de subir les conséquences d’une situation alarmante.

Les définitions de risque traduisent une notion de probabilité d’occurrence d’un aléa potentiellement destructeur. Le risque peut être ainsi perçu comme l’espérance mathématique pour des personnes, des biens et des activités économiques, politiques ou culturelles, de subir des dommages au cours d’une période de référence et dans une région donnée pour un aléa particulier. Ainsi, l’étude des risques est maintenant liée à l’étude de la vulnérabilité d’une société à un aléa, ce qui n’était pas le cas il y a quelques décennies. La définition du risque a été en effet pendant longtemps cantonnée à l’analyse de l’aléa ou dans une moindre mesure à l’analyse de la vulnérabilité bio physique (Veyret & Reghezza, 2006).

Malgré la pluralité des définitions du risque octroyées par chaque discipline, il existe un certain consensus dans la littérature notamment dans les sciences de la vie et de la Terre et les sciences de l’ingénieur concernant cette notion. Les scientifiques de ces disciplines s'accordent à dire que le risque est le croisement de deux composantes abordées précédemment à savoir l’aléa et la vulnérabilité.

En sciences humaines et sociales, bien que la définition du terme « risque » fasse toujours l’objet de discussion, il s’est également dégagé un certain consensus sur le fait que le risque renferme en son sein les notions d’aléas et de vulnérabilité (Figure I-4). Le risque est ainsi considéré comme « la probabilité d’occurrence de dommage compte tenu des interactions entre processus physiques d’endommagement (aléas) et de facteurs de peuplement (vulnérabilité) » (Pigeon, 2002).

Selon la définition de UNISDR - United Nations International Strategy for Disaster Reduction (2016), le risque se traduit par l’espérance mathématique des dommages et se présente comme le produit d’un aléa par la vulnérabilité liée à cet aléa (Wisner et al., 2003).

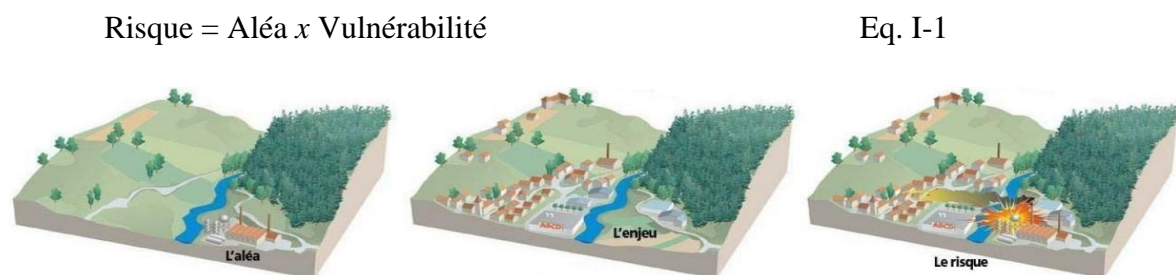


Figure I-4 : Combinaison de l’aléa et des enjeux comme source du risque (source : MEDD [2004])

Dans le domaine des Systèmes d'Information Géographique, l'analyse des risques passe par la superposition de cartes d'aléa et de vulnérabilité (Veyret & Reghezza, 2006). Ainsi, le mot « risque » couvre une dimension traduite sous la forme de la fonction :

$$\text{Risque} = \text{aléa} + \text{vulnérabilité} \quad \text{Eq. I-2} \quad (\text{Basara, 2019})$$

Cependant, d'autres réflexions ont relevé la difficulté de simplifier le risque à la combinaison de l'aléa et de la vulnérabilité, qu'elle soit par un facteur additif ou multiplicatif. Ainsi certaines nuances discutables sont notées par Chambers (2006) qui rapporte la nécessité d'introduire dans l'équation la notion d'exposition. La notion de risque pour elle doit être fonction de l'aléa s'exerçant en un lieu donné à une période temporelle bien précise, de la vulnérabilité et de la résilience. Ces paramètres définissent d'une part la propension d'enjeux à la destruction structurelle, naturelle, économique ou autre, et d'autre part la capacité de ceux-ci et de la société entière à se remettre de la catastrophe et à faire face. La résilience dans notre étude est considérée comme partie intégrante de la vulnérabilité, étant entendu que la faible capacité à faire face aux catastrophes et à s'en remettre dénote une plus grande vulnérabilité de la société.

Au-delà des aspects liés à la définition du concept de risque, la gestion des risques se positionne dans le monde comme un élément primordial pour le développement durable, compte tenu des fortes corrélations qui existent entre la survenue d'un aléa et l'effet qu'il peut avoir sur un territoire vulnérable. On distingue ainsi dans la littérature trois phases dans la gestion des risques (Figure I-5):

- la phase d'avant : elle permet de se prémunir contre les crues et leurs conséquences catastrophiques. Durant cette phase, l'État met en œuvre l'information préventive sur le risque, la protection contre les crues et la prévision ;
- la phase « pendant » : elle fait référence à la réponse à une crue et relève de l'organisation des secours, de l'évacuation et de la relocalisation des populations sinistrées ;
- La phase d'après : elle correspond à la période post-crise et permet d'organiser le retour d'expérience pour l'enrichissement de la connaissance du risque.

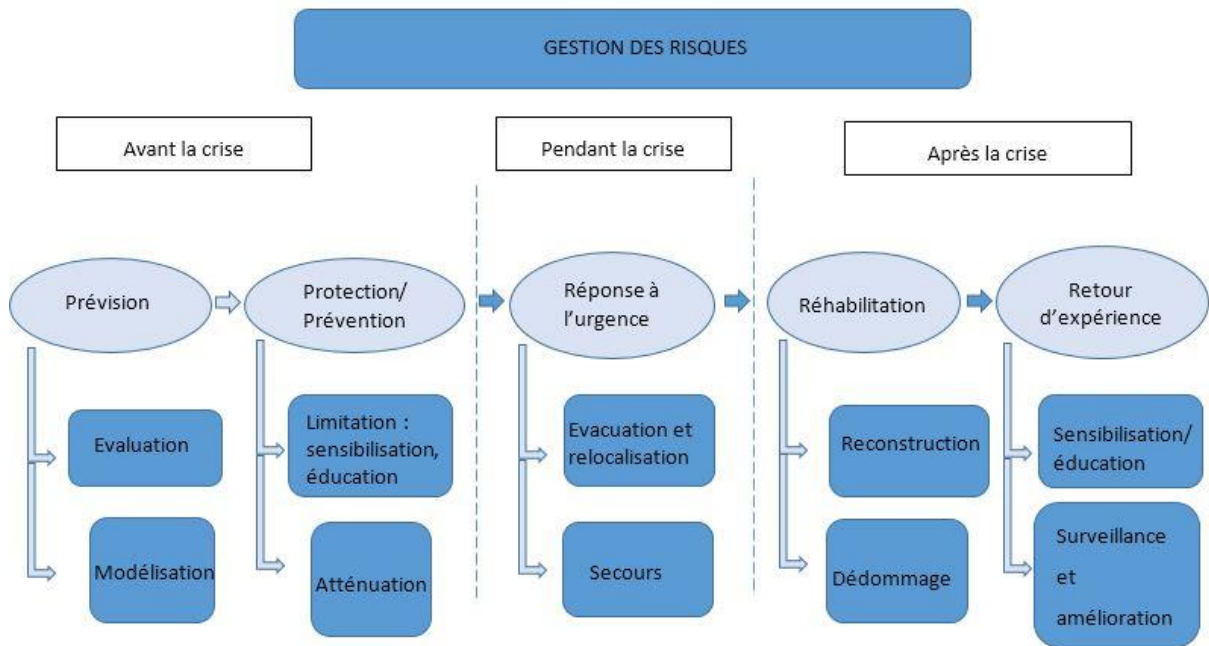


Figure I-5 : Stratégies de gestion des risques (source : auteur)

La première phase est la phase de préparation et d'anticipation de la catastrophe, reposant sur trois (3) actions :

- **la prévision** : elle permet d'étudier l'aléa et de recueillir un certain nombre d'informations sur la survenue d'un risque imminent. Elle intervient au préalable d'une crise et est fortement contrainte par le temps. C'est l'étape de la connaissance du risque potentiel ou en cours de formation (Figure I-6), de l'analyse de l'exposition des zones vulnérables et de la modélisation mathématique de paramètres physiques expliquant l'aléa. Cette phase de prévision regroupe l'information de la population menacée concernant sa vulnérabilité et les démarches à suivre en cas de crise, ainsi que la mise en place de mesures de protection et d'organisation des secours. Elle implique une réaction diligente sur la base d'informations fournies rapidement, quitte à ce que ces informations recueillies soient moins précises que dans le cas de la prévention.

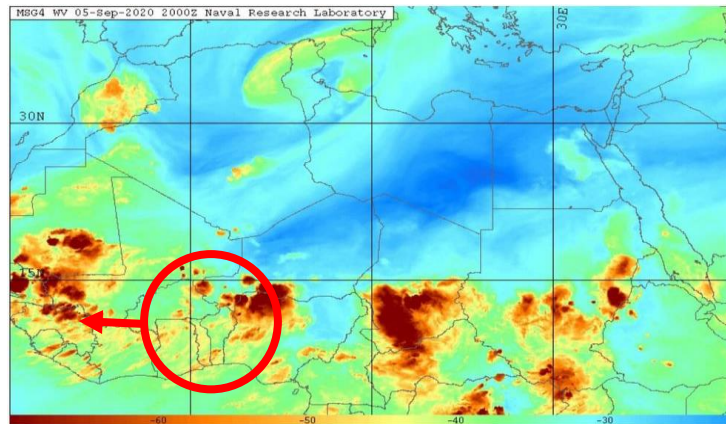


Figure I-6 : Prédiction de possibilité de fortes précipitations à venir au Burkina Faso (source : national research laboratory, USA, 5 septembre 2020)

- **la prévention face aux risques** : elle intervient en amont d'une crise et vise à réduire l'aléa et la vulnérabilité. Elle inclut tout comme dans la phase de prévision l'information des populations sur leur vulnérabilité et sur les démarches à suivre en cas de crise.

La priorité dans la démarche de prévention face aux risques d'inondation est de prédire de façon précise l'ampleur et les conséquences des crues potentielles, même si cela implique des délais beaucoup plus longs que dans la prévision. Le succès de cette phase dépend des politiques mises en œuvre par les décideurs qui doivent tenir compte des résultats présentés par les chercheurs. Pour ce faire, les recherches sur l'aléa inondation, objet des ingénieurs, et sur les dommages, actions et consignes de prévention, domaine dans lequel les géographes ont acquis un savoir-faire reconnu, doivent aller de pair (Vinet et al., 2011).

- **La protection** est l'ensemble des mesures prises pour diminuer l'impact potentiel d'un aléa sur un enjeu donné (population, construction...). Cette phase implique une réduction du risque par une action sur la vulnérabilité. Il s'agit de mettre en place des mesures pour limiter l'exposition (en relocalisant les populations par exemple) ou pour atténuer les dégâts (en procédant au curage des caniveaux par exemple). On parle pour ce dernier aspect de mesures de mitigations. La protection contre le risque consiste soit à limiter les enjeux exposés grâce à la réglementation et à l'aménagement du territoire (par le biais des Plans* de Prévention des Risques inondation pour l'exemple de la France), soit à se soustraire à l'aléa grâce à des aménagements hydrauliques (barrages, digues...). Cette protection permet de se prémunir contre un certain niveau d'aléa appelé dans le cas des inondations « crue de référence » ou « crue de projet ». La définition de ce niveau d'aléa fait appel à la connaissance statistique des hauteurs de précipitations ou des débits de crue.

La deuxième phase de gestion des risques est la **gestion de crise**, dont l'efficacité dépend de la qualité de la phase de la préparation. Il s'agit de répondre à l'urgence en procédant à des évacuations, à l'approvisionnement en vivres, médicaments et autres biens de première nécessité et de parer aux effets domino de la survenue de la catastrophe (ex. : épidémies). L'organisation des secours intervient dans cette phase de gestion de crise. Plusieurs acteurs de la société civile et de l'État doivent ainsi être mobilisés de manière synchronisée pour une gestion efficace de cette phase.

La troisième phase est celle de la **gestion après crise**. C'est une phase de reconstruction afin de parvenir soit à un retour à la situation initiale, soit à une situation de fonctionnement acceptable pour la société. Le succès de la gestion après crise est également fonction de la phase de préparation, particulièrement de l'efficacité de la mitigation. En effet, une société préparée à la survenue d'une catastrophe aura moins de dégâts que si elle n'était pas préparée et ainsi devra mobiliser moins de ressources pour se remettre de la catastrophe. Aussi, la gestion après crise dépend du niveau de prise en charge du coût de la réhabilitation par les différents acteurs, mais également de la résilience des populations touchées et de leur capacité à se relever à la suite d'une catastrophe.

Par ailleurs, la gestion du risque doit se poursuivre par une prise de conscience des insuffisances relevées dans la phase de gestion de la crise. C'est dans ce cadre qu'intervient le retour d'expérience. Ultérieur à la crise, il vise à tirer des enseignements sur les événements survenus de par le passé. Les expériences passées doivent servir à améliorer l'éducation et la sensibilisation des populations, afin de prévenir à l'avenir le risque ou tout au moins en atténuer les conséquences. La surveillance est un point clé de cette phase. Couplée à l'alerte, elle permet le déclenchement des secours pour faire face aux éventuels nouveaux aléas qui pourraient se présenter, et qui dépasseraient le niveau de l'aléa de référence qui a servi à l'établissement des mesures de protection. L'efficacité de l'alerte repose ainsi sur la prévision de nouveaux aléas, sur la base du retour d'expérience.

Dans une démarche de surveillance par retour d'expérience, l'analyse des données et des informations disponibles sur les événements ultérieurs est effectuée, afin de comprendre les phénomènes physiques, de les modéliser et de déterminer les erreurs humaines et politiques commises dans le passé.

Comme on le voit, les différentes phases de gestion des risques sont imbriquées les unes aux autres, chaque niveau étant essentiel pour l'efficacité des mesures du niveau suivant.

La bonne gestion des risques d'un territoire nécessite une connaissance poussée de l'aléa naturel auquel ce territoire est exposé et des enjeux plus ou moins vulnérables qui seront susceptibles d'être impactés par cet aléa. Elle constitue un facteur à part entière du risque, car les mesures de gestion peuvent l'exacerber ou participer à sa réduction. Cet élément vient en complément à la définition du risque, qui fait intervenir une certaine construction sociopolitique en étant l'objet de politique publique. En effet, cette gestion des risques fait parfois l'objet de compétitions dans le domaine politique pour rassembler l'électorat, ou est à la base d'une certaine légitimation du pouvoir politique, lorsque la gestion des catastrophes se fait de manière appropriée (Guerrin, 2014).

❖ Classification des risques : le risque technologique et le risque naturel comme risque majeur sur les territoires

La classification des risques est à notre avis un aspect important à établir en préalable à l'étude des risques afin d'adapter au mieux les mesures envisagées. Elle n'a cependant pas été spécifiquement réalisée dans la législation burkinabè ou malienne, même si globalement le législateur reconnaît dans les deux pays l'existence de plusieurs risques dont les risques naturels et les risques technologiques.

Selon la réglementation française, les risques peuvent être regroupés en 5 grandes familles :

- les risques liés aux conflits,
- les risques de transports collectifs,
- les risques de la vie quotidienne,
- les risques technologiques et
- les risques naturels qui font l'objet de cette thèse.

Les risques naturels et les risques technologiques constituent la grande famille des risques majeurs sur les territoires sahéliens même si au fil des années, les risques liés aux conflits (par exemple le terrorisme) prennent de plus en plus d'ampleurs. Ce sont des risques susceptibles d'entraîner une catastrophe, c'est-à-dire de graves bouleversements au sein de la société. Ils constituent en effet une menace telle que la société peut avoir de la peine à faire face, parce qu'elle se trouve absolument dépassée par l'immensité du désastre.

La catastrophe est à distinguer de la situation d'urgence qui, elle, correspond à l'apparition réelle ou imminente d'un événement nécessitant une attention immédiate. La

situation d'urgence est une situation où la société est capable de faire face si les mesures sont prises dans l'immédiat.

Nous analysons les risques naturels et technologiques dans les paragraphes qui suivent du fait de leur intérêt et de leur fréquence pour la zone sahélienne. Le risque naturel est évoqué parce qu'il constitue la grande famille dans laquelle se logent les inondations, objet de cette thèse. Aussi, le risque technologique est abordé du fait de sa possible combinaison avec les risques naturels entraînant des catastrophes.

❖ Le risque technologique

Le risque technologique représente l'éventualité que la présence de phénomènes ou de produits dangereux dégénère pour produire un accident au sein d'une société (Margossian, 2006). C'est un type de risque anthropique lié à la manipulation, au transport et au stockage de substances dangereuses pour l'environnement et la santé⁸.

Le risque technologique peut être accru par des effets en cascade causant des dommages indirects aux infrastructures sensibles ou être couplé à des risques d'origine naturelle. Par exemple, l'inondation d'établissements dangereux peut potentiellement être à l'origine d'accidents technologiques avec des effets létaux sur les populations. On parle alors de sur-aléa technologique (Cerema, 2016). Par ailleurs, certains agents environnementaux tels que les conditions météorologiques et atmosphériques (vitesse du vent, tempête) peuvent engendrer des catastrophes technologiques. On parle alors de risques « nat-tech » ou de risques « tech-nat » selon que le mécanisme déclencheur est d'origine naturelle ou technologique (Provitolo, 2005).

Les risques technologiques agissent de trois manières pouvant être létales. Ils peuvent avoir :

- **Des effets thermiques** responsables de brûlures et d'asphyxie : ces effets sont liés à la combustion de produits inflammables ou à leur explosion. Ils résultent le plus souvent du stockage anarchique de produits inflammables (gaz, produits pétroliers) dans des zones inappropriées en milieu urbain. Certaines erreurs humaines lors d'opération de machineries, ou des défauts de systèmes techniques peuvent également entraîner ces effets thermiques.
- **Des effets mécaniques** liés à l'onde de choc ou au bruit généré par les explosions. Il en résulte par exemple des traumatismes de type surdité temporaire ou définitif.

⁸ <https://www.gouvernement.fr/risques/risques-technologiques>

- **Des effets toxiques** du fait de la propagation de produits dangereux qui peuvent être respirés, inhalés, ingérés ou entrer en contact avec la peau et entraîner des lésions graves.

On distingue plusieurs types de risques technologiques :

- **Les accidents industriels** : ce sont des accidents qui touchent les établissements industriels lors du processus industriel de fabrication, de conditionnement, de stockage et de transport de produits industriels. Ces accidents se déroulent le plus souvent dans l'enceinte même de l'usine, même si on peut y inclure le transport de l'usine vers le lieu de consommation. Ils sont liés à l'industrialisation peu réglementée, mais aussi aux systèmes de transport défectueux de matières premières et de produits finis dangereux. Les accidents de Feyzin (1966), Seveso (1976), Bhopal (1984), Toulouse (2001) en sont quelques exemples tragiques.
- **Les accidents nucléaires** : c'est un type d'accidents qui survient soit dans une centrale nucléaire de production d'électricité, soit dans les laboratoires de recherche sur le nucléaire, soit dans des installations qui produisent, conditionnent, stockent ou traitent le combustible nucléaire, soit lors du transport de substances radioactives ou au cours de la dissémination malveillante ou involontaire de substances radioactives dans l'environnement. Ils conduisent au rejet anormal dans l'environnement d'éléments radioactifs toxiques et/ou à une forte irradiation avec des contaminations humaines. Quelques accidents nucléaires ont été répertoriés dans le monde dont certains sont en lien avec la survenue de catastrophes naturelles. L'accident nucléaire de Fukushima au Japon en est un exemple. Lié à un tsunami consécutif à un séisme de magnitude 9, cet accident « nat-tech » est survenu le 11 mars 2011. Classée niveau 7 (niveau le plus élevé sur l'échelle internationale des événements nucléaires) au même degré que Tchernobyl, cette catastrophe a entraîné d'importants rejets radioactifs. Contrairement aux précédents accidents nucléaires, l'accident de Fukushima Daichi ne provient pas à l'origine d'un dysfonctionnement nucléaire, mais d'une protection insuffisante contre une catastrophe naturelle (tsunami consécutif d'un séisme). Il n'y aurait pas eu de victimes directes dues à l'exposition aux rayons ionisants de cet accident, mais on dénote un impact psychologique notable.
- **Le risque minier** : c'est le type de risque lié à l'exploitation de gisements de matériaux souterrains ou résultant de l'arrêt de l'exploitation de ces gisements. Il

est susceptible de se produire pendant l'exploitation ou après des effondrements localisés ou généralisés et des affaissements de terrain lorsque l'extraction s'est faite en profondeur. Les dommages sont susceptibles d'affecter les bâtiments, la voirie, les réseaux d'eau et de gaz et d'entraîner des émissions gazeuses asphyxiantes, des pollutions, des explosions et des inondations par remontées d'eau en zones affaissées.

- **Les ruptures de barrage** : les barrages sont susceptibles de rompre sous l'effet de la pression exercée sur les digues du fait d'un trop-plein d'eau causé par des pluies abondantes, de problèmes techniques, de séismes, de glissements de terrain ou d'erreurs humaines (entretien, erreurs d'exploitation...). Ces types d'accidents ont la plupart du temps des conséquences très graves dont l'importance évolue en fonction de la taille du barrage et des enjeux en présence en aval. Au Kenya, le 09 mai 2018, une rupture de barrage ayant entraîné une inondation à l'aval a causé 41 décès et de nombreux dégâts⁹.
- **Le transport ou le stockage de matières dangereuses non radioactives dans un site non industriel** : les matières dangereuses sont constituées de toutes substances représentant un danger pour l'homme, les biens ou l'environnement tel que les ordures ménagères, les boues d'épuration, les batteries et pile usagée, les déchets d'industries et centres médicaux et les produits pétroliers ou chimiques. Leurs propriétés physiques ou chimiques sont susceptibles d'engendrer des réactions à la base de pollution de tout genre, d'incendie, d'explosion, de rejets d'éléments toxiques, corrosifs ou volatils et partant être source de maladies. Effectué en milieu urbain par voie aérienne, routière ou ferroviaire, le transport de matière dangereuse constitue un risque d'autant plus important s'il est réalisé sans mesures préventives adéquates. En Afrique, le transport non règlementé d'hydrocarbures par voie routière ou dans les pipe-lines, la vétusté de certains équipements et l'absence de sécurité constituent des facteurs de risques (Soma, 2015) qui, lorsqu'ils sont couplés aux catastrophes naturelles, peuvent se révéler désastreux.

⁹<https://www.france24.com/fr/20180510-kenya-rupture-barrage-nakuru-dizaines-morts-ouvriers-agricoles>

❖ Les catastrophes naturelles

Les catastrophes naturelles sont définies d'après l'Institut National de la Statistique et de la Démographie du Burkina Faso (INSD, 2019) comme des perturbations d'origine naturelle de la société, entraînant des pertes étendues en vies humaines, en biens et dans l'environnement. On parle de risque naturel lorsque l'aléa susceptible d'être déclenché provient d'un phénomène physique naturel, c'est-à-dire lié au climat, à la météorologie, à la géomorphologie dynamique, ou à la tectonique et est capable d'impacter des biens, des personnes et des activités sur un espace de vie donné. L'occurrence de ces catastrophes intervient à la suite d'aléas qui évoluent sur le long terme au point de dépasser les possibilités de la société frappée à faire face aux impacts en ayant recours uniquement à ses propres ressources. Une catastrophe naturelle nécessite ainsi d'après l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO, 2017), une combinaison entre un risque naturel avec des conditions de vulnérabilité et une incapacité, voire des mesures insuffisantes d'atténuation des conséquences de ces risques. Il ressort ainsi une notion de faible résilience et d'incapacité à faire face. La survenue d'une catastrophe correspond donc à la conjonction spatiale et temporelle entre l'occurrence d'un phénomène de grande ampleur, et la vulnérabilité d'une société totalement désorientée face aux dommages éventuels du phénomène.

Les risques naturels se déclinent sous six catégories d'après la classification de la base de données Emergency Events Database (EM-DAT) :

- **les risques géophysiques** : ce sont des catastrophes liées à la lithosphère c'est-à-dire au relief et aux types de roches en présence. Ils s'appréhendent à l'échelle de temps géologiques responsables de la mise en place des formes et modelés sous l'action de l'érosion. Ces risques ont trait aux volcans actifs, aux glissements de terrain, séismes, éboulements et avalanches. La combinaison de risques géophysiques comme les glissements de terrain avec des inondations entraîne des catastrophes d'une rare violence. Ce fut le cas le 1^{er} mai 1993, avec un glissement de terrain qui a conduit à la formation d'un barrage dont la rupture a entraîné des inondations sans précédent de la Josephina en Équateur (Cadier et al., 1996).
- **Les risques météorologiques** : ce sont des catastrophes liées aux phénomènes atmosphériques. Ils constituent les phénomènes les plus fréquents à la surface de la Terre. Ils sont constitués des cyclones, des tornades, des tempêtes, des vagues de chaleur, de froid, de grêles et de neige.

- **Les risques climatologiques** : ils sont causés par des processus atmosphériques de longue durée, de méso à macro-échelle. La variabilité climatique intra-saisonnière et la variabilité climatique multi-décennale sont la source de ce type de catastrophes naturelles.
- **Les risques biologiques** : ils sont liés à l'exposition à des organismes vivants susceptibles d'entraîner des épidémies au niveau de la biosphère ou à la présence de toxines constituant une menace pour la santé publique.
- **Les risques qualifiés d'extraterrestre** : ils sont causés par les astéroïdes, les météorites et les comètes, lorsqu'elles passent près de la Terre, entrent dans l'atmosphère terrestre et/ou frappent la Terre, et par les changements de conditions interplanétaires qui affectent la magnétosphère, l'ionosphère et la thermosphère. On peut citer les chutes de météorites qui sont des aléas périlleux, mais rares à l'échelle humaine, car ils se produisent plutôt à l'échelle de temps géologiques.
- **Les risques hydrologiques** : ils sont dus à la présence, au mouvement et à la distribution d'eau douce et d'eau salée de surface et de sub-surface au niveau de l'hydrosphère. On y retrouve les inondations, les crues instantanées et les coulées de boue.

Notre thèse s'intéresse à cette catégorie de risque plus particulièrement au risque inondation. L'aléa inondation ne devient un risque que dans la mesure où il intervient dans des localités occupées par des populations ou recueillant des enjeux telles que des habitats, des ouvrages d'adduction d'eau potables ou d'assainissement. Notre travail s'inscrit dans la lignée des travaux sur l'analyse de la vulnérabilité face aux inondations dans son contexte biophysique, social et territorial pour une contribution aux stratégies de gestion. La thèse se propose d'appliquer cette approche du risque axée sur la vulnérabilité aux inondations au cas de deux centres urbains de deux pays sahéliens en voie de développement : Ouagadougou (capitale du Burkina Faso) et Bamako (capitale du Mali).

1.2. La notion d'inondation

1.2.1. Définition et typologie des inondations

L'inondation est perçue d'après Marie et al. (2007) comme le *stade d'une crue où le fleuve sort de son lit majeur et envahit les zones basses environnantes*. Il s'agit en d'autres termes du débordement d'un cours d'eau qui sort de son lit (Scarwell & Laganier, 2017a).

La crue se définit comme une brusque augmentation du niveau d'un cours d'eau, sous l'effet de précipitations favorables. C'est la réponse naturelle d'un bassin versant à une précipitation. On peut distinguer les « bonnes crues » et les « mauvaises crues » en fonction des

enjeux affectés. Les crues dites bonnes sont entendues comme étant les crues qui permettent par exemple l'inondation des plaines alluviales et des deltas intérieurs et qui favorisent le développement de la pêche ou de l'agriculture, en assurant la présence d'eau lors des étiages suivants. Ils permettent aussi la persistance des hautes et moyennes eaux pour la navigation.

Pour cette thèse, les inondations seront analysées en termes de mauvaises crues, c'est-à-dire comme des événements entraînant un dommage sur les personnes ou les biens.

Une autre définition défendue par d'autres auteurs stipule qu'une inondation fait référence à la présence temporaire d'eau sur des espaces terrestres habituellement non submergés (Scarwell & Laganier, 2017a; Torterotot, 1993).

Le code de l'environnement français¹⁰ est en notre sens plus précis et plus complet dans sa définition des inondations, car il prend en compte les différents angles abordés plus haut. Son article L566-1- chap. 6 énonce qu'*une inondation est une submersion temporaire par l'eau de terres émergées, quelle qu'en soit l'origine, à l'exclusion des inondations dues aux réseaux de collecte des eaux usées, y compris les réseaux unitaires... Le risque d'inondation est la combinaison de la probabilité de survenue d'une inondation et de ses conséquences négatives potentielles pour la santé humaine, l'environnement, les biens, dont le patrimoine culturel, et l'activité économique*¹¹. Nous adoptons, pour le reste de notre étude, cette position du code de l'environnement français concernant la définition des inondations, du fait de sa clarté dans la description du phénomène défini et de la précision concernant le risque qu'il engendre.

Les inondations regroupent plusieurs types de phénomènes. Une typologie classique consiste à les distinguer selon leur origine, naturelle ou anthropique. Cette typologie est combinée à celle élaborée par la directive inondation de l'Union européenne. Selon cette dernière, les inondations peuvent être regroupées en cinq grandes catégories qui tiennent compte de critères liés à l'écoulement des eaux de pluie, à la formation des crues, à leur rapidité et à la submersion des terres (Figure I-7).

¹⁰ Les législations malienne et burkinabè n'ont pas apporté de définitions propres de l'inondation à notre connaissance

¹¹ https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000022479456/, consulté le 10/12/2018

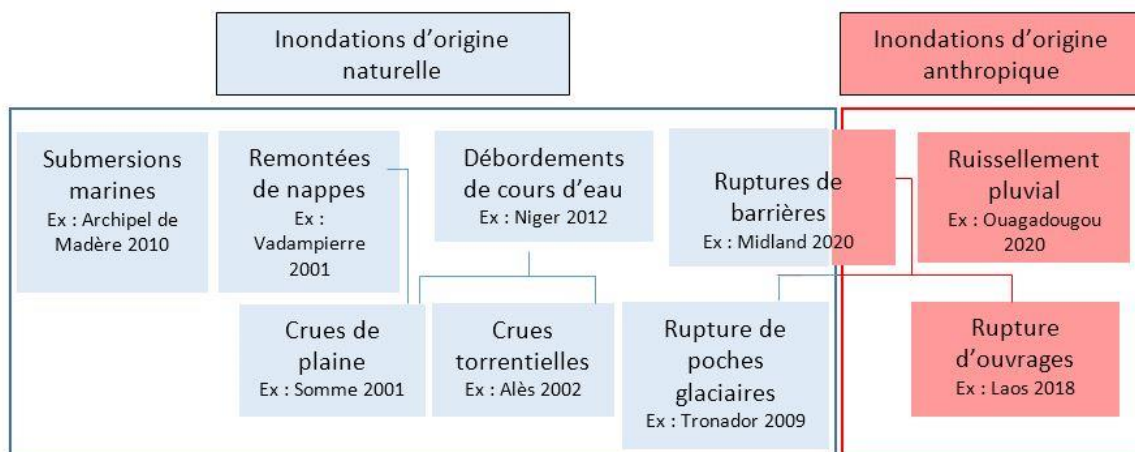


Figure I-7 : Typologie des inondations et exemples de catastrophes pour chaque type (source : auteur, inspiré de la Directive inondation de l'Union européenne)

On distingue ainsi :

- **Les inondations dues aux remontées de nappes** : généralement lent, ce type d'inondation est provoqué par la montée du niveau de la nappe phréatique qui finit par submerger les terres. Ces inondations interviennent par exemple lorsque plusieurs années humides se succèdent dans une localité. Le niveau de la recharge naturelle de la nappe devient alors supérieur à la vidange annuelle vers les exutoires, ce qui provoque les remontées.
- **Les inondations dues à un débordement de cours d'eau** : ce type d'inondation peut être lent (dans le cas de rivière de plaine par exemple) ou rapide (dans le cas de torrents).

On distingue pour cette catégorie :

- Les inondations de plaine : elles se produisent lorsque le cours d'eau sort de son lit mineur pour inonder son lit majeur, occupant ainsi les terrains bas ou les terres alluviales pendant une longue période (de quelques jours à quelques semaines). Ces inondations se produisent soit du fait de fortes précipitations ou du fait de remontées de nappes alluviales. La cinétique de ces crues permet une assez bonne anticipation du risque.
- Les inondations à montée rapide ou cinétique rapide ou inondations « éclaires » : elles correspondent à la montée rapide du débit d'un cours d'eau en un temps court du fait du fort ruissellement des eaux. Ce type d'inondation est souvent en lien avec la forte pente des versants (région de montagne) et la concentration de petits cours d'eau (bassins versants de petits cours d'eau). Les crues torrentielles ou crues éclairs se caractérisent par la soudaineté de la réponse des bassins

versants aux précipitations intenses. Leur cinétique rapide rend leur anticipation délicate (Fouchier, 2010).

- **Les inondations dues aux ruissellements de surface** : ce type d'inondation est fréquemment rencontré dans les zones urbaines ou périurbaines, souvent en proie à l'imperméabilisation du sol. L'infiltration des eaux de pluie est limitée dans ce genre d'environnement, du fait des surfaces bitumées ou recouvertes de matériaux. Cela augmente le ruissellement et occasionne la saturation du réseau d'assainissement pluvial. Il en résulte l'inondation des rues et l'écoulement à travers elles de grandes quantités d'eau en direction des exutoires des villes.

- **Les inondations dues aux ruptures de barrières** : ces barrières peuvent être artificielles (dans le cas d'ouvrages hydrauliques) ou naturelles (dans le cas de poches glaciaires par exemple).
 - Les ruptures d'ouvrages hydrauliques : elles proviennent de la destruction partielle ou totale d'un barrage ou d'une digue. Les causes de rupture peuvent être d'ordre :
 - Technique : avec par exemple des problèmes de conception et/ou de construction, un défaut de fonctionnement des vannes permettant l'évacuation des eaux, ou le vieillissement des installations
 - naturelles : séismes, crues exceptionnelles, glissements de terrain
 - Humaines : manquement dans le contrôle des ouvrages lors de la phase de réalisation ou durant la phase opérationnelle, insuffisance d'études préalables, erreurs d'exploitation et d'entretien...
 - Les ruptures de poches glaciaires : elles sont liées à la présence de poches d'eau à l'intérieur des glaciers provenant soit de la fonte des neiges pendant la période chaude ou des précipitations infiltrées dans le glacier. L'inondation intervient après rupture de la glace du fait d'une pression trop importante, entraînant une vidange brusque pouvant avoir des conséquences désastreuses en aval.

- **Les inondations dues aux submersions marines** : elles proviennent de la combinaison entre des ondes de tempêtes et la marée. C'est un type d'inondation particulièrement dangereux du fait des quantités d'eau en mouvement qui peuvent entraîner des ruptures de digues ou leur submersion.

Les inondations par ruptures de poches glaciaires et par submersion marine ne nous ont pas intéressée dans le cadre de cette recherche, puisque dans la zone d'étude (le Sahel) ce type de risque est inexistant. Les inondations dues aux ruptures d'ouvrage n'ont pas non plus fait l'objet de notre analyse, les ruptures étant rares en zone urbaine sahélienne. Nous avons focalisé notre étude sur les inondations dues au ruissellement de surface et les inondations par débordement de cours d'eau. Ces deux types sont les inondations les plus rencontrées dans le monde et en zone urbaine en particulier.

1.2.2. Les inondations comme premier risque naturel dans le monde

La médiatisation de plus en plus poussée des événements fait apparaître une augmentation quasi constante de la fréquence et de l'intensité des catastrophes, en particulier celles dites naturelles dans le monde. Ces dernières tiennent principalement à la dégradation de l'environnement, aux effets du changement climatique qui secouent de plus en plus l'humanité et à l'urbanisation incontrôlée, qui reste étroitement liée à la démographie galopante (Ouedraogo & Ndiaye, 2008). Un rapport du Sénat français (Bonney, 2018) estime que *d'ici 2050, le montant des sinistres liés aux catastrophes naturelles va augmenter de 50 % à cause du climat et de la concentration de la population dans des zones à risques.*

Globalement, les pertes économiques en lien avec les catastrophes naturelles provoquent un déficit annuel de près de 520 milliards, entraînant 26 millions d'individus dans la pauvreté (Hallegatte et al., 2016). Les pertes économiques les plus importantes au cours des décennies 1998-2018 ont été subies par les États-Unis (944,8 milliards de dollars) suivis par la Chine (492,2 milliards) et le Japon (376,3 milliards) (AFP, 2018). Ces pertes économiques mondiales principalement dues aux tempêtes, cyclones et inondations, seraient majoritairement sous-estimées de près de 60 % (Banque Mondiale, 2016) . On note ainsi une variabilité des niveaux de vulnérabilité aux catastrophes naturelles en fonction des régions de la planète.

Les inondations constituent le premier risque de catastrophes naturelles dans le monde, compte tenu du nombre d'événements et du nombre d'individus affectés. En 2019, 194 épisodes ont été recensés et ont affecté 31 millions de personnes, contre une moyenne annuelle de 149 durant la décennie 2009-2018, d'après la base de données EM-DAT (Figure I-8).

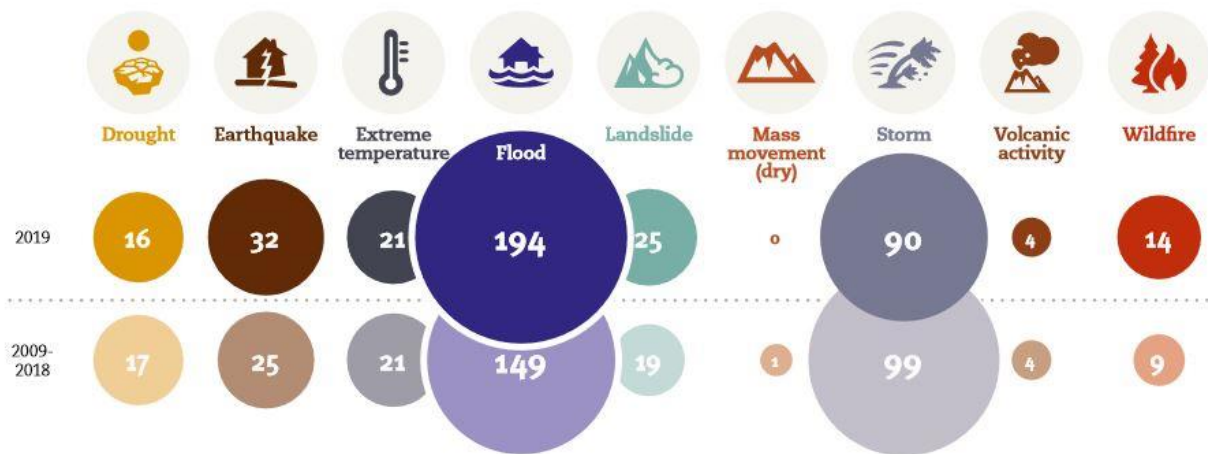


Figure I-8 : Occurrence par type de catastrophe : 2019 comparée à la moyenne annuelle de la décennie 2009-2018 (source : EM-DAT)

Ces inondations entraînent d'énormes pertes tous les ans sur tous les continents. De ce fait, plusieurs chercheurs à travers le monde se sont attelés à les étudier afin d'en comprendre les causes, mais aussi d'en identifier objectivement les conséquences et les solutions. Ainsi, Douglas (2017) a analysé l'interaction qui existe entre les éléments géophysiques et les facteurs humains et qui expliquent la survenue des inondations et le degré d'impact de ces catastrophes. Pour cet auteur, il est nécessaire de mettre en œuvre des actions coordonnées qui tiennent compte de ces interconnexions afin de faire face aux inondations, s'adapter et atténuer les impacts. Bechler-Carmaux et al. (2000) ont étudié la vulnérabilité et l'aléa au niveau de la ville de Niamey. Leur travail de cartographie des zones inondables a permis de montrer l'impact de l'urbanisation galopante sur l'aggravation du phénomène dans la ville.

À l'échelle mondiale, les pays d'Asie du Sud se classent en tête de liste des pays les plus touchés par les inondations, suivis des états américains (Figure I-9). Quant aux pays d'Afrique pris individuellement, ils font moins face de manière absolue aux inondations que les pays asiatiques et américains, du fait notamment de l'emprise spatiale.

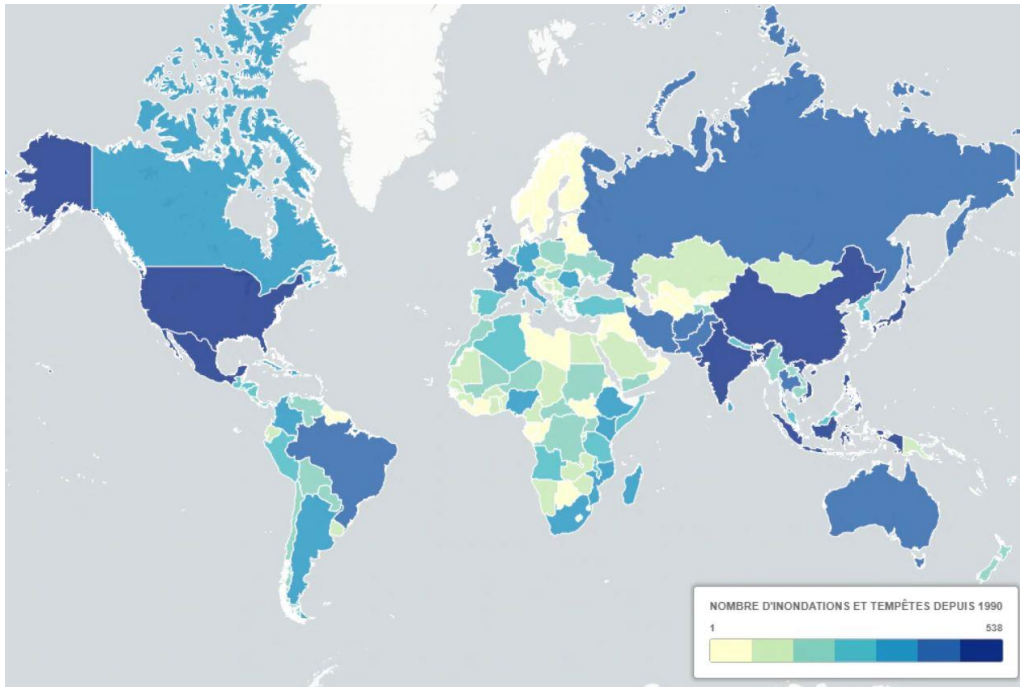


Figure I-9 : Carte des inondations et des tempêtes dans le monde de 1990 à 2017 ; source : Base de données internationale des catastrophes du Centre de recherche de l'épidémiologie des désastres (EM-DAT) - Université catholique de Louvain, Bruxelles¹².

Cependant, au niveau continental depuis 30 ans, l'Afrique se classe 2^e parmi les continents les plus touchés par les inondations à la suite de l'Asie (Figure I-10).

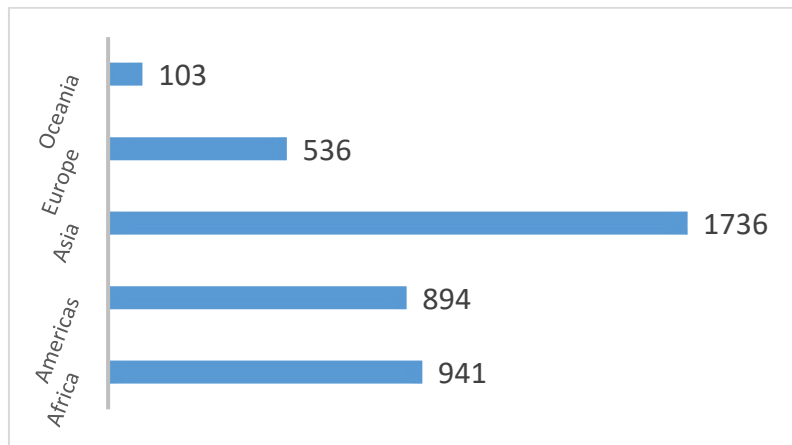


Figure I-10 : Nombre d'inondations répertoriées par continent depuis 1990 (source : Base de données internationale des catastrophes du Centre de recherche de l'épidémiologie des désastres [EM-DAT])

Parmi les inondations les plus remarquables qui ont touché le continent asiatique, nous avons l'inondation de la plaine de Tangtse en 1998, qui a engendré près de 15 milliards d'euros

¹² <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1053527/inondations-tempetes-monde-carte-changements-climatiques>, consulté le 01/02/2018

de dégâts et sinistré près de 14 millions de personnes en Chine. Cette inondation a été causée par des précipitations exceptionnelles, avec des hauteurs d'eau de 670 mm. L'Inde a été également durement touchée en 2016 par des pluies diluviennes qui ont entraîné des inondations et des glissements de terrain, causant près de 31 décès. Aussi, au cours de l'année 2017, au moins 700 personnes ont péri au Népal, en Inde et au Bangladesh dans des inondations qui ont entraîné le déplacement de près d'un million de personnes. Cette région de l'Asie du Sud fait fréquemment les frais des inondations chaque année durant la mousson. En 2020, la barre des 1300 décès y a été franchie.

Le continent européen est aussi impacté par de sévères inondations. De mai à juin 2016 par exemple, ce continent a été concerné par une forte pluviométrie responsable d'inondations en Allemagne, France, Autriche, Suisse, Moldavie et Roumanie. Au moins 19 décès ont été déplorés, avec des pertes évaluées à près d'un milliard d'euros. En France, environ un habitant sur quatre et un emploi sur trois sont directement concernés par le risque d'inondation (Cerema, 2016). D'après l'INSEE¹³, un million de personnes vivaient en 2016 en France dans des zones potentiellement inondables, souvent urbanisées, parmi lesquelles 100 000 personnes étaient très vulnérables, c'est-à-dire jeunes enfants ou personnes très âgées.

L'Amérique du Nord est également durement touchée par le phénomène avec près de 145 épisodes enregistrés aux États-Unis en 30 ans, soit une moyenne de plus de quatre inondations par année (Figure I-11). En Amérique latine, en 2015, près de 170 000 personnes ont été évacuées du Paraguay, de l'Uruguay, du nord de l'Argentine et du sud du Brésil, du fait des inondations dues au retour du phénomène météorologique El Niño.

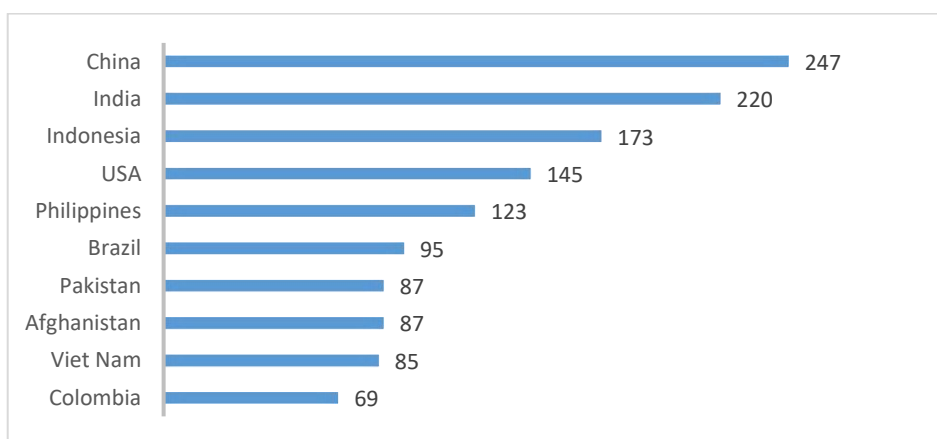


Figure I-11 : Les 10 pays les plus touchés par les inondations depuis 1990 (source : Base de données internationale des catastrophes du Centre de recherche de l'épidémiologie des désastres [EM-DAT]).

¹³ <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3614748>, consulté le 03/03/2020

En Afrique, l'impact et les conséquences de ces catastrophes se révèlent désastreux même si globalement le continent n'est pas le plus touché par les inondations. Cela est dû à la forte dépendance des pays aux ressources naturelles, à la vulnérabilité biophysique et sociale, à une capacité adaptative relativement limitée et à la pauvreté. Ce dernier aspect est primordial dans l'analyse de la vulnérabilité aux inondations, car *77 % des décès causés par les inondations survenues dans le monde entre 1975-2001 ont eu lieu au sein des populations les plus démunies* (Qazi, 2006, p. 74).

Au Nigéria, fin octobre 2012, 363 personnes ont perdu la vie dans les pires inondations qu'ait connues le pays depuis 50 ans. En 2019, après l'endommagement de près de 90 % du Mozambique par le cyclone Idai qui a entraîné l'inondation de la région, ce fut au tour du Zimbabwe d'enterrer ses morts (près d'un millier de victimes) avec près de 200 000 personnes touchées dans la zone frontalière avec le Mozambique.

Même si en chiffres absolus les inondations entraînent plus de pertes dans les pays riches, leurs impacts sont plus graves dans les pays pauvres qui mettent plus de temps à se rétablir.

Ce constat est d'autant plus alarmant dans les pays de l'Afrique de l'Ouest, qui sont déjà confrontés à une paupérisation généralisée et qui, depuis deux décennies, sont en proie quasiment chaque année aux inondations. Cette situation s'explique autant par les précipitations extrêmes et les changements climatiques (GIEC, 2007) que par les transformations des espaces urbains, dans leur rythme, leur forme et leur gouvernance (Hangnon et al., 2015).

Le même constat est fait dans la zone sahélienne qui est confrontée ces dernières années à une nouvelle donne climatique (le retour des pluies avec des intensités plus importantes que durant les décennies de sécheresse), entraînant des inondations dévastatrices. Par exemple, en août 2014, il a été enregistré près de Niamey au Niger des pluies si extrêmes que les scientifiques ont estimé qu'elles ne devraient normalement se produire qu'une fois tous les 4000 ans (Bell et al., 2019). Au Burkina Faso, les inondations de 2009 (Photographie I-1a), l'une des plus importantes qu'a connues le pays, ont été causées par des pluies d'une période de retour estimée à près de 10 000 ans (Karambiri, 2009). Pendant l'hivernage de 2020, c'est toute la zone sahélienne qui a subi les affres des pluies torrentielles rimant avec décès et pertes considérables. Le ciel a ouvert ses vannes sur toute la région en août et septembre 2020, entraînant 102 décès au Soudan et au Soudan du Sud, 19 au Burkina Faso. Ce fut une situation exceptionnelle notamment dans la ville de Niamey au Niger (Photographie I-1b) où le fleuve Niger a déversé son trop plein d'eau, apportant désolation dans la région. On y dénombrerait près

de 10 décès, 12 blessés et plus de 50 000 sinistrés avec des quartiers sous les eaux pendant plusieurs jours.

a-La ville de Ouagadougou sous les eaux après les inondations du 1^{er} septembre 2009. (Crédit photo : Ahmed Ouoba/AFP¹⁴)



b-La ville de Niamey sous les eaux après les inondations du 27 août 2020. (Crédit photo : Boureima Hama/AFP¹⁵)



Photographie I-1 : Inondations dans des villes sahéniennes en 2009 et 2020

Le coût économique lié aux inondations est souvent assez important. Ainsi, de 2000 à 2008, le montant des dommages liés aux inondations dans l'espace du Comité Inter-Etat de Lutte contre la Sècheresse au Sahel (CILSS) est estimé faire entre 39 et 80 milliards de dollars US.

Les inondations restent la première cause de catastrophes naturelles dans le monde. La situation est plus alarmante en milieu urbain avec des dommages plus importants à cause de la plus forte concentration d'enjeux qu'en zone rurale.

1.2.3. Les inondations en milieu urbain

La gestion du risque d'inondation en ville constitue une problématique importante au cœur de politiques internationales. En 2014, plus de 54 % de la population mondiale vivait en ville et d'ici 2050, environ 70 % de la population mondiale sera urbaine selon les projections de l'Organisation des Nations Unies pour l'Habitat (UN-Habitat, 2014). À cette date, la population urbaine connaîtra donc une croissance de l'ordre de 59 %, avoisinant les sept milliards de personnes, soit le nombre total d'habitants de la planète en 2015. Les villes dès lors

¹⁴http://www1.rfi.fr/actufr/articles/117/article_84316.asp, consulté le 10/10/2020

¹⁵<https://www.rfi.fr/fr/afrique/20200908-niger-niamey-sous-les-eaux-apr%C3%A8s-pluies-diluviennes>, consulté le 10/10/2020

verront s'accroître leur responsabilité en matière de santé, de sécurité et de bien-être des populations.

La croissance de la population urbaine mondiale se fera majoritairement et de manière accrue dans des pays en développement dans les décennies à venir. Elle exerce déjà dans ces localités une forte pression foncière qui se traduit par l'augmentation du besoin en terrains constructibles. Elle est, avec le processus d'urbanisation, à la base de l'occupation des zones particulièrement exposées au risque d'inondation, ce qui entrave les efforts mis en œuvre pour assurer la sécurité des populations face aux sinistres.

La croissance urbaine est souvent accompagnée d'une surexploitation des ressources naturelles et d'une densification des installations anthropiques, aggravant l'impact des événements climatiques extrêmes. Pourtant, les villes restent des pôles de croissance économique qui contribuent à près de 60 % au produit intérieur brut mondial et qui présentent des avantages notables principalement en termes de disponibilité d'équipement collectif. Compte tenu de ces enjeux, le renforcement de la résilience des villes constitue une condition nécessaire au progrès et au développement durable, comme le souligne l'objectif 11 du programme de développement durable de 2015 à 2030. Cet objectif vise à faire en sorte que les villes et les établissements humains soient ouverts à tous, sûrs, résilients et durables. Pour y parvenir, plusieurs initiatives ont vu le jour au niveau international.

Par exemple, le programme des 100 villes résilientes a été lancé par la Fondation Rockefeller pour favoriser l'échange d'expertise entre villes et offrir des occasions d'amélioration continue en matière de gestion de risque, notamment par l'adaptation au changement climatique. Par ailleurs, la campagne « Making Cities Resilient » a été mise en œuvre en soutien au cadre de Sendai pour la réduction des risques de catastrophes. Cette campagne du bureau des Nations Unies pour la réduction des risques de catastrophes a pour objectif la sensibilisation et la responsabilisation des gouvernements locaux pour la sensibilisation des populations aux risques. Elle met ainsi à disposition des villes des outils, une assistance technique, des réseaux de soutien de ville à ville et des possibilités d'apprentissage. Les termes de cette campagne décennale se placent dans le cadre de l'Agenda 2030 pour le développement durable et dans le cadre du Nouveau Programme pour les villes pour la mise en place de structure de gouvernance favorable, la gestion spatiale des villes et l'établissement de mécanisme de financements sûrs.

Ces campagnes montrent bien les orientations actuelles de la gestion des risques, qui reposent sur la volonté de promouvoir des politiques de résilience en s'appuyant sur les zones

urbaines. Ce concept est actuellement promu par des organismes internationaux et nationaux afin de faire face aux différents défis majeurs du 21^e siècle que sont la gestion des risques naturels et l'adaptation au changement climatique.

Par ailleurs, il est clairement établi que la survenue d'évènements catastrophiques ne préserve aucune ville, ce, quels que soient les progrès techniques et les prouesses technologiques réalisés ou à venir. Au niveau local, penser par exemple un développement urbain sans la prise en compte des inondations reste un leurre. Le risque inondation est en effet une problématique majeure des opérations d'aménagement actuelles. Dans les zones fortement urbanisées, les fortes précipitations provoquent souvent une surcharge du réseau d'assainissement et un mélange entre eaux pluviales et eaux usées. Elles causent également un débordement des bassins de rétention, entraînant dans le milieu naturel toutes sortes de substances nocives diluées, mais non traitées. La gestion devient de plus en plus difficile et lourde de conséquences, particulièrement en ville, puisqu'elle engage la responsabilité des élus et de tous les acteurs du territoire urbain. Ces derniers peuvent en effet être tenus pour responsables si le mode choisi de gestion des inondations se révèle inadéquat. L'opinion publique en zones urbaines est en effet plus à même de revendiquer et de demander des comptes qu'en milieu rural, du fait des taux de scolarisation plus élevés et du brassage culturel qui se fait en ville, ce qui ajoute une pression supplémentaire aux gestionnaires. Au demeurant, des recherches sur la problématique des risques en zones urbaines s'avèrent indispensables pour offrir des outils d'aide à la décision à tous les acteurs urbains.

Ces dernières décennies, avec la place prépondérante des réflexions sur le changement climatique et la nécessité de faire face à des extrêmes climatiques de plus en plus fréquents, plusieurs travaux ont porté une grande attention à la question de l'adaptation et de la résilience des villes. L'impact de différents facteurs anthropiques sur la fréquence des crues catastrophiques en zone urbaine a ainsi été largement débattu (Barroca & Hubert, 2008; Bertoni, 2006; Gascon, 2017; Provitolo, 2005, 2007a; Qazi, 2006). Des liens de causalité ont ainsi pu être mis en lumière entre croissance démographique urbaine, spéculation économique et foncière en zones urbaines inondables et augmentation de la fréquence des dommages dus aux crues. La réponse des pouvoirs publics urbains au risque de crues a également été analysée dans la littérature. Par exemple, Texier (2009) a étudié les risques liés à l'eau dans les quartiers informels de Jakarta, en se focalisant sur les inondations et les risques sanitaires. Elle a réussi à mettre en évidence le lien entre la marginalisation des populations des quartiers pauvres, l'inadéquation des politiques de gestion institutionnelle et la vulnérabilité de ses populations

face aux inondations. Renard (2010) a mené une étude sur le risque pluvial avec comme fenêtre d'analyse la caractérisation de l'aléa et de la vulnérabilité urbaine au niveau de l'agglomération de Lyon. Il a montré l'intérêt d'un réseau de mesure fiable de la pluviométrie au niveau de la ville pour l'étude approfondie de l'aléa pluvial. Son étude a permis de mettre en cause le fonctionnement du système d'assainissement dans la survenue des inondations par ruissellement urbain en établissant, une relation entre la pluviométrie et les débordements observés au niveau du réseau. Bertoni (2006) dans son étude a exposé la tension entre la planification urbaine et la gestion des risques en Amérique latine, en étudiant deux cas graves d'inondations survenues en Argentine (2003) et au Salvador (2005). L'auteur fait part des principales difficultés de gestion des risques d'inondation en lien avec le manque de planification du territoire et l'utilisation inadéquate de l'espace urbain. Tchindjang et Fendoung (2019), dans leur étude, ont tenté de faire un état des lieux des inondations dans les villes d'Afrique de l'Ouest et du Centre qui bordent l'océan atlantique (Dakar, Abidjan, Douala, Cotonou, Lagos, Lomé, Luanda...). Dans ces villes, trois catégories d'inondations sont rencontrées à savoir les inondations par débordement du lit des cours d'eau, les inondations par engorgement des caniveaux bétonnés et des buses dans les périmètres fortement urbanisés et imperméabilisés, ainsi que les inondations par submersion marine. Il ressort de cette étude une forte responsabilité humaine dans la survenue de la catastrophe au niveau urbain du fait de l'occupation des plaines d'inondation et de l'utilisation des cours d'eau comme points de décharge par les populations.

Toutes ces études ont adopté une démarche territorialisée et centrée sur la ville, en établissant une relation entre la vulnérabilité des populations ou des biens et le fonctionnement urbain. Elles ont le bénéfice de ramener l'analyse de la vulnérabilité au cœur de la gestion des risques, en déterminant les facteurs sociaux et les politiques qui exacerbent le risque et rendent les populations plus fragiles et plus sensibles à la survenue des inondations. Il apparaît que la connaissance à la fois de l'aléa et de la vulnérabilité sous tous ses aspects est un élément primordial pour parvenir à protéger les populations et à mettre en place des mesures adaptées au niveau local urbain.

Synthèse : intérêts de l'approche cindynique axée sur les inondations en milieu urbain

La dimension transdisciplinaire de l'étude des risques a été abordée dans la première partie de l'étude. En résumé, on peut retenir que plusieurs domaines mobilisent dans leurs analyses les questions de risque notamment de risques naturels. Par exemple, les agronomes et les géographes ont tendance à analyser l'effet du climat sur les perceptions des populations et leurs modes de prévention du risque. Ils étudient ainsi les activités sociales, l'occupation du sol au prisme des aléas. Les socio-économistes, évoluant sensiblement dans le même cadre que les géographes, analysent les vulnérabilités socioéconomiques et les capacités de résilience des groupes sociaux. Les hydrauliciens et la plupart des praticiens des sciences dites dures (ingénieurs de risques...) s'intéressent eux à l'atténuation grâce aux aménagements, des effets des aléas climatiques.

Même si pendant longtemps l'approche utilisée pour étudier les risques était fonction du domaine, la tendance à l'heure actuelle est à une vision plus systémique de la problématique avec la nécessité d'un concours de plusieurs disciplines pour mieux appréhender le risque. L'analyse de la vulnérabilité n'est dès lors plus le propre des géographes et des sociologues spécifiquement, tandis que l'analyse de l'aléa est également devenue l'apanage des sciences dites « molles » qui viennent en appui aux études des ingénieurs.

Par ailleurs, il ressort de ce chapitre que les inondations restent le principal risque naturel dans le monde avec des effets majeurs sur le milieu urbain en particulier. Les conséquences de ces inondations sont catastrophiques dans la zone sahélienne en proie de plus en plus à un paradoxe hydrologique. Combiné à la pauvreté et aux activités anthropiques, ce paradoxe rend le Sahel plus vulnérable aux inondations. Notre thèse se propose d'analyser la vulnérabilité sous plusieurs de ses facettes (biophysique, sociale et territoriale) en zone urbaine ouest-africaine, dans une optique de gestion des risques. La définition des concepts dans le chapitre que nous venons d'aborder est un pilier indispensable sur lequel nous nous appuyons pour l'analyse de la vulnérabilité urbaine à Ouagadougou et à Bamako.

En outre, l'adoption d'une méthodologie efficace d'analyse de cette vulnérabilité aux inondations en milieu urbain est un préalable pour la proposition de mesures de protection des populations. Elle ne saurait atteindre les résultats escomptés que si elle tient compte des limites méthodologiques d'études déjà réalisées dans ce sens. C'est dans cette optique que le cadre méthodologique des études sur les inondations est abordé dans le chapitre 2.

Chapitre 2. Le cadre méthodologique des études sur les vulnérabilités face aux inondations

Introduction

Cette section vise à dresser un inventaire des principales méthodes pour approcher la vulnérabilité biophysique, ainsi que la vulnérabilité des populations face à ces évènements. Cet inventaire reste nécessaire pour permettre un positionnement méthodologique de notre travail. Une place centrale est donnée à l'aléa dans ce chapitre, du fait de son lien important avec la vulnérabilité biophysique (généralement analysée par les sciences de l'ingénieur). En effet, même si la thèse n'a pas pour vocation d'analyser spécifiquement ce concept, sa place prépondérante dans la mise en place de la vulnérabilité biophysique (cf. section 1.1.2.2) le positionne comme un point central à appréhender. Par ailleurs, il faut noter que les méthodes abordées dans ce chapitre n'ont pas toutes été adaptées à notre thèse du fait de certaines limites que nous discutons dans des sous-sections spécifiques (sections 2.2 et 2.4).

Dans ce chapitre donc, les différentes approches utilisées en cindynique sont abordées en les contextualisant au cadre sahélien. En d'autres termes, il s'agit de montrer comment sont effectuées les études sur les inondations dans la littérature et les principaux biais et problèmes générés par chaque méthode, qui la rendent difficilement applicable au contexte sahélien. Sur cette base, un choix méthodologique est effectué, et sera analysé de manière plus spécifique dans les parties 2 et 3 de la thèse portant précisément sur l'étude de la vulnérabilité à Ouagadougou et à Bamako.

2.1. Approches d'estimation de l'aléa inondation

L'aléa inondation est lié aux précipitations, c'est-à-dire aux eaux météoriques (pluie, grêle, neige, grésil, bruine, givre, rosée, gelée blanche, brouillard) qui arrivent sous diverses formes jusqu'au sol. L'observation de ses précipitations peut permettre par le biais de la statistique descriptive de réaliser des extrapolations et de déterminer la fréquence empirique des évènements et leur période de retour. Cette période de retour traduit la probabilité d'occurrence d'un évènement pluvieux au cours du temps. Ces évènements pluvieux, couplés aux paramètres physiques des territoires, permettent de rendre compte de la vulnérabilité biophysique.

De nombreux appareils permettent de mesurer la pluie et de quantifier les précipitations. Dès le IIe siècle av. J.-C., des écrits religieux font état de mesure de pluies pour des besoins

agricoles (Civiate & Mandel, 2008). Les premiers dispositifs connus pour avoir été utilisés pour la mesure de la pluie sont les pluviomètres. Au milieu de XXe siècle, les mesures évoluent avec l'apparition des premiers radars météorologiques. À la fin du XXe siècle, l'utilisation des satellites va marquer un tournant décisif dans la quantification et la prévision des pluies au niveau planétaire. Ces satellites vont permettre de recueillir des informations de qualité, même dans les zones difficilement accessibles ou dépourvues de mesures au sol. Mais ces technologies nouvelles présentent un coût non négligeable, notamment pour l'installation et la maintenance des appareils. Pour pallier ces insuffisances, de nouvelles technologies utilisant des appareils déjà en service ont vu le jour. Il s'agit de l'utilisation des réseaux de téléphonie mobile pour quantifier la pluie qui tombe dans une localité. Encore en expérimentation dans plusieurs régions du globe, ces dispositifs suscitent l'espoir notamment dans les pays à faible revenu, où l'entretien et l'installation d'un radar posent un problème économique majeur.

En se fondant sur les mesures des appareils mentionnés plus haut, on peut regrouper les approches permettant la cartographie de l'aléa inondation, lorsque celui-ci est en cours en trois ensembles. Il s'agit des relevés de terrain, de la télédétection et de la modélisation hydraulique.

2.1.1. Relevés de terrain

La surveillance en temps réel des précipitations et des débits est un élément important de la prévision des événements et de l'alerte, car elle permet d'anticiper les crues (Fouchier, 2010). La méthode la plus couramment utilisée pour l'étude des phénomènes pluvieux et de leur occurrence reste l'acquisition de données directement sur le terrain. Elle se fonde sur la mesure d'un paramètre au cours du temps (par exemple les températures), pour constituer un échantillon de données qui devra servir à établir, par une approche statistique, une fréquence de dépassement. Les dispositifs qui permettent d'atteindre cet objectif se fondent sur des principes divers et font intervenir des technologies pouvant être simples ou au contraire très complexes.

L'appareil le plus utilisé pour la mesure des précipitations demeure le **pluviomètre**, du fait de sa simplicité d'usage et des coûts relativement accessibles pour l'installation et la maintenance. Il permet d'enregistrer le cumul pluviométrique à une période déterminée. À côté de cet instrument, on a le **pluviographe** qui lui permet de suivre l'évolution pluviométrique au cours du temps. Les données ainsi collectées par ces instruments peuvent être étendues en utilisant des lois statistiques afin de caractériser les extrêmes pluviométriques.

Bien que ces techniques soient très répandues, la mesure des précipitations se fait de nos jours de plus en plus en utilisant des signaux numériques pour faciliter la collecte des données. Les appareils utilisés à cet effet sont de divers ordres. Il s'agit entre autres :

- **de disdromètres** : ils servent à mesurer à distance, grâce à des capteurs, la distribution des diamètres des hydrométéores présents dans l’atmosphère et leurs vitesses de chute.
- **de radars météorologiques** : ils permettent de quantifier également par un signal numérique les précipitations et leurs caractéristiques.
- **des antennes de téléphonie mobile** : la perturbation par les gouttes de pluie du faisceau hertzien entre deux antennes permet de quantifier, à l’aide d’équation mathématique, la hauteur de pluies tombée dans une localité. L’avantage de ces dispositifs est qu’ils permettent, grâce au maillage territorial lié à la présence des antennes des opérateurs téléphoniques, de retracer les évènements pluvieux avec une résolution spatio-temporelle nettement supérieure aux méthodes classiques (Figure I-12). En Afrique, la technologie est en cours d’expérimentation dans plusieurs pays notamment au Cameroun, au Mali, au Burkina Faso et au Niger à travers le projet Raincell Africa (Gosset et al., 2015).

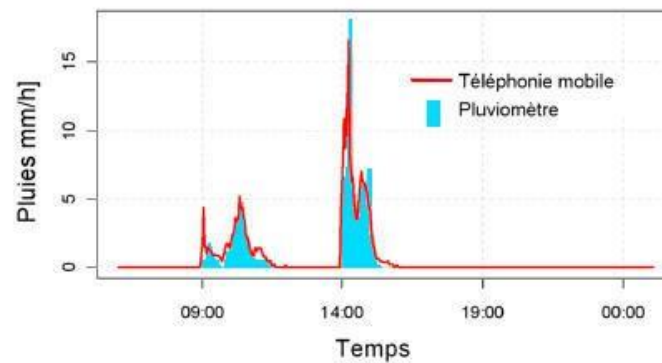


Figure I-12 : Comparaison de concordances entre signal de téléphonie mobile et intensité de pluies mesurée par pluviomètre (Source : Eawag¹⁶)

Par ailleurs, après une inondation, des campagnes de mesures sont parfois organisées afin de relever des traces laissées par la crue, appelées laisses de crue. Lorsque les informations collectées concernent l’altitude des laisses de crues, on parle de Plus Hautes Eaux (PHE), qui renseignent sur les niveaux d’eau maximaux locaux atteints par la crue au cours de l’épisode hydrologique. Les PHE sont mesurées sur le terrain à partir des témoignages des riverains et des traces du passage de la crue sur les murs des bâtiments, le sol, etc. Ces données sont très utiles pour la caractérisation des dommages occasionnés par la crue (hauteurs d’eau dans les maisons...). De plus, elles sont pertinentes pour le calage et la validation de modèles hydrauliques (Hostache et al., 2009).

¹⁶ <http://www.aqueduc.info/Se-servir-des-antennes-de>, consulté le 04/04/2018, consulté le 22/08/2020

En outre, la définition du niveau d'aléa lié à la pluviométrie peut également faire appel à la connaissance de la variation des débits de crue dans les cours d'eau. Cette connaissance s'appuie sur les chroniques de débits, généralement déterminés en fonction des vitesses d'écoulement dans les cours d'eau, des caractéristiques de leur profil transversal et des hauteurs d'eau mesurées dans ces cours d'eau. Ces mesures des débits ou jaugeages servent à l'alerte précoce pour les inondations.

2.1.2. Modélisation hydraulique et hydrologique

L'étude d'un processus ou d'un phénomène repose sur l'observation et l'identification de variables susceptibles de décrire ce phénomène ou ce processus (Villeneuve et al., 2005). Cette connaissance juste par l'observation reste cependant incomplète et d'intérêt moindre, tant qu'un lien n'est pas établi entre un premier ensemble de variables d'entrée et un autre ensemble de variables à expliquer. Le langage mathématique permet de formaliser cette relation et de synthétiser les informations en élaborant des modèles. Ces derniers permettent la représentation et la description de phénomènes sur la base d'un ensemble de mesures. Aussi, ils servent à expérimenter de manière théorique divers scénarios et à voir le comportement d'un système dans chacun des scénarios. Pour le risque inondation, il existe des modèles hydrologiques et hydrauliques.

L'hydrologie s'intéresse aux problèmes et questions liés à l'évolution de la ressource en eau en termes de quantité et de répartition. L'impact de phénomènes tels que la déforestation, les pratiques agricoles, les événements pluvieux extrêmes et les scénarios climatiques est d'un grand intérêt pour cette discipline. Un modèle hydrologique est un ensemble d'équations mathématiques qui représentent l'état d'un bassin versant et l'évolution du cycle de l'eau par rapport à des conditions météorologiques spécifiées. Les processus hydrologiques du bassin versant et les diverses composantes du cycle hydrologique tels que l'infiltration, le ruissellement, l'évaporation ou l'évapotranspiration sont modélisés, c'est-à-dire représentés de manière plus ou moins simplifiée.

Quant à l'hydraulique, elle s'intéresse aux problèmes liés à l'eau canalisée, très souvent rencontrée en zone urbaine. Elle gère ainsi le calcul d'ouvrages hydrauliques (canaux, vannes, barrages) et de réseaux (assainissement, adduction d'eau potable) et les thématiques liées à la qualité des eaux naturelles ou artificielles. La modélisation hydraulique est une méthode qui vise la description des caractéristiques hydrauliques (débit, vitesses, hauteur d'eau, écoulements) permettant in fine de prédire l'évolution d'une crue et les enjeux susceptibles d'être impactés. Elle s'est positionnée comme un outil courant pour la gestion des inondations

(Hostache, 2007), qui peut venir en appui ou être combiné aux techniques de modélisation hydrologique (Bouvier et al., à paraître).

Les modèles utilisés et leurs complexités dépendent du domaine d'application et de l'intérêt qu'ils pourraient avoir pour la gestion des inondations, c'est-à-dire de leurs applications dans une des phases de gestion des inondations (prévention, prévision ou gestion de crise). En effet, durant la phase de prévention, l'objectif est de décrire au mieux les caractéristiques hydrauliques et les écoulements pour avoir une connaissance précise des lieux susceptibles d'être impactés. L'utilisation de modèles complexes avec des temps de calcul relativement longs sera privilégiée dans ce cas de figure. Au contraire, en phase de gestion de crise ou de prévision, l'intérêt se trouve dans la description rapide des phénomènes pour une prise de décision efficace. Des modèles plus simples et plus rapides à mettre en œuvre seront alors utilisés, mais devront fournir des résultats plus précis et fiables. En effet, les mesures qui découleront de cette modélisation en période de crise ont un coût humain et économique non négligeable dont il faut tenir compte.

2.1.3. Télédétection

La télédétection regroupe l'ensemble des connaissances et techniques nécessaires pour interpréter et caractériser, grâce à des mesures spécifiques effectuées à distance, divers « objets » sur la base de leurs comportements spectraux et leurs distributions spatiales. Elle a pour objet de distinguer les différents types de surface à partir d'un rayonnement électromagnétique reçu par un capteur et d'en mesurer les caractéristiques. Le tout premier domaine d'application de la télédétection a été l'étude de l'atmosphère à travers la météorologie et la climatologie. Il existe deux types de télédétection :

- *la télédétection passive* : elle utilise le rayonnement naturel émis par la lumière ou la chaleur pour acquérir des informations sur un objet (ex. : photographie aérienne, télédétection optique)
- *la télédétection active* : elle utilise le rayonnement réfléchi d'un objet illuminé par un appareil de mesure (ex. : télédétection radar, lidar).

Les satellites d'observation de la terre sont des outils particulièrement efficaces de surveillance par télédétection des catastrophes naturelles telles que les inondations. Ils fournissent des images qui mesurent l'intensité des champs électromagnétiques émis et réfléchis par la surface de la Terre. Ces images peuvent être traitées dans le cadre d'un Système d'Information Géographique (SIG), pour réaliser des cartes et calculer précisément les surfaces inondées. Différents outils de télédétection sont utilisés pour caractériser l'aléa inondation. Il

s'agit entre autres de la photographie aérienne, de la télédétection optique, de la télédétection radar et de la télédétection Lidar.

2.1.3.1. Photographie aérienne

Les photographies aériennes sont des images prises à la verticale de la surface de la Terre à une date donnée à l'aide d'une caméra spécialisée, installée à bord d'un avion équipé pour la campagne de mesure. Elles servent à interpréter des formes et définir des détails sur la structure de surface de la Terre.

Les photographies aériennes sont très riches en information. Elles permettent entre autres de repérer les secteurs hydrographiques, la végétation, les zones urbaines ou d'étudier les changements au niveau de la surface de la Terre.



Photographie I-2 : Photographie aérienne de la ville de Bamako (© IRD - Hubert Bataille contact : indigo@ird.fr)

Le principal avantage des photographies aériennes est leur capacité à permettre une vision en trois dimensions d'un territoire. Afin de l'obtenir, un recouvrement de territoire est nécessaire durant les campagnes de mesure (Figure I-13).

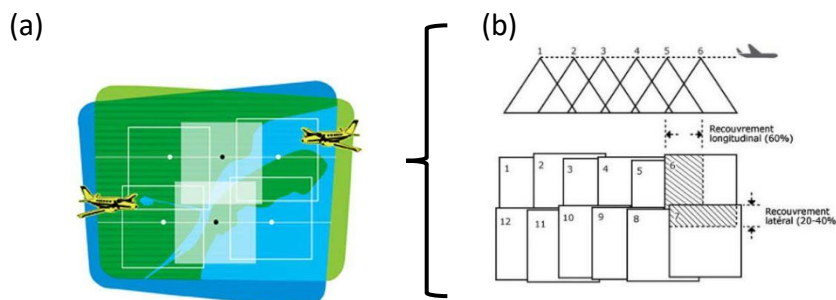


Figure I-13 : Principe de la photographie aérienne¹⁷(a) et du recouvrement¹⁸(b)

¹⁷ <https://quebecgeographique.gouv.qc.ca/education/aerienne.asp>, consulté le 20/10/2020

¹⁸ <https://www.rncan.gc.ca/maps-tools-publications/satellite-imagery-air-photos/air-photos/national-air-photo-library/about-aerial-photography/principes-de-photographie-aerienne/9688>, consulté le 20/10/2020

2.1.3.2. Télédétection optique

Les satellites optiques sont dotés de capteurs qui enregistrent l'intensité du rayonnement solaire réfléchi par la surface de la Terre, sur des bandes spectrales données du spectre électromagnétique (400 à 1600 nm environ). Les données enregistrées sont ensuite traitées, ce qui aboutit à la production d'image. Il s'agit de télédétection passive permettant d'obtenir des informations à distance sur un objet.

2.1.3.3. Télédétection radar

Le terme radar est un acronyme qui signifie « Radio Detection And Ranging » c'est-à-dire détection et télémétrie par onde radio. Il s'agit d'un système de télédétection active émettant lui-même le rayonnement électromagnétique par onde radio, nécessaire à la caractérisation des objets. Puisqu'il fournit lui-même l'énergie requise sous une longueur d'onde comprise entre 3 mm et 30 cm, le système radar peut être utilisé aussi bien de jour que de nuit et même sous couverture nuageuse.

La méconnaissance des lames d'eau précipitées et écoulées sur les bassins versants non surveillés en temps réel rend difficile la prévision des crues. À cet égard, le développement de la mesure de pluie par la technologie radar constitue un atout pour la connaissance des événements extrêmes à l'origine des inondations.

2.1.3.4. Télédétection lidar

Acronyme de l'expression « light detection and ranging », la télédétection lidar est une technique de caractérisation d'objet à distance, qui repose sur l'analyse du signal d'un faisceau de lumière renvoyé à son émetteur. Ce signal renvoyé est caractéristique de l'objet qui l'a émis. La longueur d'onde du système Lidar est comprise dans la gamme des micromètres. L'avantage du Lidar par rapport au RADAR est sa précision et sa capacité à fournir des données topographiques de haute précision des territoires.

2.2. Limites des approches d'analyse de l'aléa

L'analyse de l'aléa est marquée, au stade actuel de la recherche, d'incertitudes significatives qui incitent à la prudence en matière d'aménagement urbain notamment dans les localités à proximité des zones inondables. Une amélioration des connaissances sur les phénomènes hydrologiques et climatiques et leurs impacts est ainsi nécessaire pour réduire ces incertitudes. Les méthodes traditionnelles de collecte de données présentent en effet de fortes

incertitudes et possibilités de biais que les méthodes spatiales, bien que comportant elles-mêmes des limites, tentent tant bien que mal de compenser.

2.2.1. Limites des relevés de terrain

L'acquisition de données directement sur le terrain est une méthode largement utilisée pour l'étude des phénomènes environnementaux, mais qui se révèle être inadaptée à la caractérisation de l'aléa inondation en phase de gestion de crise. En effet, l'échantillonnage spatial réalisé sur le terrain est souvent peu élevé et mal distribué, particulièrement en zone sahélienne, du fait du manque d'appareils de mesure (pluviomètres, radars météorologiques...). Les stations météorologiques sont ainsi bien souvent en nombre insuffisant pour permettre un maillage efficient du territoire et faciliter la compréhension de la distribution spatiale des pluies à l'échelle des villes. Cela ne permet pas d'obtenir des informations précises sur les limites des zones inondées et sur les hauteurs de submersion en des points stratégiques de ces zones. Par exemple, les données hydrométéorologiques existantes dans les pays sahéliens sont limitées et souvent à faible résolution temporelle, à faible couverture spatiale et présentent des lacunes, en particulier lors d'évènements extrêmes. À cela s'ajoutent les problèmes d'accès aux zones inondées et de coûts élevés d'acquisition des données ou de maintenance des appareils (exemple du radar météorologique). De plus, les mesures effectuées par la plupart des dispositifs d'acquisition de données sur le terrain sont entachées d'erreurs. Par exemple, pour le radar météorologique, le signal peut être perturbé par l'atmosphère et produire des artefacts. Il en est de même pour les pluviomètres qui peuvent connaître divers dysfonctionnements, sources d'erreurs. Enfin, le temps nécessaire à l'acquisition de données par relevés de terrain, à leur traitement puis à la production d'une carte d'aléa inondation est souvent trop long pour être adapté à la phase de gestion de crise, en particulier quand l'étendue des zones touchées est importante. En conséquence, les cartes d'aléas lorsqu'elles sont produites sur la base de relevés de terrain se trouvent parfois systématiquement dépassées, ce qui nécessite un perpétuel recommencement.

Par ailleurs, les techniques de jaugeage du débit présentent une complexité importante et difficilement opérationnalisable. En effet, en période de crue, leur mise en œuvre est délicate, voire quasiment impossible, du fait des dangers encourus lors de la mesure ou de l'inaccessibilité de certains points de mesure. *En conséquence, les jaugeages de débits ne sont effectués la plupart du temps que pour quelques valeurs de niveaux d'eau* (Hostache, 2007). L'utilisation des courbes de tarage (qui lie les hauteurs d'eau aux débits à un instant donné) est également confrontée à des limites de fiabilité liées à l'interpolation et à l'extrapolation des

valeurs de débits jaugés. Aussi, les vitesses d'écoulement qui deviennent plus élevées en période de crue tendent à modifier la morphologie des cours d'eau, rendant caduques les relations hauteur/débit et faussant ainsi les extrapolations.

Par ailleurs, *la mesure du débit en lit mineur ne donne aucune information concernant le débit en lit majeur* (Hostache, 2007). En effet, en cas de débordement des cours d'eau du fait des crues, les informations sur les débits de crues ne peuvent en général pas être fournies par relevés de terrain.

En outre, la mesure des plus hautes eaux fondée sur l'analyse des témoignages de riverains et des laisses de crues reste incertaine et subjective. En effet, les témoignages peuvent être biaisés ou altérés par le temps. Aussi, les laisses de crue ont pour inconvénients d'être incertaines si elles ne proviennent pas d'une observation directe de la crue. Elles peuvent ainsi être confondues avec d'autres types de traces si l'observateur n'est pas expérimenté.

2.2.2. Limites de la modélisation hydraulique et hydrologique

La réponse des bassins versants aux précipitations n'est pas linéaire. Cela limite par conséquent les possibilités de recours à une alerte fondée sur la seule pluviométrie ou le seul débit et explique l'utilisation de modèles de transformation de la pluie en débit (Fouchier 2010). La modélisation hydraulique permet en effet de simuler et de prédire l'évolution spatio-temporelle des caractéristiques hydrauliques d'une rivière au cours d'une crue, telles que le débit, la hauteur d'eau, les surfaces inondées ou les vitesses de l'eau. C'est un outil couramment employé dans le cadre de la gestion des inondations, aussi bien pour la prévision des inondations que dans les volets de prévention et de gestion de crise.

Les modèles hydrauliques demeurent cependant une représentation schématique d'un système réel complexe et requièrent la compréhension et l'intégration de chaque processus du cycle de l'eau, à l'aide de données spécifiques. Cela représente un volume important de données, qu'il peut parfois être difficile et coûteux d'obtenir principalement en contexte sahélien à cause d'un manque inéluctable de stations de mesures. Le manque de données indispensables au fonctionnement optimal de ces modèles peut cependant être réduit par l'intégration de données issues de sources autres que les relevés manuels sur le terrain ou les stations de mesures automatisées. En effet, les données issues de la télédétection sont parfois mises à profit durant les phases de calage et de validation des modèles hydrauliques, même si l'acquisition d'images peut également poser problème.

2.2.3. Limite de la télédétection

La photographie aérienne, utilisée pour fournir de l'information en haute résolution, peut être considérée comme une source de données fiables et de qualité, pour analyser les zones sinistrées et les délimiter. Cependant, son utilisation dans le cadre de la gestion des inondations est souvent limitée, du fait d'une part des coûts élevés sur le plan des ressources et du temps, et d'autre part de la nécessité de réunir des conditions météorologiques favorables pour les acquisitions aéroportées. À cela peuvent s'ajouter les difficultés de détection des zones inondées sous un couvert végétal dense.

Les autres outils de télédétection, mentionnés dans le chapitre 2.1.3, présentent l'avantage de couvrir plus largement le territoire que les photographies aériennes. Par exemple, la vulgarisation de la télédétection optique a permis d'améliorer l'accès aux données nécessaires à la cartographie des inondations, en réduisant les coûts comparativement à l'acquisition par photographie aérienne. La très haute résolution spatiale de certains capteurs optiques permet de nos jours d'identifier précisément les entités inondées. Cependant, même à très haute résolution, l'acquisition de données de qualité est perturbée par la présence de couvert nuageux qui ne se laisse pas pénétrer par les longueurs d'onde du visible et de l'infrarouge. Enfin, très haute résolution spatiale de données optiques rime rarement avec largeur de fauchée importante. Ainsi, l'acquisition de ces données de haute résolution pour couvrir la totalité d'une zone inondée peut nécessiter plusieurs images, ce qui peut s'avérer coûteux en budget et en temps.

De nos jours, l'élaboration des capteurs de type radar a permis de pallier les insuffisances des modèles optiques toutes résolutions confondues, et d'effectuer le suivi par télédétection des inondations. Les radiations micro-ondes ont en effet pour avantage de présenter une faible sensibilité à la diffusion atmosphérique, ce qui permet au capteur d'acquérir des images même en conditions nuageuses. Cependant, la faible résolution spatiale de ce type de capteurs constitue une de leurs principales limites. En effet, ces derniers opèrent dans les hyperfréquences qui sont émises en faible quantité par la surface terrestre, ce qui nécessite qu'ils intègrent des émissions d'une large zone avant de pouvoir enregistrer un signal. La conséquence de ces enregistrements sur de larges zones concerne la résolution spatiale des images acquises qui est de l'ordre de plusieurs kilomètres, limitant très fortement leur utilisation pour la détection précise des inondations au niveau local.

Aussi, les technologies poussées de télédétection permettent de détecter un grand nombre d'objets présents au sol tels que les murs, les façades et les voitures, dont le signal rétrodiffusé peut interférer sur la cartographie des zones inondées et complexifier les traitements (Tangy,

2012). Malgré toutes ces limites, la télédétection radar reste une méthode à privilégier pour l'acquisition d'informations fiables sur les inondations. Cependant, elle n'est pas encore pleinement exploitée particulièrement au Sahel et en Afrique de l'ouest, du fait des difficultés d'accès aux images. Cela est lié aux coûts d'installation des équipements et de leur maintenance, tout comme au prix de revient de l'acquisition d'image radar auprès de structures étrangères. Par ailleurs, il est nécessaire que les images soient collectées à des pas de temps réduits, ce qui n'est pas encore le cas de nos jours.

La télédétection Lidar elle aussi peut être utilisée notamment en combinaison de modèles hydrologiques pour déterminer les zones inondables. Cependant, cette technologie présente le désavantage d'impliquer des coûts importants, difficilement mobilisables pour une gestion de crise au niveau du Sahel.

En définitive, le fait que les pluies constituent un flux assimilable à une quantité vectorielle engendre des incertitudes, qui les rendent plus difficiles à mesurer que des quantités scalaires comme les températures (Panthou, 2013). Les méthodes spatiales représentent un moyen d'avenir d'améliorer les estimations et les modèles de prévision. Il se pose cependant le problème de l'acquisition des images et de la maintenance des appareils notamment au Sahel, ce qui rend difficile l'utilisation de ces technologies.

Pour toutes ces raisons en lien avec les incertitudes des méthodes de mesure de la pluie et le manque de données, nous n'avons pas focalisé notre étude sur la caractérisation de l'aléa, bien qu'il soit d'un intérêt certain pour la gestion des risques. Nous avons plutôt axé notre analyse sur la vulnérabilité en abordant brièvement l'aléa historique, ce qui nous a permis d'améliorer la connaissance du risque dans les zones de Ouagadougou et de Bamako. Cette approche d'estimation de l'aléa géohistorique est développée de manière plus approfondie dans la partie 2 au chapitre 4.1. Elle vient en appui dans cette thèse aux approches d'estimation de la vulnérabilité aux inondations.

2.3. Approches d'estimation de la vulnérabilité aux risques naturels : les inondations comme fenêtre d'analyse

La vulnérabilité est un concept qui regroupe les dimensions physiques et fonctionnelles, économiques, sociales, environnementales, ainsi que les dimensions politiques et institutionnelles. L'analyse de la vulnérabilité est un élément incontournable pour la prise de décision au niveau institutionnel et pour l'application de mesures visant à réduire les risques (Hammond et al., 2015; Tanguy, 2016). En effet, la vulnérabilité reste une composante

essentielle de l'analyse du risque. L'estimation de la vulnérabilité a pour finalité l'identification des points sensibles et fragiles d'un système, pour lesquels il est nécessaire d'adopter des mesures pour réduire le risque général menaçant ce système. Cependant, l'analyse de la vulnérabilité ne doit pas faire occulter le fait qu'il s'agisse d'un concept qui évolue dans l'espace et dans le temps, au gré de l'apparition d'un nouvel aléa, ou de modifications d'un aspect d'une composante de ses dimensions (physique ou fonctionnelle, économique, sociale, environnementale, politique et institutionnelle). En réalisant une analyse, il ne s'agit en aucun cas de considérer la vulnérabilité d'un système comme statique. L'analyse sert en réalité à faire un état des lieux de la vulnérabilité à un moment donné, afin de pouvoir y apporter au besoin des correctifs. La vulnérabilité est en effet un concept dynamique dont les caractéristiques évoluent de manière soit lente avec le processus de développement, ou de manière rapide avec l'apparition soudaine d'une catastrophe.

Nous nous intéressons dans les paragraphes qui suivent aux différentes approches développées pour mesurer chacun des types de vulnérabilité (biophysique, sociale et territoriale) identifiés dans le cadre théorique. La tendance à l'heure actuelle est d'aborder la vulnérabilité en intégrant au mieux les trois types de vulnérabilité identifiés en fonction du domaine, sinon au moins la vulnérabilité biophysique et la vulnérabilité sociale. Les différentes méthodes d'analyse de la vulnérabilité mises en œuvre tentent également de saisir la dynamique et la distribution spatiale des facteurs préoccupants et les interactions qui existent entre eux.

Deux grandes approches complémentaires permettent d'analyser la vulnérabilité globale d'un système face aux inondations et matérialisent les interactions qui existent entre l'aléa et la vulnérabilité. Il s'agit de l'approche rétrospective et de l'approche prospective (Reghezza, 2006).

L'approche rétrospective est inhérente au retour d'expérience, au constat de dommages¹⁹ déclarés et à l'analyse de l'historique des événements (Heitz et al., 2018). La connaissance de l'historique des événements passés dommageables et des coûts y afférant est un préalable intéressant pour l'analyse de la vulnérabilité à de futurs événements. Les analyses *a posteriori* permettent ainsi d'apprécier les conséquences des phénomènes à partir de retour d'expérience et de déterminer le coût moyen annuel des vulnérabilités. Ces démarches sont utiles pour l'amélioration des méthodologies d'analyse *a priori* des impacts. En effet, les

¹⁹ Le terme dommage renvoie aux conséquences directes ou indirectes négatives d'un événement sur les biens, les personnes et les activités. Il est plus spécifique que le terme impact qui peut avoir une connotation positive (par exemple l'apport de fertilisant dans les champs situés dans les plaines inondables).

résultats d'enquête sur des coûts réels subis lors de la survenance d'une inondation peuvent servir à l'élaboration et à l'affinement de fonction de dommages futurs. Cette première approche rétrospective d'analyse « nourrit ainsi directement la seconde lors de la conduite de diagnostics de vulnérabilité, eux-mêmes utiles à la mise en œuvre de scénarios d'endommagement, de pertes ou de gestion de crise » (Leone & Vinet, 2006).

Quant à l'approche prospective, elle est en lien avec les procédures d'analyse des risques potentiels encourus. L'analyse *a priori* qui la soutend permet une estimation des coûts des dommages potentiels sur un territoire donné et pour un évènement donné (Hubert & Ledoux, 1999). Elle sert à « réaliser des constats d'endommagement » sur la base de « simulations de sinistres » (Barroca et al., 2005).

Ces deux approches peuvent être abordées suivant une vision analytique en fonction de la nature des enjeux ou suivant un processus plus systémique.

Chacune de ces deux approches est en lien avec l'endommagement potentiel ou déclaré, *le risque [étant] matérialisé par l'endommagement* d'après Pigeon (2002). La vulnérabilité peut ainsi être évaluée de manière quantitative ou qualitative à travers trois éléments liés à l'endommagement. Il s'agit de :

- la sensibilité du système à l'endommagement
- la caractérisation de l'endommagement
- la capacité de réponse à l'endommagement.

Chaque élément constitue un prisme à travers lequel la vulnérabilité peut être évaluée et repose sur l'une ou l'autre des quatre méthodes d'analyse suivantes, synthétisées par Nasiri et al. (2016) :

- les méthodes d'analyse utilisant les indicateurs de vulnérabilité ;
- les méthodes d'analyse utilisant des courbes empiriques de dommage ou de fragilité : elles analysent la vulnérabilité en fonction de l'intensité du processus et du degré de perte.
- les méthodes utilisant les modèles ;
- les méthodes utilisant la collecte de données sur les pertes ;

Trois typologies de vulnérabilité sont appréhendées par ces quatre méthodes à travers chacune des trois fenêtres d'analyse de l'endommagement :

- la vulnérabilité humaine en lien avec l'analyse par la sensibilité à l'endommagement. Derrière cette terminologie de vulnérabilité humaine, nous

considérons les facteurs d'exposition des sociétés, de vulnérabilité structurelle et de vulnérabilité conjoncturelle.

- la vulnérabilité technique en lien avec la caractérisation de l'endommagement c'est-à-dire la mesure du degré d'endommagement ;
- la vulnérabilité organisationnelle et opérationnelle en lien avec les capacités de réponse à l'endommagement. Elle regroupe les aspects en lien avec les possibilités institutionnelles et organisationnelles du territoire, permettant de faire face et de répondre de manière adéquate à un risque.

Nous revenons sur ces différents aspects et les méthodes d'analyse mises en jeu dans les paragraphes qui suivent.

2.3.1. L'analyse de la vulnérabilité par la caractérisation de l'endommagement ou des pertes

L'analyse de la vulnérabilité par la caractérisation de l'endommagement est une approche qui repose sur l'analyse des dommages. Elle est en lien avec la vulnérabilité technique et mesure le degré d'endommagement en fonction d'un taux de dommages subis par un territoire ou un aspect du territoire (Boissier, 2013). Elle est réalisée au travers des constats d'endommagements sur la base d'approches rétrospectives ou prospectives. Il s'agit soit de faire une simple description des dommages intervenus sur un territoire ou de quantifier de manière plus poussée l'endommagement grâce aux fonctions d'endommagements ou de pertes. Les constats d'endommagement concernent des observations réalisées à la suite d'évènements dommageables ou de catastrophes. Les éléments affectés à analyser sont en lien avec les dommages structurels pour les biens matériels, les préjudices corporels et les décès pour les personnes, et les perturbations fonctionnelles pour les activités (Leone et al., 1995).

Les méthodes de caractérisation de l'endommagement ou des pertes sont en général focalisées sur une quantification de la vulnérabilité technique et débouchent très souvent sur une estimation économique (analyse monétaire des dommages, démarche coût/bénéfice) des pertes directes et indirectes causées par un évènement. Elles reposent ainsi sur une approche fondée sur l'estimation des coûts directs, immédiats ou latents et des coûts indirects et des atteintes aux éléments exposés (Farsi & Bard, 2004; Hammond et al., 2015). Ces derniers se voient attribuer pour les besoins de la méthode une valeur intrinsèque qui peut être de quatre types selon Leone et al. (1995) :

- une valeur monétaire vénale : elle traduit la valeur marchande d'un élément (par exemple le prix au mètre linéaire, au mètre carré ou à l'unité)

- une valeur monétaire d'usage : elle traduit la valeur de la fonction d'activité économique associée à un élément donné (par exemple le chiffre d'affaires émanant d'une activité, la valeur de la perte d'activité humaine ou le prix de production) ;
- une valeur fonctionnelle : elle est en rapport avec les fonctions organisant la vie d'une société (par exemple le nombre d'emplois)
- une valeur humaine : elle est obtenue en affectant à l'élément exposé le nombre de personnes qu'il abrite ou qu'il transporte. Le nombre de décès du fait d'une catastrophe naturelle est par exemple souvent utilisé comme critère d'analyse dans la classification des évènements (Boudou, 2015).

Ces valeurs constituent des indicateurs²⁰ caractéristiques de l'endommagement qui peuvent être utilisés pour analyser la vulnérabilité. Un indicateur se définit comme une caractéristique intrinsèque à un système et qui permet d'estimer quantitativement son état (Karambiri et al., 2015). Il représente « une donnée quantitative qui permet de caractériser une situation évolutive, une action ou les conséquences d'une action, de façon à l'analyser et à comparer leur état à différentes dates » (Observatoire sur la responsabilité sociétale des entreprises (ORSE, 2003). Il peut s'agir de variables qualitatives (nominales), de variables ordinales et/ou de variables quantitatives (Tanguy, 2016). Les indicateurs représentent des guides stratégiques à disposition des gestionnaires et des décideurs pour la réduction de la vulnérabilité et le suivi des évolutions engrangées.

D'après le CEREMA (2016), la première étape d'une analyse à l'aide d'indicateurs commence par l'analyse des documents de gestion du risque et des bases de données générales, qui sont en lien avec les enjeux directement exposés. Il s'agit à cette étape de fixer les bases de l'analyse tout en définissant clairement les objectifs et en clarifiant le cadre conceptuel de l'étude. D'autre part, il importe de collecter les données concernant la gestion des territoires, les installations et dépôts susceptibles d'être impactés par le risque, tout en n'occultant pas les populations dont la vulnérabilité doit être évaluée. Cette phase devrait permettre de clarifier à la fois le cadre de l'étude et de guider le choix sur les indicateurs à retenir. Ensuite, une

²⁰ Un critère est un élément d'analyse (par exemple, une bonne température est un critère de confort) ; un indicateur traduit la mesure du critère (la mesure du thermomètre est un indicateur de confort). Il s'agit d'un moyen d'analyse d'une situation ou d'un phénomène économique ou social à un moment donné. Un indice est un ensemble d'indicateurs agrégés. C'est une mesure de la variation dans le temps et dans l'espace d'une grandeur ou d'un ensemble de grandeurs. Il est souvent confondu à l'indicateur.

campagne de collecte de données est lancée sur le périmètre identifié et au besoin des indices sont calculés sur la base des indicateurs sélectionnés. Ces indicateurs généralement sous forme de proportion pour les aspects socioéconomiques, sont issus soit d'un dénombrement (densité de population, pourcentage d'employés, proportion de personnes en zone inondable, pourcentage de jeunes et de personnes âgées), soit d'une analyse physique (linéaire ou surface physique exposée, dommages potentiels...) ou soit d'une analyse humaine (sensibilisation de population). Une fois la phase d'analyse achevée, il importe de procéder à une analyse de la performance des indicateurs en comparant les niveaux de vulnérabilités établis à des cas pratiques. Cette démarche de développement d'indicateurs (Figure I-14) a été également corroborée par l'étude de Tanguy (2016).

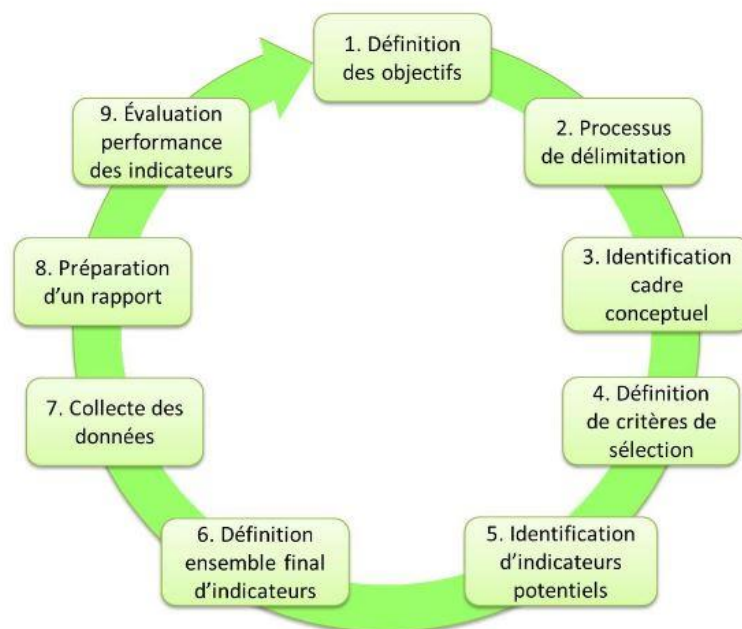


Figure I-14 : Processus de développement d'indicateurs de vulnérabilité (d'après Tanguy 2016)

Les dommages directs et indirects évalués par la caractérisation de l'endommagement concernent les pertes tangibles, c'est-à-dire quantifiables en termes monétaires (Hammond et al., 2015) et les dommages intangibles, en rapport avec les pertes humaines. Ces éléments sont regroupés en une typologie des dommages dus aux inondations (Figure I-15), proposée par Parker (2000) et reprise par Vinet (2010).

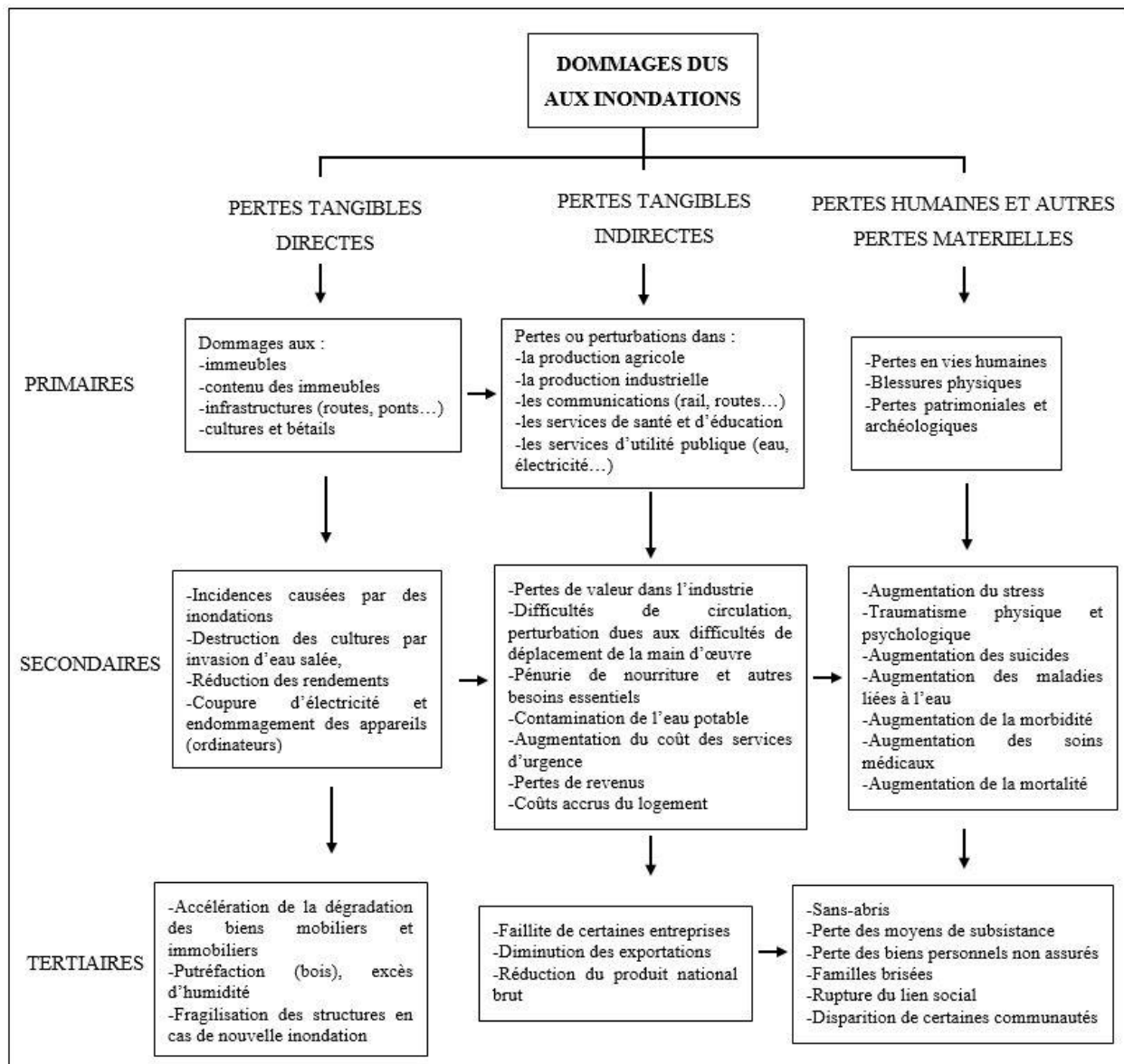


Figure I-15 : Classification des dommages liés aux inondations selon Parker (2000) repris par Vinet (2010)

Les valeurs attribuées aux différentes pertes peuvent également servir dans le cadre d'une analyse de la vulnérabilité par la mise en œuvre de courbes empiriques de dommages ou de fragilité. Bien qu'elle ait été largement utilisée dans la littérature pour l'analyse de la vulnérabilité aux risques sismiques, cette méthode peut être envisagée dans le cadre d'une analyse de la vulnérabilité face aux inondations. Elle est généralement axée sur le bâti et est fondée sur une enquête réalisée dans l'optique d'obtenir des informations sur les dommages subis par des logements du fait d'un aléa. À partir de ces informations, des courbes empiriques sont construites et permettent de faire une prédiction sur les éventuels dommages qu'entraînerait la survenue d'une nouvelle catastrophe.

Les approches géohistoriques sont un moyen privilégié de collecter les informations nécessaires à cette méthode d'analyse. Elles peuvent également servir dans le cadre général de collecte de données sur les pertes liées à une catastrophe.

2.3.2. L'analyse de la vulnérabilité par la sensibilité à l'endommagement

La vulnérabilité est perçue dans la littérature depuis le début du 21^e siècle comme l'incapacité d'une société à anticiper l'aléa, à faire face et à gérer l'urgence, à adapter son comportement en temps de crise et à se reconstruire après les impacts provoqués par une catastrophe (Barroca et al. 2005 ; Wisner et al. 2003). Ainsi, elle ne constitue plus une sommation simplifiée d'un ensemble de dommages (Provitolo, 2007a). Elle est désormais appréhendée sur la base d'un ensemble de facteurs qui influent sur les éléments vulnérables et leur capacité de réponse vis-à-vis de l'aléa. Les paragraphes qui suivent présentent l'analyse de la vulnérabilité au travers de la sensibilité à l'endommagement des systèmes.

Cette analyse s'inscrit dans une démarche prospective et est en lien avec l'analyse des facteurs responsables de la vulnérabilité face aux inondations. Elle peut se faire de manière qualitative par le biais d'enquêtes, de diagnostics ou avec comme support « le dire d'expert » ou de manière quantitative sur la base d'indicateurs (par exemple socioéconomiques). Lorsqu'elle est utilisée par les géographes, elle aboutit à une cartographie des zones sensibles à l'endommagement.

La sensibilité à l'endommagement est perçue dans les lignes qui suivent comme la résultante d'une vulnérabilité humaine. Celle-ci est appréhendée dans cette étude selon la définition de Leone et Vinet (2006) à savoir une « propension à l'endommagement ou au dysfonctionnement de différents éléments exposés (biens, personnes, activités, fonctions, systèmes) constitutifs d'un territoire et d'une société donnée ».

2.3.2.1. L'analyse qualitative de la sensibilité à l'endommagement

La caractérisation des sources de vulnérabilité peut être réalisée ou précisée de manière qualitative et semi-quantitative. Il s'agit d'analyser les facteurs qualitatifs intrinsèques et extrinsèques à un élément vulnérable qui agissent directement ou indirectement sur sa vulnérabilité. Thouret et D'Ercole (1996) ont défini quatre catégories de facteurs permettant d'analyser qualitativement la vulnérabilité. Il s'agit des :

- ❖ **facteurs sociodémographiques et économiques** : ce sont des facteurs en lien avec la démographie, les structures socioéconomiques et les facteurs de décohésion et

d'instabilité, d'inégalités sociales et de segmentation. Ces facteurs permettent d'identifier les types de populations et les structures sociales utilisées pour faire face à l'aléa.

❖ **facteurs socioculturels** : ce sont les éléments cognitifs et éducationnels qui ont un impact sur la vulnérabilité face à un événement d'origine naturel. À ces éléments s'ajoutent les expériences passées et les représentations face aux risques. Ces facteurs socioculturels sont importants à prendre en considération dans l'analyse de la vulnérabilité, en ce sens qu'ils influent directement sur les réactions d'un individu ou d'une communauté face à l'impact d'un sinistre. Les facteurs de vulnérabilité conjoncturelle (c'est-à-dire lié aux circonstances) peuvent également être appréhendés dans cette partie. Ce sont des facteurs qui révèlent le comportement des victimes (imprudence) entraînant la survenance d'un risque auto-imposé tel qu'entendu par Wilson (2006). Les comportements imprudents lors de crises liées aux inondations sont en lien selon elles à :

- la volonté de protéger et/ou de récupérer des biens du fait d'une mauvaise perception ou d'une ignorance des risques ainsi que d'une peur liée à l'éventualité de perte
- l'excitation face au spectacle de l'inondation
- les tentatives de sauvetage de personnes ou des animaux
- le sentiment de sécurité lié à la présence dans un véhicule

❖ **facteurs fonctionnels et techniques** : ils sont en rapport avec l'organisation qualitative des secours et de la communication, les facultés de réponse face à une catastrophe, la qualité du bâti et des matériaux de construction.

❖ **facteurs institutionnels et politico-administratifs** : ces facteurs sont en lien avec les structures administratives et politiques chargées de la prévention face aux catastrophes, la présence et l'application de la réglementation, la qualité des systèmes d'alerte...

Pour effectuer l'analyse qualitative de la sensibilité à l'endommagement, des informations complémentaires pourront être recherchées en utilisant :

- ❖ des études existantes : ces études peuvent, par exemple, porter sur la vulnérabilité des réseaux ou sur un retour d'expérience ;
- ❖ des enquêtes à base de questionnaire : Ces enquêtes sont parfois la seule manière de disposer d'une information. C'est le cas notamment lorsqu'il s'agit de pouvoir analyser la culture individuelle du risque.

- ❖ des entretiens ciblés : Ce type d'entretien est particulièrement intéressant avec les gestionnaires de réseaux qui disposent d'informations susceptibles d'alimenter la réflexion. Ils permettent d'approfondir l'analyse de la vulnérabilité et d'entrevoir le volet politico-institutionnel de la vulnérabilité.

2.3.2.2. L'analyse quantitative de la sensibilité à l'endommagement

Les facteurs susceptibles d'influer sur la sensibilité à l'endommagement du fait des inondations et qui peuvent faire l'objet d'une analyse quantitative concernent les facteurs d'exposition et de vulnérabilité structurelle, toutes deux en lien avec la vulnérabilité humaine.

L'exposition, comme nous l'avons mentionné dans le chapitre 1, correspond à la coïncidence spatiale entre la zone de survenue d'un aléa et la zone de présence d'enjeux. Il s'agit donc, dans une démarche d'analyse, d'identifier l'ensemble des facteurs présents dans la zone d'exposition à l'aléa et susceptibles d'avoir une influence sur la vulnérabilité (distance par rapport au cours d'eau, occupation du sol...). Cette analyse peut être couplée à une modélisation hydraulique ou hydrologique.

La vulnérabilité structurelle, elle, correspond aux caractéristiques inhérentes à l'enjeu étudié. Elle est en rapport avec la vulnérabilité physique corporelle (intégrité physique), les possibilités de résistance liées par exemple à l'âge et au sexe, ainsi qu'à la situation personnelle des individus (statut d'hébergement, santé) et à la vulnérabilité du bâti (manque de résistance des constructions, absence d'un étage de refuge) et des véhicules (types de véhicules, résistance...).

Les approches de calcul de la vulnérabilité humaine face aux risques se font grâce à la détermination d'indicateurs de causalité, qui peuvent être regroupées en deux typologies d'après Tanguy (2016) : les approches déductives et les approches inductives. La littérature scientifique regorge d'un nombre important d'indicateurs choisis en fonction des approches, et permettant de calculer et quantifier la vulnérabilité des populations face aux aléas naturels (Dewan, 2013). L'utilisation simultanée de ses deux approches permet d'avoir une vision plus globale du risque à l'échelle locale.

Les approches déductives sont axées sur la synthèse d'un faible nombre d'indicateurs normalisés et regroupés en indices composites. Les indicateurs sont sélectionnés sur la base de théories établies de la vulnérabilité c'est-à-dire en s'appuyant sur un cadre conceptuel clair résumant la littérature existante sur le sujet et l'avis des experts. La sélection des indicateurs est ainsi effectuée sur la base du cadre théorique (Nasiri et al., 2016). Les variables ou facteurs de vulnérabilité identifiés le sont sur la base de recherches antérieures ou d'avis d'expert, sans

qu'aucune autre justification supplémentaire ne soit nécessaire pour appuyer le choix (Yoon, 2012). Veyret et Reghezza (2005) ont par exemple proposé une liste de facteurs de vulnérabilité dans leur étude sur les risques (Cf. Annexe 1).

Les vulnérabilités biophysiques, sociales et plus globalement une vulnérabilité systémique ont été évaluées dans plusieurs études à travers cette approche déductive. Ainsi, Deepak (2020) a utilisé cette approche dans la municipalité d'Aluva en Inde pour la sélection de 7 facteurs de risques aux inondations qu'il a utilisé pour produire un indice de vulnérabilité biophysique fondé sur un algorithme de machine learning, le random forest. Dans la même étude, il a également utilisé une analyse multicritère fondée sur la même approche déductive pour sélectionner les variables responsables de la vulnérabilité socioéconomique dans la municipalité d'Aluva en Inde. Yin et al. (2012) se sont également fondés sur des données d'études précédentes pour sélectionner 8 facteurs responsables de la vulnérabilité des côtes chinoises à l'élévation du niveau de la mer.

D'autres auteurs ont également utilisé l'approche déductive pour l'analyse de la vulnérabilité globale. Balica et al. (2009) ont utilisé cette approche déductive pour le choix d'indicateurs nécessaires à la mise en place de l'indice de vulnérabilité aux inondations (IVI) en anglais *Flood Vulnerability Index* (FVI). La sélection des indicateurs tenait compte des principaux effets des inondations sur les composantes physiques, environnementales, économiques et sociales d'un système. Cette démarche a été reprise dans les travaux de Karambiri et al. (2015) sur l'analyse de la vulnérabilité aux inondations de l'espace Grand Ouaga au Burkina Faso.

Le développement d'indices tenant compte de l'avis des experts est en général réalisé dans une approche d'analyse multicritère de la vulnérabilité avec comme support le processus d'analyse hiérarchique (PAH) développé par Saaty (1977, 2008). Ce dernier permet la sélection d'indicateurs de vulnérabilité en utilisant l'avis des experts. Un poids relatif est attribué à chaque facteur après concertation et comparaison par paire. La cohérence du jugement des experts peut être évaluée au travers d'une matrice de cohérence. Cette dernière indique si le jugement effectué par les experts est réalisé de manière aléatoire ou non.

Il est souvent nécessaire de procéder à une standardisation ou une normalisation des variables sélectionnées pour l'analyse de la vulnérabilité puisque les variables choisies dans l'approche déductive sont souvent dans des unités différentes, qu'il est nécessaire de supprimer avant toute agrégation.

Plusieurs techniques de normalisation des variables existent dans la littérature pour l'approche déductive. Il s'agit entre autres de :

- ❖ **la transformation en Z score** : elle permet de convertir tous les indicateurs selon une distribution normale centrée réduite de moyenne 0 et d'écart-type 1. Le Z score est calculé selon l'équation I-3 :

$$Z = \frac{(\text{score} - \text{moyenne})}{\text{écart-type}} \quad \text{Eq. I-3}$$

Comme exemple d'application de cette méthode, nous pouvons citer les travaux de Holand et al. (2011), qui ont déterminé par analyse factorielle des facteurs de vulnérabilité socioéconomiques et du bâti norvégien. Ils ont déterminé pour chaque facteur des Z-scores qui leur ont permis de déterminer les localités les plus vulnérables du territoire.

- ❖ **La technique de transformation ordinale ou par échelles de notation** : cette technique est principalement utilisée dans l'analyse de la vulnérabilité physique et/ou environnementale face aux risques. Les facteurs physiques ou environnementaux considérés comme responsables du risque sont listés et les critères participant à chaque facteur sont subdivisés en échelle selon leur importance dans la vulnérabilisation. Par la suite, il est attribué à chaque critère une note selon une échelle de notation prédéfinie (généralement une échelle de 1 à 3 avec 1 le niveau le plus faible et 3 le niveau le plus fort). La combinaison des scores par multiplication ou addition des différents facteurs permet d'obtenir un indice de vulnérabilité. Plus la valeur de l'indice est élevée plus le degré de vulnérabilité au risque sera élevé. Ologunorisa (2004) a utilisé cette technique pour normaliser neuf indicateurs environnementaux afin d'établir un indice de vulnérabilité dans la zone du delta du Niger.

- ❖ **La technique de transformation par valeur maximum** : elle permet un redimensionnement des valeurs entre 0 et 1. La transformation par valeur maximum X_i correspond au ratio entre la valeur de la variable (V_i) et la valeur maximale (V_{max}). Cutter et al. (2000) ont utilisé cette méthode pour agréger les variables d'un indice de vulnérabilité sociale.

$$X_i = \frac{V_i}{V_{max}} \quad \text{Eq. I-4}$$

- ❖ **La transformation par redimensionnement min-max** : elle consiste à transformer linéairement les valeurs réelles des données de sorte que le minimum et le maximum des données correspondent à certaines valeurs (en général 0 et 1). Javadi et al. (2017)

ont utilisé cette technique en préalable d'une analyse en composantes principales afin de réduire les effets de mise à l'échelle.

Les approches inductives, elles, utilisent un nombre plus important d'indicateurs que les approches déductives. Ces indicateurs sont sélectionnés parmi une large gamme de variables à l'aide d'outils statistiques. Le critère de sélection des variables concerne leur lien statistique avec les conséquences observées de la vulnérabilité (Nasiri et al., 2016).

L'approche s'appuie également (comme dans le cas déductif) sur la littérature pour l'identification des variables. En revanche, elle inclut un maximum de variables possibles qui seront par la suite sélectionnées par analyse statistique. C'est une approche largement utilisée dans le domaine de la géographie et fondée sur l'analyse factorielle. L'outil préférentiel pour la conduite de cette approche reste la technique de l'Analyse en Composantes Principales (Yoon, 2012), vulgarisée par les travaux de Cutter et al. (2003) à travers l'Indice de Vulnérabilité Sociale (SoVI ou social vulnerability index). Cet indice social utilise un grand nombre de variables liées aux manques d'accès aux ressources, à l'accès limité au pouvoir, à la densité des infrastructures et aux caractéristiques sociodémographiques (âge, revenus, race...) comme indicateurs de vulnérabilité. L'analyse en composantes principales effectuée sur ces variables permet de les restreindre en un ensemble plus réduit de facteurs non corrélés et statistiquement significatifs que l'on peut par la suite normaliser pour établir l'indice de vulnérabilité.

C'est une approche en théorie plus robuste que les méthodes déductives, car elle permet de considérer un ensemble de variables en entrée plus vaste et une sélection de facteurs de vulnérabilité beaucoup plus cohérents (Cutter, 2003).

L'indice SoVI mis en place par Cutter avait pour finalité d'analyser l'évolution spatiale de la vulnérabilité aux aléas naturels des comtés des États unis. Pour le construire, 42 variables indépendantes ayant potentiellement un impact sur la vulnérabilité ont été analysées par ACP ce qui a conduit à la sélection de 11 composantes non corrélées. L'ACP a permis d'attribuer des scores facteurs à chacune des composantes en lien avec les variables de départ. Ces scores factoriels ont été rééchelonnés en valeurs positives ou négatives pour identifier avec précision les facteurs qui augmentent ou qui ont plutôt tendance à diminuer la vulnérabilité globale. Au final, l'indice de vulnérabilité est généré sur la base d'un modèle additif qui calcule un score de cinq classes allant de -1 à + 1 et qui correspond à la déviation standard à la moyenne.

Pour sa robustesse et son faible degré de subjectivité, cet indice a été largement réutilisé dans de nombreuses études pour l'analyse de la vulnérabilité sociale pour différents types de risques naturels. Ces études ont montré l'applicabilité de l'indice SoVI pour analyser la

vulnérabilité face à certains problèmes de santé comme l'obésité, aux inondations fluviales, aux sécheresses, aux inondations côtières, aux tsunamis, à l'érosion et aux tremblements de terre.

Cet indice a été également utilisé dans divers contextes géographiques : au Népal, au Brésil, en Chine, au Canada, en Afrique du Sud, au Botswana, en Afrique de l'Ouest...

D'autres techniques de sélection de variables par analyse factorielle ont été utilisées par certains auteurs pour analyser la vulnérabilité des populations face à certains risques. Par exemple, Gómez-Quintero et al. (2020) ont utilisé l'analyse des correspondances multiples (ACM) pour déterminer les facteurs socioéconomiques influençant sur l'insécurité du logement et sur le risque pour des familles espagnoles de perdre leurs maisons d'habitation. Torterotot et al. (1992) avaient eux aussi utilisé la même démarche pour déterminer les facteurs influençant sur le coût des dommages causés par les inondations à des ménages français.

L'analyse des différentes approches utilisées pour l'analyse de la vulnérabilité permet d'entrevoir que les méthodes inductives tendent à ne considérer qu'un seul aspect de la vulnérabilité à savoir la vulnérabilité socioéconomique. L'approche déductive quant à elle intègre en général plusieurs aspects de la vulnérabilité, avec une focalisation sur les critères environnementaux, physiques et sociaux. Cette approche est en général adoptée de manière plus globale dans une volonté d'étudier l'exposition au risque.

Nous pouvons retenir que de plus en plus, les méthodes inductives et déductives d'analyse de la vulnérabilité débouchent sur une approche cartographique permettant une visualisation des territoires les plus vulnérables. Les recherches sur la cartographie de la vulnérabilité sont en effet davantage entreprises pour valider l'analyse de la sensibilité d'un territoire à l'endommagement (Adger, 2006). Cette validation par la cartographie devrait permettre de proposer aux politiques des mesures plus fiables pour la réduction de la vulnérabilité à une échelle adaptée. Les techniques géospatiales telles que les systèmes d'information géographique et la télédétection ont ainsi montré leur immense potentiel dans la gestion des risques d'origine naturelle (Dewan, 2013). Elles servent de plus en plus à l'identification des interactions entre l'homme et la nature et de ce fait constituent des sources essentielles pour l'analyse de la sensibilité des systèmes à l'endommagement. Certaines de ces techniques sont reprises dans la partie II de notre thèse pour l'analyse de la vulnérabilité biophysique de nos territoires d'étude.

2.3.3. L'analyse de la vulnérabilité par la capacité de réponse à l'endommagement

Cette méthode d'analyse se base sur l'analyse de l'efficacité des actions et des moyens mis en œuvre pour réduire les dommages. Elle repose sur une approche plutôt synthétique de la vulnérabilité contrairement aux deux autres modes d'analyse abordés précédemment qui eux ont trait à une approche plutôt analytique et focalisée sur les enjeux, les éléments vulnérables et les pertes (Provitolo, 2007a). L'analyse de la vulnérabilité par la capacité de réponse aux catastrophes s'appuie sur la capitalisation du retour d'expérience pour analyser le système organisationnel et fonctionnel d'un territoire. Elle est directement en lien avec la résilience de la société c'est-à-dire sa capacité à absorber une perturbation et récupérer ses fonctions essentielles immédiatement après le bouleversement. Il s'agit d'analyser le système de gestion de crise pour des événements passés ou à venir et d'analyser l'endommagement fonctionnel d'un territoire (vulnérabilité territoriale). Cette vulnérabilité aboutit à une perturbation importante de la vie quotidienne pouvant conduire à une paralysie progressive ou soudaine du territoire du fait de l'arrêt d'activités primordiales.

La méthode d'analyse peut être orientée vers la phase d'intervention lors de la survenue d'une catastrophe. En effet, lorsque'une inondation est anticipée ou en cours, il importe pour les gestionnaires du territoire d'identifier les individus ou les zones présentant un besoin prioritaire d'assistance. Il s'agit également d'identifier les capacités de réponses, de rebondissement et d'adaptation à la suite d'un événement dommageable.

Ce type de vulnérabilité dépend plus de facteurs humains, organisationnels et fonctionnels du territoire (Barroca & Hubert, 2008; Reghezza-Zitt, 2017) c'est-à-dire à la possibilité de dégradation de service rendu d'un système complexe. Il est lié à la redondance du système c'est-à-dire à l'existence d'alternatives offertes par le système à la perturbation d'une de ces composantes et aux possibilités de remise en fonctionnement des composants endommagés (Lhomme et al., 2010). Pour analyser la capacité de réponse, Wilhelmi et al. (2013) proposent de considérer quatre catégories d'indicateurs :

- ❖ **les désavantages physiques** : ils sont liés à l'incapacité à entendre l'alerte et à pouvoir physiquement procéder à une évacuation ou répondre à une menace dans les temps. Ces variables sont également liées à la capacité de résistance physique face à une catastrophe

- ❖ **les ressources limitées** : elles sont en lien avec les moyens d'évacuation ou nécessaires à la gestion de la crise. Elles englobent la vulnérabilité territoriale et peuvent être évaluées en suivant quatre étapes d'après D'Ercole et Metzger (2009) :
 - l'identification d'enjeux majeurs et lieux stratégiques sur le territoire : par exemple les réseaux routiers, les centrales électriques, les hôpitaux...
 - l'analyse détaillée de la vulnérabilité de ces enjeux majeurs : cette étape consiste à faire ressortir par les gestionnaires du territoire les éléments matériels qui sont indispensables au fonctionnement du territoire, à son développement et en sa capacité à faire face à une catastrophe. Un corpus de donnée est élaboré pour faciliter cette analyse. Dans cette analyse détaillée des enjeux majeurs on peut être amené à étudier la connexité d'un territoire c'est-à-dire la possibilité pour un automobiliste ou de secours de se rendre en tel ou tel lieu (Leone, Deymier, Chapelon, Colas, Jomelli, 2011).
 - La construction de cartes de vulnérabilité en hiérarchisant les espaces selon leur accessibilité et leur exposition à l'aléa : cette étape permet de déterminer les lieux de concentration d'enjeux majeurs et d'éléments essentiels
 - La cartographie des lieux dont dépend la vulnérabilité de l'ensemble du territoire : les zones les plus vulnérables sur le plan territorial sont représentées sur une carte sur la base de la concentration du nombre de types d'enjeux majeurs de fonctionnement.
- ❖ **Les désavantages linguistiques et cognitifs** : elles sont liées à l'incapacité à comprendre et à répondre à une alerte climatique ainsi qu'aux défaillances dans la perception du danger par la population et dans les réactions individuelles de la population
- ❖ **Les variables institutionnelles** : elles sont liées à la qualité de la prévision de la catastrophe et de l'annonce des crues ainsi qu'à la qualité de l'intervention des secours

Ces indicateurs peuvent être normalisés à l'aide de Z-score pour obtenir un score normalisé de capacité à faire face à l'endommagement, qui peut être spatialisé de sorte à constituer un puissant outil de communication à destination des gestionnaires. Ils peuvent également être utilisés comme données d'entrée pour une modélisation des dysfonctionnements fonctionnels potentiels susceptibles de survenir du fait d'un risque. C'est le cas à travers les modèles de stocks et de flux développés par Provitolo (2003, 2005) pour la simulation de différents scénarios.

L'avantage de cette approche synthétique est qu'elle offre la possibilité de prendre en compte le système dans sa complexité et ainsi de considérer les logiques d'enchaînements rétroactives et les effets dominos dus à l'organisation même du système.

Un résumé des différentes approches d'analyse de la vulnérabilité abordées plus haut est présenté dans la figure I-16. Cette figure permet de lier les méthodes d'analyse aux principales vulnérabilités identifiées dans le chapitre 1, et fait ressortir grâce à un effet miroir avec le chapitre 2, plusieurs éléments qui résument les méthodes d'analyse adoptées dans la littérature:

- la vulnérabilité biophysique est à l'interface d'une vulnérabilité humaine (analysée par la caractérisation de l'endommagement et des pertes) et d'une vulnérabilité technique (mise en lumière par l'évaluation de la sensibilité à l'endommagement) ;

- la vulnérabilité institutionnelle est, elle, à l'interface entre vulnérabilité technique sus citée, et une vulnérabilité organisationnelle (mise en lumière par l'évaluation de la capacité de réponse à l'endommagement).

- la vulnérabilité sociale, elle, met en jeu des aspects de vulnérabilité humaine, technique et organisationnelle et est ainsi appréhendée dans la littérature par les 3 méthodes d'analyse à savoir la caractérisation de l'endommagement, l'évaluation de la sensibilité à l'endommagement et l'évaluation de la capacité de réponse à l'endommagement.

Toutes ces vulnérabilités restent spatialement ancrées et interviennent ainsi sur la vulnérabilité territoriale.

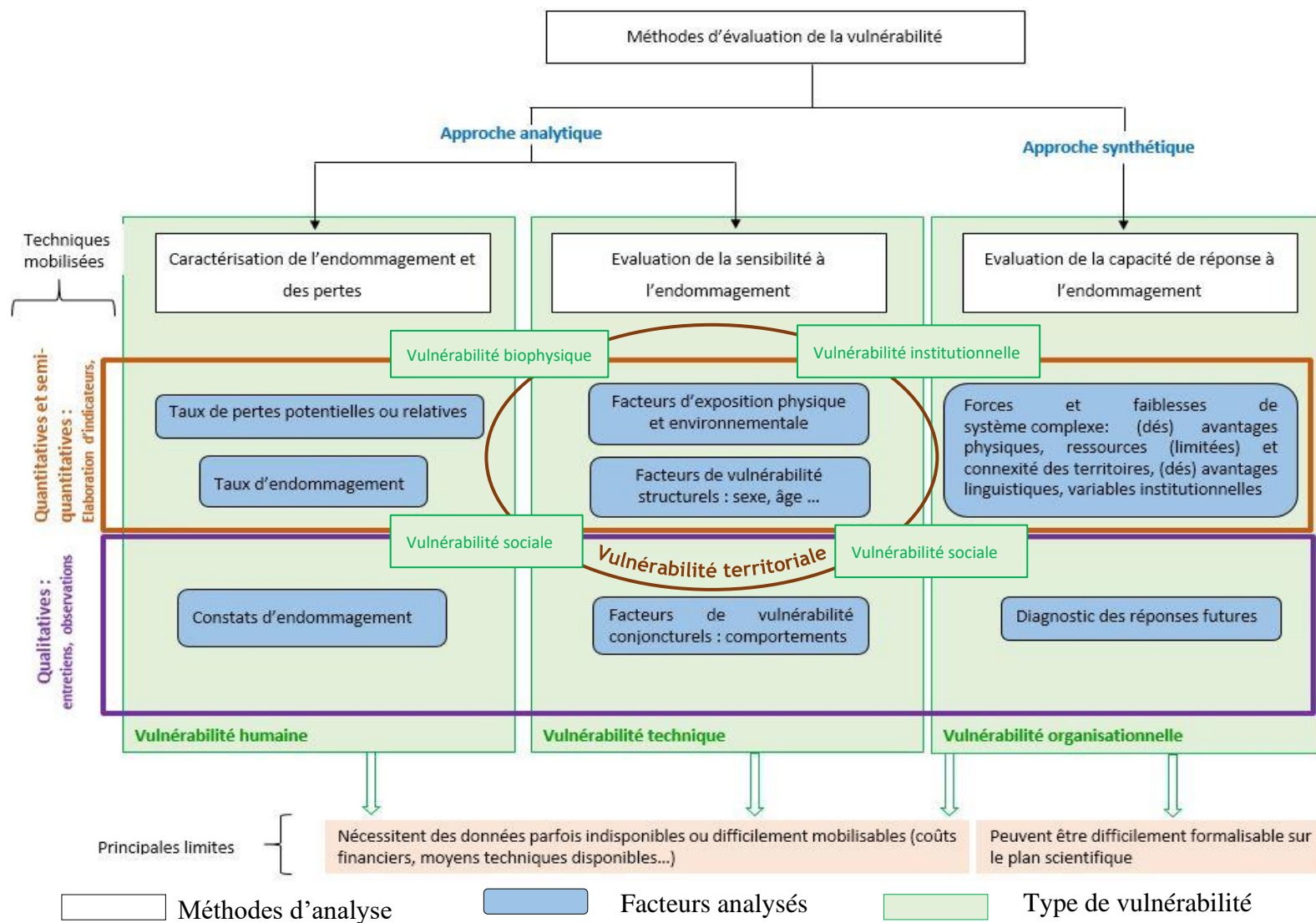


Figure I-16 : Résumé des différentes approches d'analyse de la vulnérabilité (source : auteur)

2.4. Limites des approches d'analyse de la vulnérabilité

Au cours des dernières décennies, un très grand nombre d'outils et de méthodes d'analyse de la vulnérabilité ont été développés. Ces outils ont été abordés et mis en exergue par l'état de l'art déployé dans les sections précédentes. Bien qu'ils aient montré leur efficacité à rendre compte de la vulnérabilité des systèmes aux risques notamment ceux d'origine naturelle, il n'en demeure pas moins qu'ils restent entachés de limites qu'il est nécessaire d'appréhender.

L'appréhension de la vulnérabilité au travers de l'approche analytique a par exemple montré son caractère opératoire permettant la cartographie de zones vulnérables ou l'identification de populations vulnérables. Cependant, cette approche est considérée de plus en plus comme étant restrictive, car analysant la vulnérabilité comme un système passif (Provitolo, 2007a). Certains outils sont déployés pour analyser le nombre de décès ou de blessés au cours d'une catastrophe déjà survenue ou potentielle. Ces types d'étude présentent le désavantage de ne s'intéresser qu'aux personnes touchées sans forcément prendre en considération la localisation des personnes ayant besoin d'assistance. Par contre, les méthodes qui analysent les besoins d'assistance des populations et prennent en compte les caractéristiques de vulnérabilité sociale ont souvent tendance à se limiter à ce cadre, sans prendre en compte certains aspects liés par exemple au type de bâti habité par les populations ou au système d'alerte. Pourtant ces éléments sont déterminants dans l'exposition des populations à l'aléa. Dans la même lancée, d'autres études se penchent plutôt sur l'estimation des dommages subis par les infrastructures et autres enjeux du territoire. Globalement, on peut retenir que l'analyse des impacts pour les études s'intéressant à la caractérisation de l'endommagement est rendue difficile par le manque de données de qualité. Lorsque ces données sont utilisées dans des modèles de prédiction de l'endommagement, l'absence de fiabilité entraîne des problèmes de validation et de calibrage et implique la collecte de données supplémentaires qui peut se révéler onéreuse. Il est certes vrai qu'il existe certaines bases de données au niveau national ou supra national comme la base EM-DAT pour ce qui est des inondations. Cependant, les données collectées sont très souvent sommaires et difficilement utilisables pour une utilisation à micro ou méso-échelle à cause de leur caractère imprécis. Les études détaillées post-catastrophes sont en effet toujours à un stade embryonnaire partout dans le monde (Fujiki, 2017) et particulièrement dans les pays pauvres où elle n'est très souvent pas mise en œuvre. Pour obtenir des informations, il faut donc procéder à des recoupements d'informations à partir de sources diverses faute de l'existence d'un fichier unique et exhaustif sur les victimes, les personnes sinistrées et les dégâts enregistrés. Dans certaines contrées, on peut assister à des réticences de la part des gestionnaires

à fournir les informations demandées à cause de leur crainte que des actions en justice soient intentées à l'encontre de l'administration, parfois tenues pour responsable des dégâts (Vinet et al., 2011).

Aussi, selon les périodes de l'histoire et la nature des sociétés, la notion d'impact négatif et de dommages revêt des réalités socioéconomiques diverses (Lang et al., 2013), d'où des difficultés d'interprétation de l'évolution de l'endommagement en fonction du temps. De plus, les évènements couverts par la presse ou certaines sources sont fortement liés à leur ampleur, leur étendue spatiale et au contexte de survenue et dépendent de perception subjective de journalistes et d'auteurs d'articles divers (Bruckmann et al., 2019). Il en résulte une perte non négligeable d'informations historiques pour certains évènements en particulier pour les « petits évènements » qui se sont soldés par quelques victimes. Les méthodes reposant sur les disponibilités de données historiques (par exemple pour l'évaluation en utilisant l'indice FVI) présentent ainsi des limites principalement en cas d'absence de telles données ou en cas de données imprécises. L'estimation de la vulnérabilité par les coûts peut également présenter des limites. Outre le manque de données qui constitue un obstacle déjà mentionné, il se pose la question de la traduction financière de la valeur des dommages.

Par ailleurs, les quelques retours d'expérience produits par les États, les études scientifiques ou la presse pour un évènement en particulier sont bien souvent réalisés à chaud quelques jours ou quelques semaines après une inondation (Vinet, 2010). Cela entraîne que la période post-crise n'est généralement pas considérée dans l'analyse, tout comme les enjeux liés à la reconstruction et au retour à un fonctionnement normal de la société (Boudou, 2015). L'analyse de l'adaptabilité à travers des études réalisées quelques années après les évènements se révèle pourtant intéressante afin de constater les enseignements qui ont été tirés par les sociétés et les répercussions sociales et politiques.

D'autres outils utilisent des indicateurs sociaux, économiques ou relatifs aux infrastructures telles que le bâti ou les routes pour analyser la vulnérabilité en adoptant une démarche soit déductive soit inductive. Les approches inductives tendent à ne considérer que la composante socioéconomique de la vulnérabilité. Elles se basent en général sur l'avis d'experts ou l'analyse de théories établies pour la sélection des facteurs responsables de la vulnérabilité. De ce fait, il se pose un problème lorsque l'on veut appliquer la méthode dans des secteurs où les facteurs influençant la vulnérabilité ne sont pas totalement cernés, même par les experts. Il se pose aussi le problème de l'objectivité de la méthode et de sa fiabilité dans la mesure où l'avis d'experts est une donnée subjective. À l'inverse les approches déductives

prennent en compte d'autres aspects tels que la vulnérabilité physique et environnementale, et utilisent des outils statistiques pour le choix des facteurs à retenir. Bien qu'elles présentent des avantages par rapport aux méthodes inductives (tels que la répliquabilité de l'analyse dans le futur sans difficulté), des limites sont tout de même présentes. Plusieurs de ces méthodes se basent sur des données issues de recensement général pour la sélection des facteurs par analyse statistique. Cependant, une critique courante de cette approche est qu'elle parvient difficilement à saisir la différenciation spatiale et sociale infranationale de la vulnérabilité et des conditions locales qui conditionnent la capacité d'adaptation. En effet, les données de recensement sont la plupart du temps à l'échelle du pays et permettent juste une comparaison grossière de la vulnérabilité entre villes. Lorsqu'on veut appliquer les méthodes inductives à des secteurs et sous-secteurs de la ville, on peut être confronté à l'absence de données. Aussi, l'échelle temporelle des recensements peut poser problème avec des données non actualisées sur les populations pouvant dater d'une dizaine d'années. Les procédures d'analyse à micro échelle principalement en contexte sahélien peuvent également poser un problème de validité.

Globalement, on peut retenir que l'approche analytique ne permet pas d'appréhender de manière suffisante les variables favorables aux endommagements et à la capacité de réponse des sociétés aux catastrophes. Pour ce faire, des méthodes intégrant des aspects liés aux capacités de réponse des sociétés ont été développées, de sorte à analyser la vulnérabilité de manière plus systémique. Ces méthodes, bien que d'un intérêt certain, nécessitent la mise en œuvre de modélisation qui tient compte des interactions complexes qui interviennent lors des catastrophes, ce qui peut se révéler délicat. Cependant, ces méthodes pour être opérationnelles nécessitent des données de calage qui peuvent se révéler délicates à déterminer. Aussi, la modélisation du fait de la simplification de la réalité qu'elle offre, reste entachée de limite liée à la sélection des variables à identifier. Pour pallier ces insuffisances, l'analyse de solutions qualitatives peut se révéler intéressante puisque la science n'est pas uniquement liée aux aspects mesurables.

Synthèse : Intérêts d'une approche axée sur l'analyse systémique de la vulnérabilité

Les travaux de recherche menés globalement sur la thématique des risques et en particulier les inondations sont en majeure partie disciplinaires. Ils n'abordent en général qu'une facette du problème qui repose pour les sciences dites dures sur des tentatives de maîtriser le risque par des mesures axées sur l'aléa. Pourtant, la recherche sur les risques est très étendue et productive et laisse davantage entrevoir l'impact des comportements sociaux sur leur ampleur. Pour ce faire, la tendance actuelle est à la pluridisciplinarité et à la prise en compte des aspects sociaux. Cependant, un grand nombre d'études se réfèrent encore au paradigme qui place l'aléa au centre des considérations. Notre recherche s'inscrit au contraire dans un cadre conceptuel d'analyse de la vulnérabilité globale, c'est-à-dire intégrant plusieurs facteurs (socioéconomiques, politiques, culturels, biophysiques) formant un système de contraintes qui agit sur les comportements des populations menacées. Nous souhaitons aborder la thématique de la vulnérabilité de manière systémique (cf. annexe 19), en prenant en compte à la fois la vulnérabilité en lien avec l'aléa, mais également comme construit social²¹ et institutionnel.

Le tour d'horizon des différentes limites des approches d'analyse de la vulnérabilité nous conduit à favoriser une étude transversale de nos deux territoires d'étude, permettant d'intégrer plusieurs dimensions (environnementale, physique, sociale, politique et institutionnelle). La modélisation systémique aurait été une méthode idéale pour prendre en compte les différentes interactions entre les dimensions, mais elle s'est heurtée dans notre cas d'étude à des difficultés d'accessibilité et de fiabilité des données. Il faut cependant rappeler qu'aucune analyse ne peut couvrir toute la gamme des facteurs susceptibles d'influer sur la vulnérabilité, ce qui implique que des choix quant aux variables à inclure et à exclure soient adoptés. De ce fait, toute analyse, quelle qu'elle soit est par essence incomplète. Notre choix méthodologique s'est ainsi appesanti à prendre conscience des différentes limites, biais et omissions qui existent dans les approches mises en œuvre et à tenter de les corriger au mieux. Au regard de l'état de l'art effectué dans ce chapitre, nous avons clairement positionné notre méthode dans la suite de la thèse. Ce positionnement est abordé en détail dans les sections dédiées à la méthodologie dans les chapitres 4 et 6 de la thèse.

²¹ L'expression « construit social » signifie qu'un fait social est produit par des êtres humains en société

L'originalité de notre travail se situe dans l'analyse des divers niveaux de vulnérabilité (aléa centré, socio-centré ou politico-centré) pour mettre en lumière une vulnérabilité globale au niveau des villes sahéniennes. Alors que la plupart des études actuelles sur les vulnérabilités ne prennent en considération que les dimensions sociales ou économiques de la vulnérabilité, nous intégrons le volet biophysique souvent à tort relayé aux sciences dites dures et les volets politiques et réglementaires plutôt analysés par les sciences juridiques. L'idée est de combiner approches déductives et inductives que nous avons présentés plus haut pour analyser la sensibilité à l'endommagement du territoire.

En définitive, les différents concepts abordés dans ce chapitre permettent de fixer un cadre pour l'analyse de la vulnérabilité au Sahel et facilitent les choix méthodologiques à effectuer. Il ressort de ce chapitre que l'analyse de la vulnérabilité doit prendre en compte la dynamique spatio-temporelle des systèmes, à travers une mise à jour régulière et une identification claire des facteurs et par l'adaptation de l'échelle d'analyse. Compte tenu de la problématique des inondations en ville, le niveau local urbain représente en notre sens l'échelle adaptée pour comprendre de manière assez fine la vulnérabilité des territoires. Les capitales sahéniennes se positionnent ainsi de manière privilégiée comme premières zones à analyser du fait des enjeux qu'elles renferment. En outre, cette analyse doit nécessairement s'appuyer sur les spécificités de chacune de ces villes et implique des choix, dictés par les moyens à disposition.

Chapitre 3. Le cadre géographique : Bamako et Ouagadougou, des villes sahéliennes propices aux catastrophes naturelles

Introduction

La zone sahélienne est frappée de plein fouet depuis une vingtaine d'années par des catastrophes naturelles dont l'occurrence ne cesse de croître, impactant fortement plusieurs enjeux économiques et sociaux en ville. Les inondations y ont des conséquences désastreuses, et il faut clairement y apporter des solutions, pour accorder un certain répit aux populations déjà durement touchées par l'insécurité grandissante. La réalisation d'étude scientifique sur les inondations est primordiale dans ce contexte et d'un intérêt social certain. Cependant, étudier le sahel urbain dans son ensemble se révèle impossible à effectuer à l'échelle d'une thèse, du fait de l'ampleur des analyses et des données à mobiliser. Nous avons donc décidé de restreindre l'étude à deux villes, que nous avons sélectionnées du fait de leurs similitudes en termes climatiques et démographiques et de leurs statuts stratégiques de capitales de pays sahéliens. Aussi, les différences entre ces villes étaient importantes à appréhender, car pouvant expliquer les différences de vulnérabilités. Ainsi, le domaine d'application géographique visé pour cette étude a concerné les villes sahéliennes de Ouagadougou et de Bamako. En termes de comparaison, ces villes sont toutes deux situées sensiblement à la même latitude de 12 ° avec un climat soudano-sahélien similaire. Ce rapprochement climatique pourrait expliquer les similarités dans l'occurrence de phénomènes météorologiques extrêmes comme les pluies intenses. En termes de différences, les deux villes possèdent des géomorphologies distinctes avec un relief bien marqué à Bamako contrairement à Ouagadougou, et la présence du fleuve à Bamako alors qu'à Ouagadougou, trois barrages traversent la ville. Par ailleurs, bien que les deux villes soient caractérisées par une croissance démographique exponentielle, des différences sont observables en termes de comportements des populations.

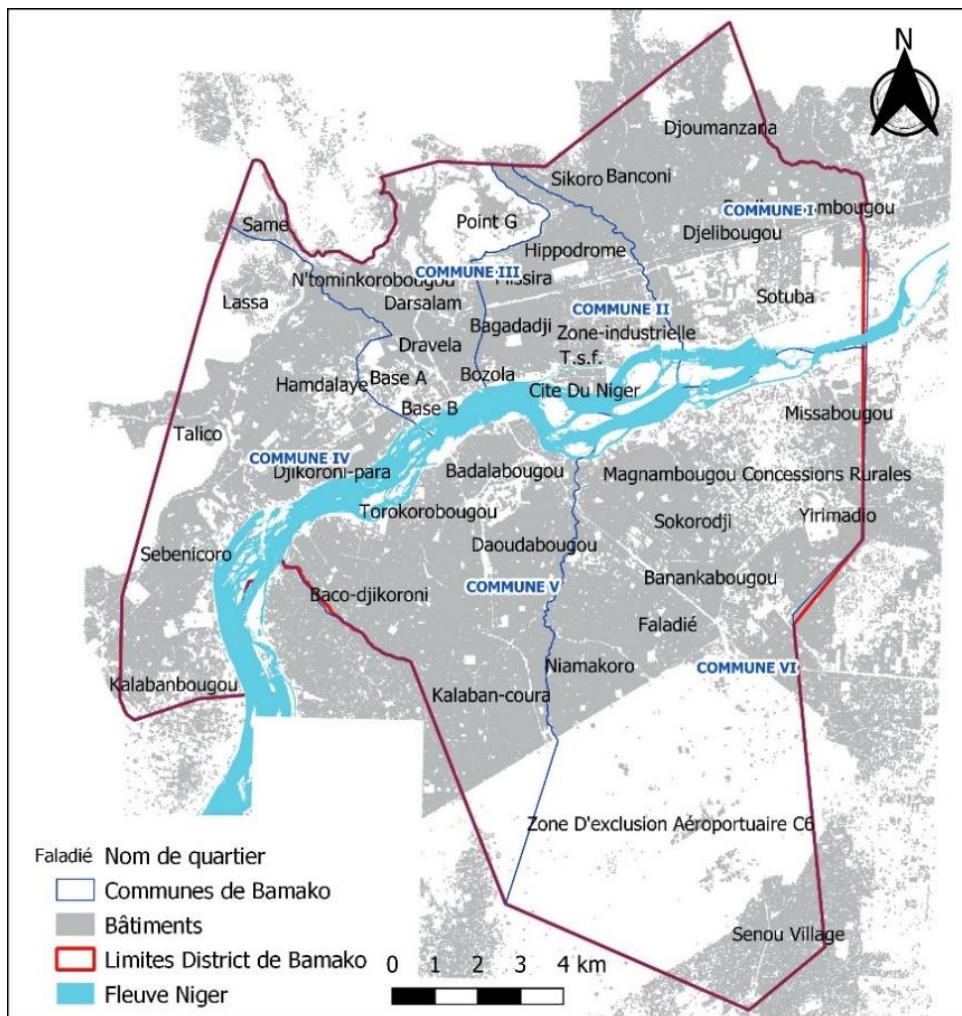
Ce chapitre vise à présenter les deux villes d'étude en abordant plus précisément leur situation géographique, leurs caractéristiques climatiques et hydrologiques ainsi que les déterminants géomorphologiques, humains et démographiques qui les caractérisent. La

compréhension de ces aspects est indispensable à l'établissement de bases claires pour une analyse de l'impact des inondations sur ces territoires.

3.1 Situation géographique et administrative

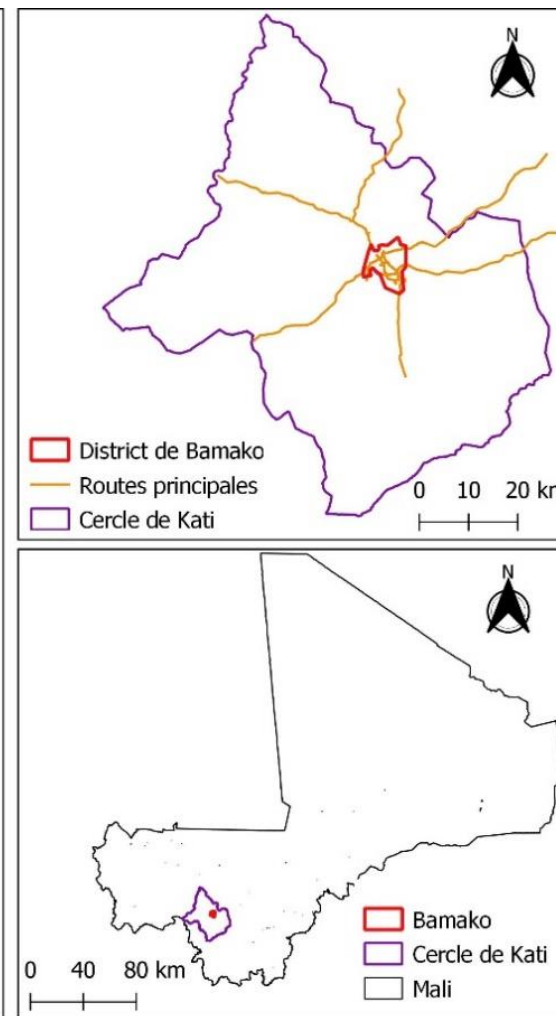
3.1.1. Bamako

Avec une superficie de 1,24 million de km², la République du Mali fait partie des pays les plus vastes d'Afrique. Sa capitale Bamako est située au sud du Mali, entre les coordonnées 7°59'00" de longitude Ouest et le 12°40'00" de latitude Nord. Centre administratif et capital du Mali depuis les indépendances de 1960, la ville appartient à la zone la plus méridionale du Sahel africain. Elle est occupée depuis le 17^e siècle par les Niaré, premiers occupants du territoire avant l'arrivée des colons. Elle est actuellement érigée en district à statut particulier sur environ 375 km — (25 km d'ouest en est et 15 km du Nord au Sud) et regroupe six communes (Loi 96-025 du 21 février 1996) situées dans la cuvette du fleuve Niger. Il s'agit des communes 5 et 6, situées sur la rive droite entre le fleuve Niger et les reliefs du Tienkoulou, et des communes 1 à 4, sur la rive gauche entre le fleuve Niger et les monts mandingues (Figure I-17).



Source : données PDSU

Date : 27/06/2020

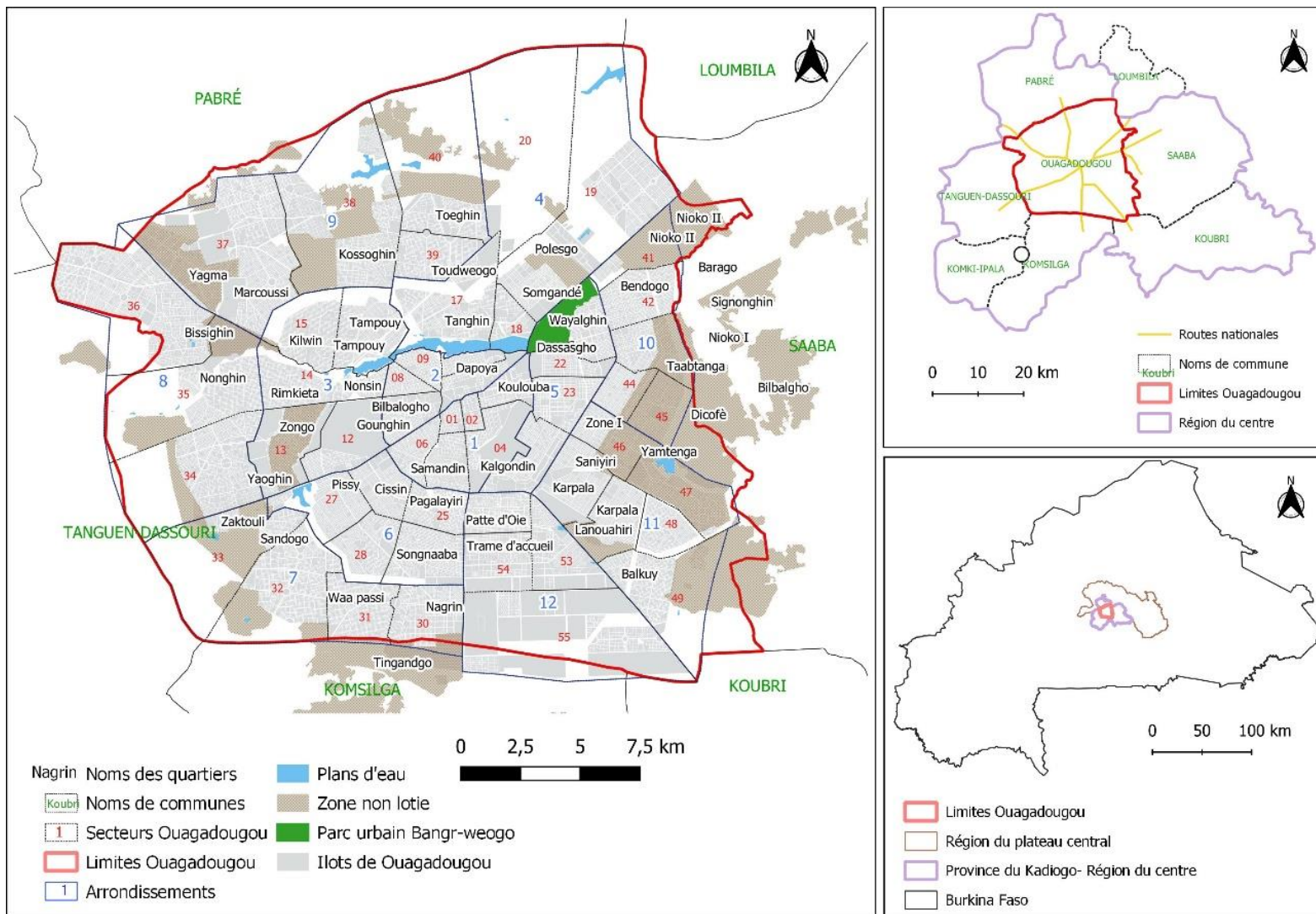


Auteur : DA M. Laure Carolle

Figure I-17 : Localisation du district de Bamako

3.1.2. Ouagadougou

Située en plein centre du Burkina Faso, entre les coordonnées 12°21'58'' de latitude Nord et 1°31'05'' de longitude Ouest, Ouagadougou est à la fois chef-lieu de la région du Centre, chef-lieu de la province du Kadiogo et capitale politique du pays. La commune de Ouagadougou est délimitée par des communes rurales dont celles de Pabré et de Loumbila au nord, de Koubri et de Komsilga au sud, de Saaba à l'Est et enfin de Tanghin-Dassouri à l'ouest (Figure I-18). Ces villes limitrophes constituent avec le poumon central du Kadiogo qu'est Ouagadougou des terres d'accueil de nombreux habitants et de développement d'activités économiques. La ville est susceptible de croître de manière exponentielle comme elle l'a déjà fait par le passé en annexant des communes limitrophes (exemple de Kamboinsè), car elle n'est bordée par aucun obstacle naturel. La loi n° 066-2009/AN du 22 décembre 2009 a consacré une nouvelle subdivision de la commune en 12 arrondissements, dirigés chacun par un maire, et 55 secteurs pour permettre un rapprochement des administrés avec l'administration. La zone du « Grand Ouaga » formée de Ouagadougou, Komki Ipala, Komsilga, Koubri, Loumbila, Pabré, Saaba et Tanghin Dassouri couvre ainsi actuellement une superficie totale de 3304 km².



Source : BNDT 2015, Boyer 2009

Date : 27/06/2020

Auteur : DA M. Laure Carolle

Figure I-18 : Localisation de la ville de Ouagadougou

3.2. Facteurs climatiques et hydrologiques

3.2.1. Climat, pluviométrie et vents à Ouagadougou et Bamako

Les deux territoires de Ouagadougou et de Bamako sont caractérisés par deux saisons bien marquées (une saison sèche et une saison pluvieuse humide), qui demeurent très influencées par les changements climatiques. En effet, ces derniers accentuent par exemple les extrêmes pluviométriques et agissent sur les durées des pluies au Sahel (AGRHYMET, 2010).

Ces deux villes capitales sont particulièrement vulnérables aux aléas naturels tels que la sécheresse, l'invasion acridienne et les inondations. Cette vulnérabilité est due à la grande variabilité du climat sahélien de type tropical sec, qui alterne période de sécheresse et pluviométrie intense et extrême. Les précipitations sont influencées dans ces localités par le balancement du Front inter-tropical (FIT) porté par deux types de vents à savoir la mousson et l'harmattan :

- la mousson, masse d'air chaud et humide provenant de l'océan est nécessaire à l'installation de la saison des pluies. Cette dernière est caractérisée par des vents violents en début d'hivernage, qui perdent de leur intensité en fin de saison. On note durant cette période l'apparition d'inondation aux conséquences plus ou moins importantes, allant de la dégradation de la voirie à la limitation de l'accès de certaines zones urbaines.
- L'harmattan, masse d'air sec continental, naît de l'anticyclone saharien de direction nord-est/sud-ouest. Les villes du Sahel du fait de ce vent se retrouvent recouvertes pendant une longue période (de mi-novembre à février) de poussières réduisant la visibilité, et favorisant l'augmentation de la prévalence de maladies respiratoires.

3.2.1.1. Ouagadougou

Situé entre les isohyètes 700 et 1000 mm, l'espace « Grand Ouaga » appartient à la zone climatique soudano-sahélienne du Burkina Faso. Le climat de type tropical sec est marqué par l'alternance :

- d'une saison sèche de 7 mois (de novembre à mai) marquée par l'harmattan ;
- d'une saison pluvieuse de 5 mois (de juin à octobre) impactée par la mousson.

La pluviométrie à Ouagadougou est principalement mesurée par les services météorologiques au niveau des stations de Ouagadougou aéroport et de Somgandé. Elle était en moyenne de

730,6 mm par an sur la période 1996 à 2016, avec une pluviométrie maximale au mois d'août (Figure I-19).

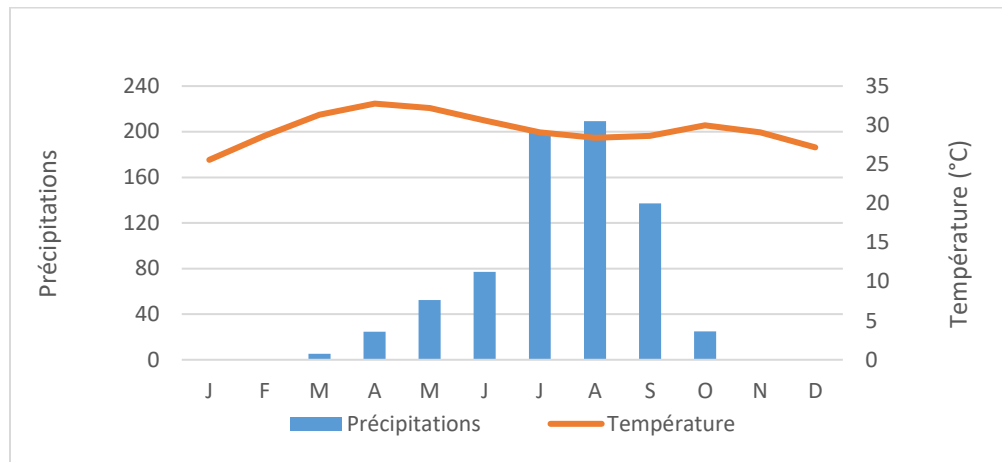


Figure I-19 : Diagramme ombrothermique de la station de Ouagadougou Aéroport (sources : données pluviométriques mensuelles entre 1996 et 2016, Agrhymet)

Caractérisées par une variabilité annuelle et interannuelle, les températures de Ouagadougou font ressortir deux périodes plutôt fraîches au cours de l'année, avec des températures clémentes :

- La période de forte activité de l'harmattan qui s'étend de décembre à février : durant cette période, les températures mensuelles oscillent entre 14,3 et 23,7 °C).
- la période des pluies qui s'étend de juillet à septembre : durant cette période, les températures varient entre 22 et 24 °C.

Entre ces deux (2) périodes bien distinctes, interviennent deux périodes chaudes :

- la période de mars à juin représente la période la plus sèche et la plus chaude de l'année, avec des températures mensuelles de l'ordre de 37 à 40 °C.
- La période d'octobre à novembre constitue la seconde période de chaleur et correspond à la fin de la saison des pluies. Les températures maximales atteignent 35 °C.

3.2.1.2. Bamako

Bamako appartient à la zone soudanienne et bénéficie de ce fait d'un climat tropical assez humide, avec une pluviométrie moyenne annuelle de 878 mm pouvant osciller autour de 1000 mm à 1200 mm environ.

Le climat y est caractérisé par une saison sèche bien marquée allant de novembre à mai et une saison pluvieuse entre mi-juin et octobre (Figure I-20). La majeure partie des pluies tombe entre juillet et septembre (71 %) avec une approximation de 50 % durant les mois de juillet et août. La moyenne journalière des pluies est d'environ 66 mm sur la période de 1996 à 2015 (source : Aghymet).

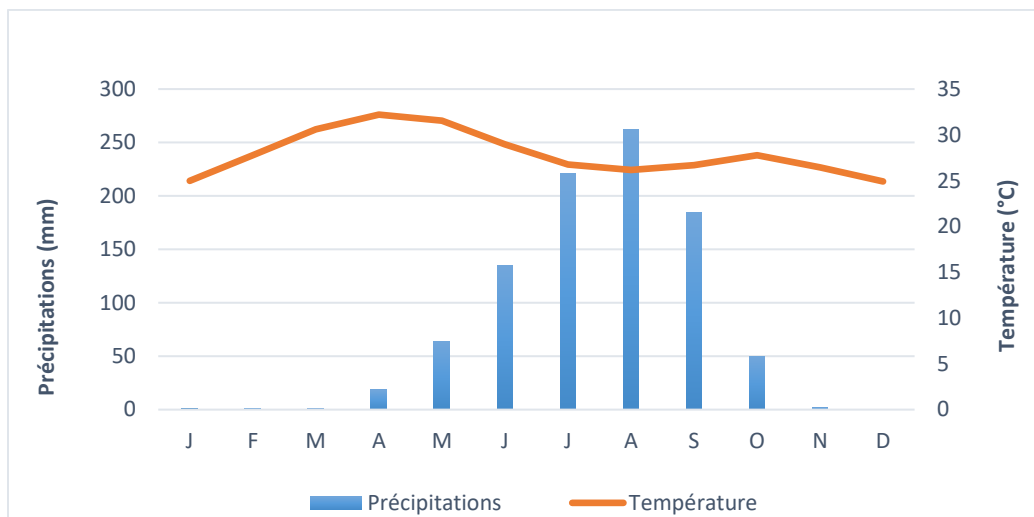


Figure I-20 : Diagramme ombrothermique de la station de Sénou Bamako (sources : données pluviométriques mensuelles entre 1996 et 2016, Agrhymet)

Les températures, en moyenne de 27,9 °C avec 32 °C en avril et 25 °C en décembre, sont relativement douces pour un climat tropical, sans doute du fait de la présence du fleuve qui divise la ville en deux.

Les caractéristiques fondamentales de la période des pluies à Bamako comme partout au Sahel et à Ouagadougou en particulier, se traduisent par une mauvaise répartition spatio-temporelle et une brutalité des précipitations qui s'accompagnent de vents très violents. Ces facteurs sont durement ressentis par les populations urbaines. En effet, la pluviométrie au mois d'août dépasse en moyenne et dans plus de 80 % des cas, 200 mm avec des fréquences très rapprochées. Pourtant, la ville ne peut évacuer ces eaux du fait de l'insuffisance et de la vétusté du réseau de drainage. En conséquence, les cours des concessions, les ruelles, les voies de circulation publiques passent des heures voire des jours submergées ou inondées. Sous de telles précipitations, même les constructions en dur ne sont pas à l'abri des inondations et des effondrements.

Le régime thermique à Bamako reste semblable à celui de Ouagadougou avec l’alternance de périodes chaudes de mars à juin et d’octobre à novembre et de périodes plus froides de décembre à février et de juillet à septembre.

3.2.2. Réseau hydrographique

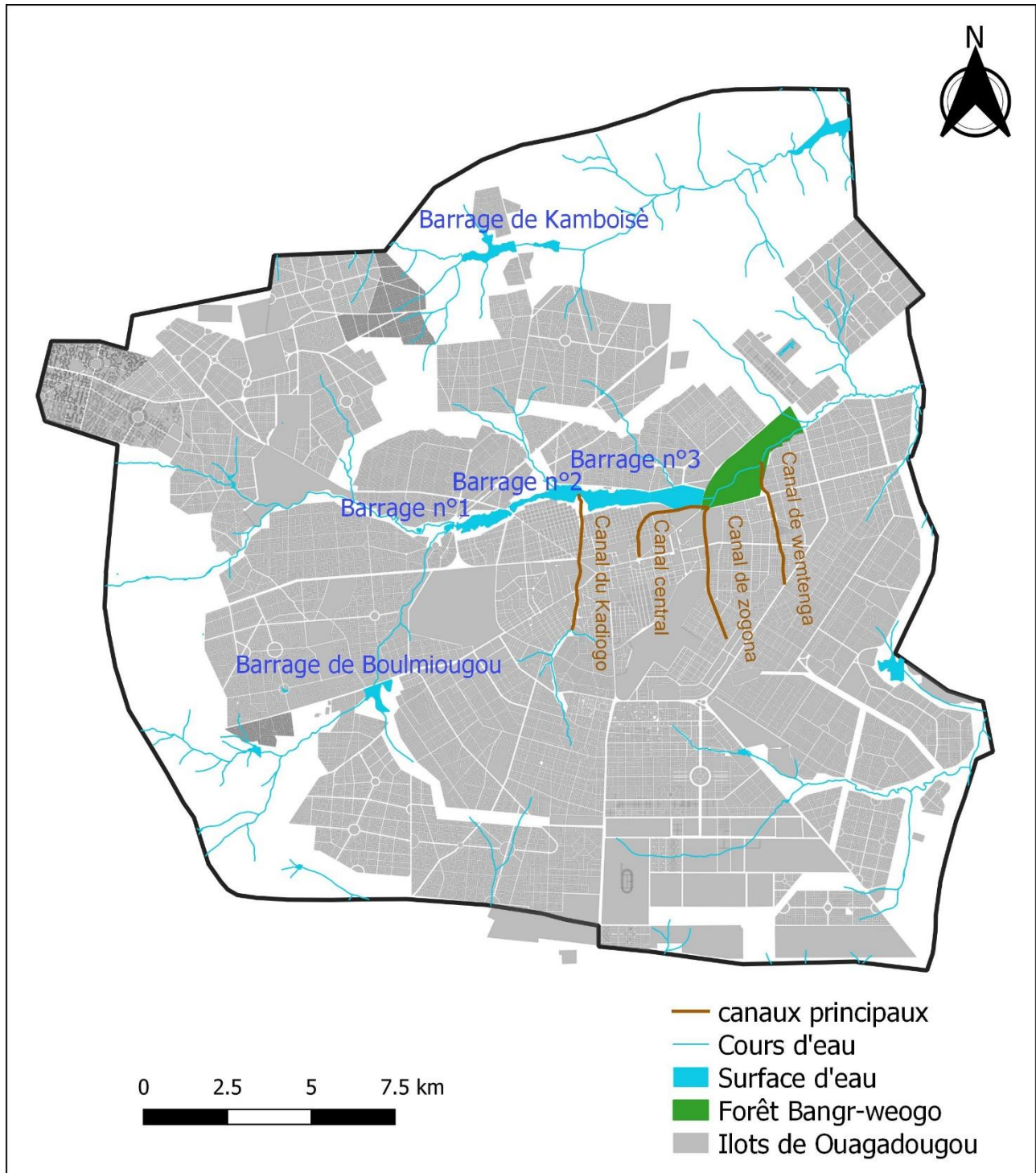
L’occupation irrégulière du domaine hydraulique et des ouvrages d’évacuation des eaux pluviales est une caractéristique commune aux capitales sahéliennes.

3.2.2.1. Ouagadougou

Les autochtones de Ouagadougou se sont installés sur un site marécageux, essentiellement constitué de basfonds et d’affluents périodiques avec quelques marigots, dans l’optique de se protéger d’éventuels envahisseurs. Cette proximité avec des cours d’eau leur permettait aussi d’avoir accès facilement à de la ressource en eau pour leur besoin quotidien. En saison des pluies cependant, ces cours d’eau, même s’ils sont pour la plupart non permanents, présentent des risques d’inondation par débordement ou de noyade pour la population riveraine.

La ville regroupe sept sous-bassins versants qui font partie intégrante du bassin versant du Massili. Ces sous-bassins versants sont répartis autour de quatre barrages intra-urbains. Trois de ces barrages sont interconnectés et déversent dans la rivière du Massili. Ils ont été réalisés sur un marigot central qui coupe la ville dans un axe est-ouest pour contribuer à l’approvisionnement en eau potable de la ville, même si ces barrages n’assurent plus depuis quelques années cette fonction. Ouagadougou est traversée du sud au nord par quatre principaux marigots qui ont été aménagés en canaux pour l’évacuation des eaux de pluie de la ville. Il s’agit du marigot central ou canal de Paspanga, du marigot de Zogona, du marigot du Mooro Naba (ou canal du Kadiogo) et de celui de Wemtenga (Figure I-21).

Du fait de la proximité avec ces marigots et ces barrages, les populations riveraines sont confrontées aux risques inondation lors de fortes pluies. Cependant, bien que traversée par un réseau hydrographique assez dense, Ouagadougou est souvent confrontée à cause des facteurs climatiques à un stress hydrique. Ce stress hydrique, combiné au réseau hydrographique constitué majoritairement de cours d’eau non permanents, peut faire douter plus d’un du risque inondation dans la ville. Aussi, les eaux qui ruissellent dans la ville, tout comme à Bamako, sont déversées indifféremment dans les cours d’eau en charriant les ordures, ce qui fait qu’elles peuvent constituer de risques sanitaires (diarrhée, paludisme...).



Source : Données PiGéo ; Boyer, 2009

Date : 27/06/2020

Auteur : DA M. Laure Carolle

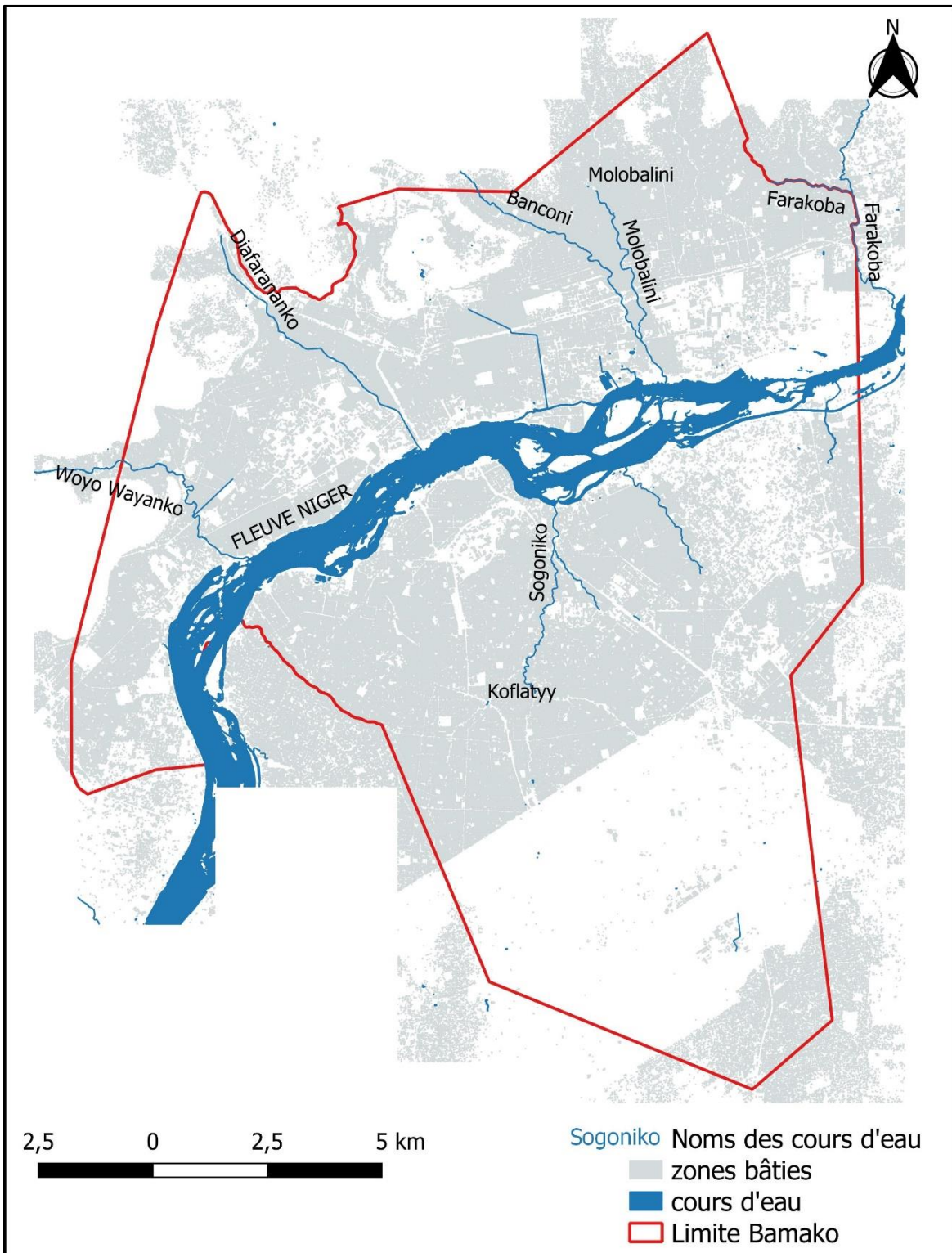
Figure I-21 : Réseau hydrographique de la ville de Ouagadougou

3.2.2.2. Bamako

La ville de Bamako est traversée par le fleuve Niger ou Joliba, principale ressource en eau de la ville (Figure I-22). Il constitue le 3^e fleuve d'Afrique en termes de longueur (4200 km) après le Nil et le Congo et son bassin versant s'étend sur 140 000 km². Ce cours d'eau dont l'importance n'est plus à démontrer pour le sahel traverse quatre pays avant de se jeter dans la mer, dans un delta maritime de l'océan atlantique. L'écoulement dans le fleuve se fait selon une direction ouest-est, en décrivant une grande boucle dans sa traversée des régions sahéliennes et subdésertiques.

La crue maximale du fleuve à Bamako est atteinte pendant la saison des pluies entre août et octobre et l'étiage se situe entre mars et avril. La ville de Bamako est également alimentée en eau par des systèmes aquifères de la ville et de ses environs et par un ensemble de petits cours d'eau (banconi, woyowayanko, diafarananko, Molobalini, Sogoniko, Farakoba). On dénombre 912 km de réseaux avec 778 km de caniveaux d'évacuation des eaux pluviales et 134 km de marigots qui drainaient la ville en 2011 (Banque mondiale, 2011). Le long de ces cours d'eau, la pratique d'une agriculture urbaine bat son plein.

Par ailleurs, les petits cours constituent à Bamako des sources d'inondation. Par exemple, le Banconi, marigot situé à la frontière entre les communes 1 et 2, fait les frais à chaque hivernage d'un débordement qui touche les populations riveraines. Il est alimenté par les eaux de ruissellement provenant de la colline dite du point G.



Source : SigMali

Date : 25/07/2020

Auteur : DA M. Laure Carolle

Figure I-22 : Réseau hydrographique de Bamako

3.3. Facteurs topographiques et morphologiques : la végétation, le relief, les pentes et les sols

3.3.1. La végétation

Les villes de Ouagadougou et Bamako appartiennent toutes les deux à la savane soudanaise occidentale, bordée au nord par le désert et au sud par les forêts tropicales.

3.3.1.1. Ouagadougou

La forte variabilité pluviométrique et l'action anthropique avec en particulier l'urbanisation et les pressions foncières ont eu raison de nombreux couverts végétaux et de la ceinture verte de Ouagadougou. Cette dernière avait été envisagée pour protéger la capitale des vents desséchants, piéger les poussières et atténuer le ruissellement vers les barrages. Aujourd'hui, il ne reste plus que quelques bandes de cette ceinture verte qui fut morcelée en parcelles pour assouvir les appâts fonciers de certaines populations et de responsables politiques.

Les rares réserves de verdure toujours persistantes à Ouagadougou restent la forêt classée de Bagr-Weogo, celle du CNRST, et quelques espaces et jardins verts disséminés çà et là dans la ville. Globalement, la végétation a fait l'objet d'une forte dégradation au fil des années, avec une diminution importante des surfaces végétales en quantité et en qualité.

3.3.1.2. Bamako

Quant à Bamako, la végétation y est constituée à prédominance de grands arbres tels que le caïlcédrat, le karité et le manguier. Cette végétation est à l'image de la ville et des politiques d'aménagement. Ainsi, la situation des espaces verts de la ville s'est dégradée au fil du temps. Par exemple, la forêt de Koulouba, classée depuis l'époque coloniale, avait pour but de protéger la ville de Bamako contre les catastrophes naturelles et procurer à la population un air de bonne qualité. Mais aujourd'hui, elle joue beaucoup moins son rôle de protection à cause des activités anthropiques qui l'ont dégradée. En dehors de la forêt de Koulouba au sein de laquelle ont été installés le parc national du Mali, le Jardin botanique et le zoo national, quelques réserves de verdure demeurent à Bamako malgré la forte pression anthropique. Il s'agit entre autres de la zone boisée dans la zone de l'Institut d'Economie Rurale à Sotuba et de quelques jardins et espaces verts répartis dans la ville.

3.3.2. Le relief, les pentes et les sols

3.3.2.1. Ouagadougou

La ville de Ouagadougou est située sur la vaste pénéplaine centrale du Burkina Faso sur le plateau mossi. Le substratum géologique est essentiellement constitué de migmatites et de granites indifférenciés, mis en place au Précambrien. Cette formation topographique est aplanie (Figure I-23) et recouverte d'une couche relativement indurée d'épaisseur irrégulière constituée d'altérites, de cuirasses et de dépôts détritiques (SDAGO, 2019). Ces éléments limitent le processus d'infiltration de l'eau et sont à la base d'un ruissellement important des eaux de pluie pouvant engendrer des inondations.

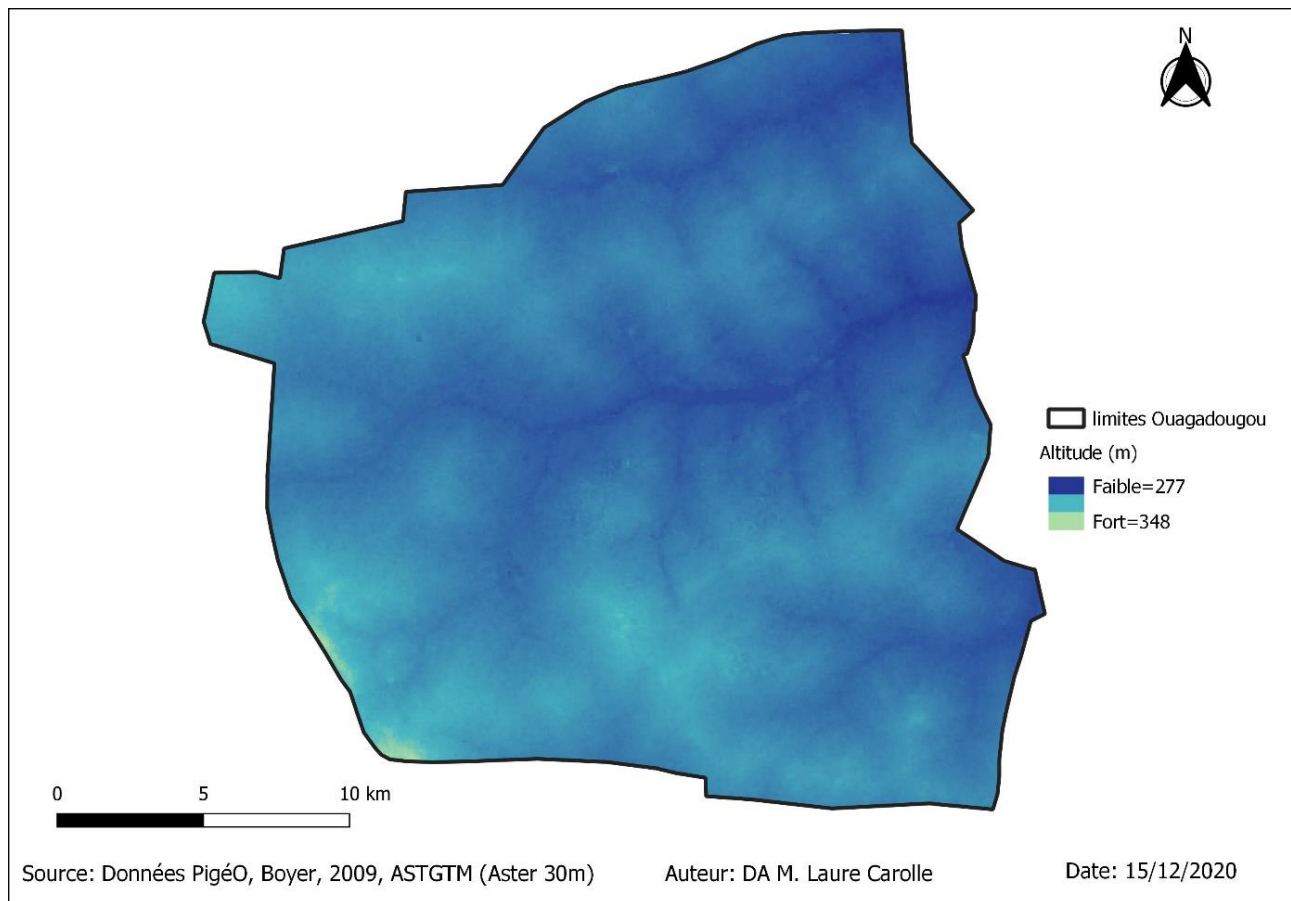


Figure I-23 : Carte du relief de la ville de Ouagadougou

Le relief peu marqué de la ville permet un étalement urbain exponentiel au détriment des zones rurales attenantes. En effet, aucun obstacle physique (colline, fleuve, etc.) ne limite l'expansion spatiale de la ville de Ouagadougou (photographie I-3) qui, pour faire face à la

croissance démographique et à la spéculation foncière, s'étend en occupant les espaces ruraux et périurbains qui l'entourent. La ville de Ouagadougou est aussi caractérisée par des terrains plats de faible pente variant entre 0,5 et 1 % qui accentuent les difficultés de drainage des eaux (figure I-24).



Photographie I-3 : La ville de Ouagadougou vue du 2^e étage d'un immeuble : une ville au relief plat

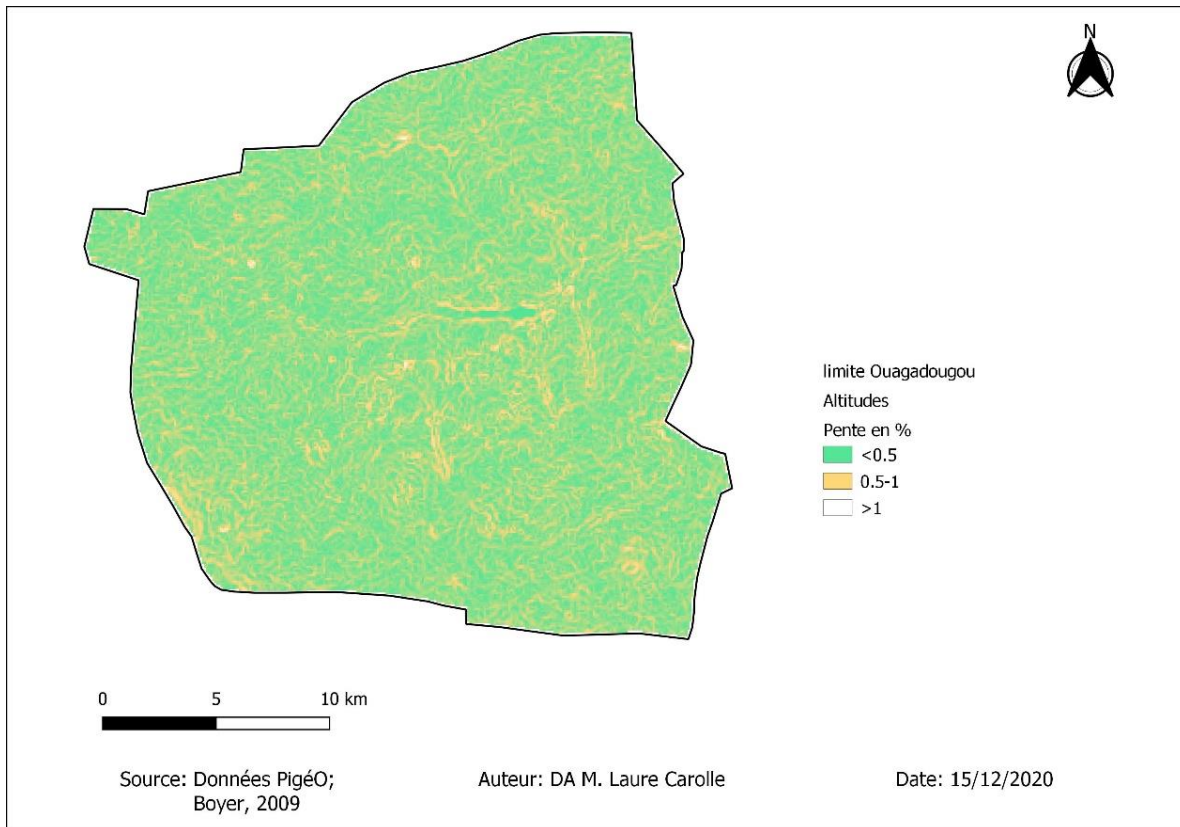


Figure I-24 : Carte des pentes de Ouagadougou

Par ailleurs, les sols sont pauvres en éléments nutritifs et possèdent une faible capacité de rétention d'eau (Kêdowidé, 2010) de l'ordre de 4 à 35 %, ce qui favorise le ruissellement superficiel. On en dénombre quatre types :

- Les sols ferrugineux lessivés de composition latéritique et argileuse empêchant l'infiltration de l'eau ;
- Les sols minéraux bruts correspondant aux cuirasses en affleurement ;
- Les solnetz ou sols halomorphes de type granitique et magmatique ;

Les sols hydromorphes localisés aux abords des barrages et des marigots avec une faible capacité de gonflement.

3.3.2.2. Bamako

Le relief de Bamako (Figure I-25) est marqué et alterne des plateaux et des collines de type granitique et rocheux qui entourent toute la ville. Le site est caractérisé par une succession de petites dépressions, de petits marigots et de zones rocheuses localisées en hauteur et qui ceinturent la ville.

La présence de tels reliefs accidentés (Photographie I-4) n'est pas sans contraintes. En effet, les cordons de reliefs représentent des obstacles à son extension censée bloquer l'urbanisation. Mais la présence de terrains accidentés surtout au Nord (Figure I-26) est loin de décourager l'urbanisation et on constate une occupation de ces zones par des constructions parfois en banco. Pourtant ces terrains sont caractérisés par des pentes plus ou moins fortes et des dépressions naturelles et artificielles en proie au ruissellement des eaux pluviales. Celles-ci provoquent une forte érosion qui est à l'origine de l'effondrement de nombreuses habitations. Cette situation dramatique est aggravée par l'insuffisance notoire des réseaux de drainage d'eaux pluviales.

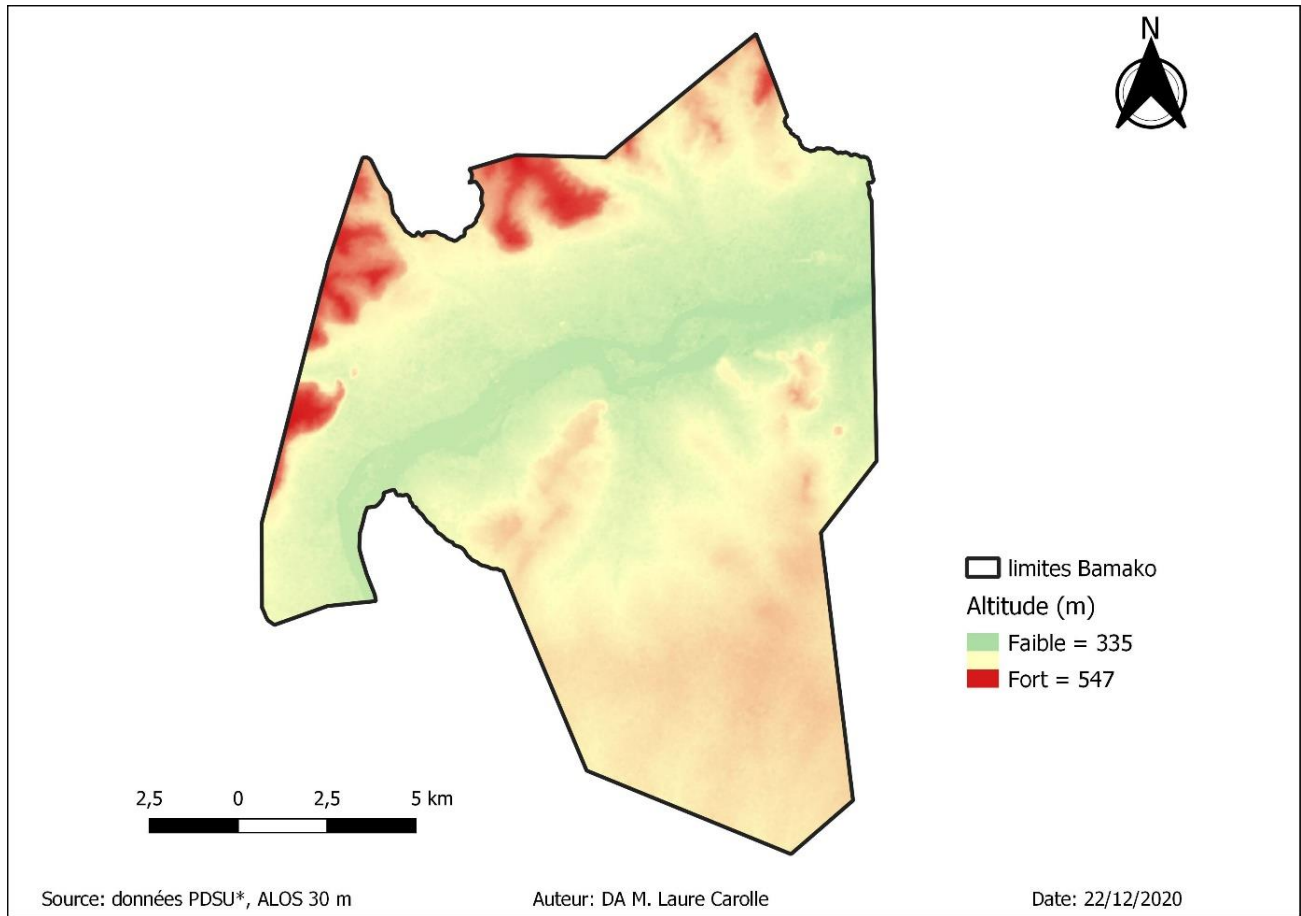


Figure I-25 : Carte du relief de la ville de Bamako



Photographie I-4 : La ville de Bamako vu du 1^{er} étage d'un immeuble : un relief marqué

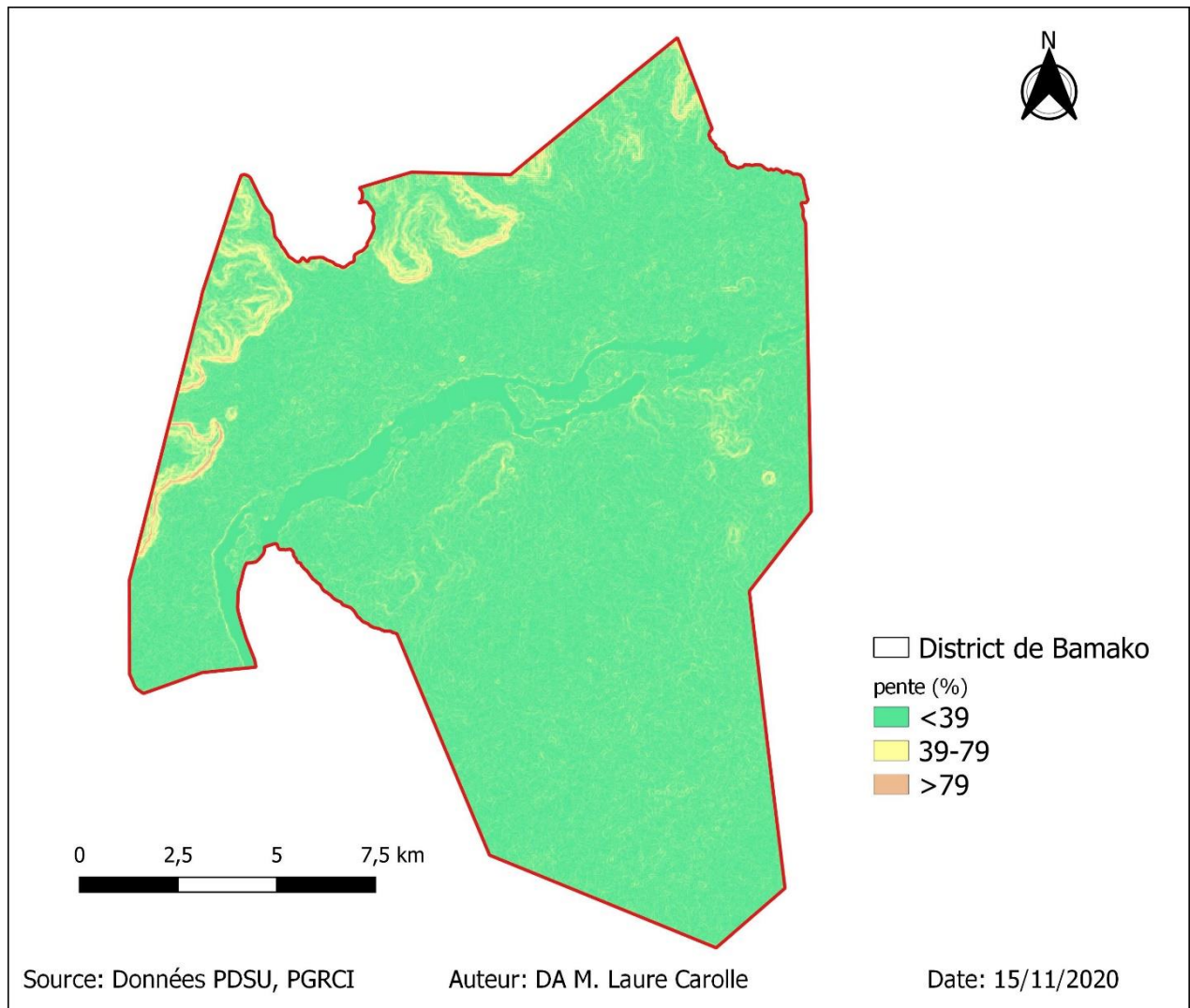


Figure I-26 : Carte des pentes de la ville de Bamako

Par ailleurs, les sols sont de trois types à Bamako :

- latéritiques : du pied des falaises jusqu'à l'altitude 330 m, on note un niveau continu de latérite de pente d'ouest en est. Son épaisseur maximale s'observe à l'ouest vers le secteur de Hamdalaye, de Missira et Banconi avec une épaisseur d'une dizaine de mètres.
- limono-sableux
- et argilo-sableux

Éléments de synthèse sur les sols à Ouagadougou et Bamako

Les formations latéritiques dures, sableuses et argileuses se rencontrent à la fois à Ouagadougou et à Bamako. Ce type de formations morpho-pédologiques présentent des contraintes

pour la gestion de l'assainissement particulièrement en zone sahélienne. En effet, ces formations se révèlent inadaptées aux installations sanitaires à faible coût telles que les fosses primaires et les puisards. L'infiltration y est rendue difficile ce qui implique que les familles déjà pauvres fassent des vidanges fréquentes. Elles ont tendance en lieu et place de la vidange à évacuer les eaux usées directement dans la rue ou dans les caniveaux à la faveur de la nuit ou de grandes pluies (Sidibé, 1993). La pauvreté n'explique cependant pas tous les comportements déviants. Il faut chercher également les raisons dans l'éducation, mais également dans la mauvaise volonté de faire effectuer fréquemment des vidanges. Dans le quartier 1200 logements de la ville de Ouagadougou, parmi les plus huppés de la ville, il nous a été donné de constater la connexion d'un ménage directement dans le caniveau à proximité, pour l'évacuation à la fois des eaux pluviales et des eaux-vannes du ménage (photographie I-5).

a- Conduite d'évacuation des eaux-vannes reliée au caniveau ; Crédit photo : auteur



b- Conduite d'évacuation d'eaux-vannes reliée à la rue ; source : <https://citeelegance.net/?p=3658>



Photographie I-5 : Exemples d'incivilité à Ouagadougou par connexion de conduite d'évacuation d'eaux vannes directement dans un canal (a-) et dans la rue (b-)

Comme on le voit, que ce soit à Ouagadougou ou à Bamako, on constate une induration des sols, caractéristique de la pédologie au Sahel. Cet encroûtement des sols au Sahel, principalement lié à la surexploitation et à la non-reconstitution des sols sableux et pauvres en matière organique est en lien avec la baisse de la capacité de rétention en eau des sols (Descroix et al., 2013). Ce phénomène limite donc l'infiltration des eaux et favorise les inondations par ruissellement pluvial.

3.4. Cadre humain et organisation urbaine

3.4.1. Évolution démographique et urbaine

En Afrique subsaharienne, l'accroissement de la population urbaine touche en majorité les pays de l'Afrique de l'Ouest et du centre. Elle était supérieure à 3,45 % en 2019 d'après la Banque Mondiale (Figure I-27).

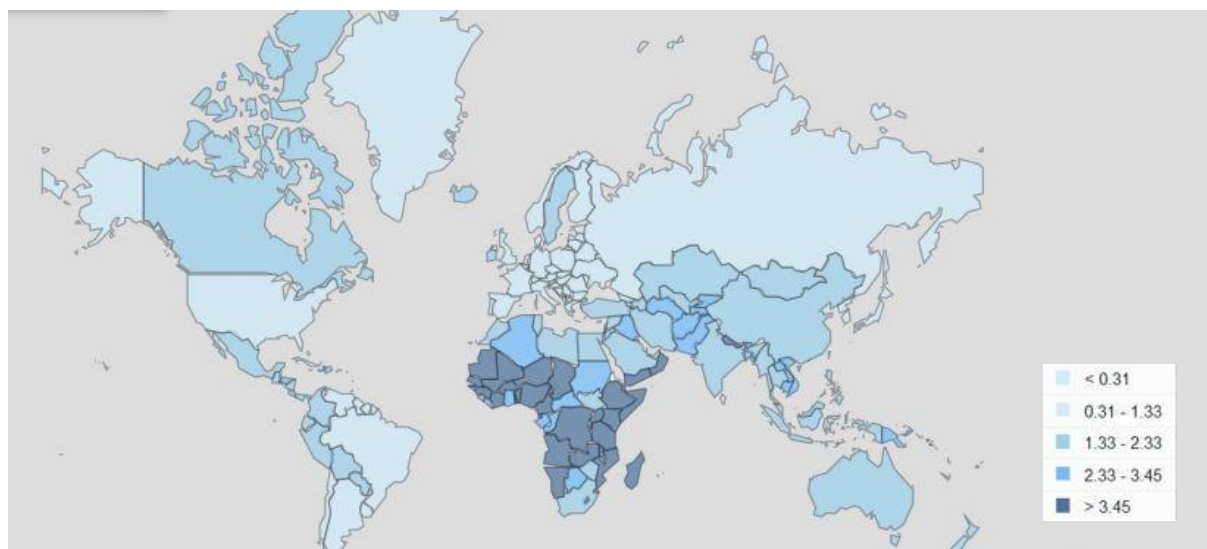


Figure I-27 : Croissance de la population urbaine (% annuel en 2019) d'après la Banque Mondiale²²

Des travaux antérieurs ont relevé que la croissance démographique urbaine est soutenue depuis les années 1950 (Michaux, 2008). D'après cet auteur, une augmentation de plus de 7 % de la population urbaine ouest-africaine a été observée entre 1990 et 2005, touchant principalement la zone sahélienne. À cause de cet accroissement de population, de l'exode rural et de la non-promotion de la verticalisation des logements par les politiques, les villes capitales de ces régions s'étendent de manière effrénée. L'expansion rapide des villes se révèle ainsi être néfaste, particulièrement pour les populations les plus pauvres qui se trouvent marginalisées et rabattues dans des zones où l'accès aux services sociaux de base laisse le plus à désirer.

²² <https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/SP.URB.GROW?type=shaded&view=map&year=2019>, consulté le 06/06/2021

3.4.1.1. Ouagadougou

Ouagadougou abrite avec Bobo-Dioulasso (2^e ville du Burkina Faso) la majeure partie de la population urbaine du Burkina Faso (62,2 % d'après le RGPH (2019)), ce qui implique de nombreux enjeux en termes de disponibilité des logements et d'extension de l'habitat spontané. La ville connaît depuis les années 1945 une croissance exponentielle (Figure I-28). Les défis se posent en termes de planification, d'aménagement du territoire et d'accès à des logements décents et sécurisés qui répondent aux normes. Par ailleurs, la population de la ville est appelée à doubler d'ici l'horizon 2030.

De 1984 à 2000, la croissance démographique et une production foncière catalysée par la Méthode d'Aménagement Progressif (MAP) ont entraîné un étalement impressionnant de l'agglomération. Cet étalement urbain a eu pour conséquence le développement d'un tissu urbain peu dense (moins de 40 habitants à l'hectare), dépourvu de services urbains, de superstructures, d'infrastructures, et peu propice à l'émergence d'une urbanisation intégrante et structurante (Commune de Ouagadougou, 2011). En 1999, la DGUTF reconnaissait que la spéculation foncière avait occupé près de 50 % des lotissements* à Ouagadougou et qu'un an après, les parcelles étaient revendues. Dans ce contexte d'étalement foncier important, une proposition de redécoupage de l'espace géographique fut faite par les Conseils Municipaux des villes de Ouagadougou sous instruction du pouvoir exécutif, faisant passer la ville à 12 arrondissements et 55 secteurs et annexant certains villages alentour.

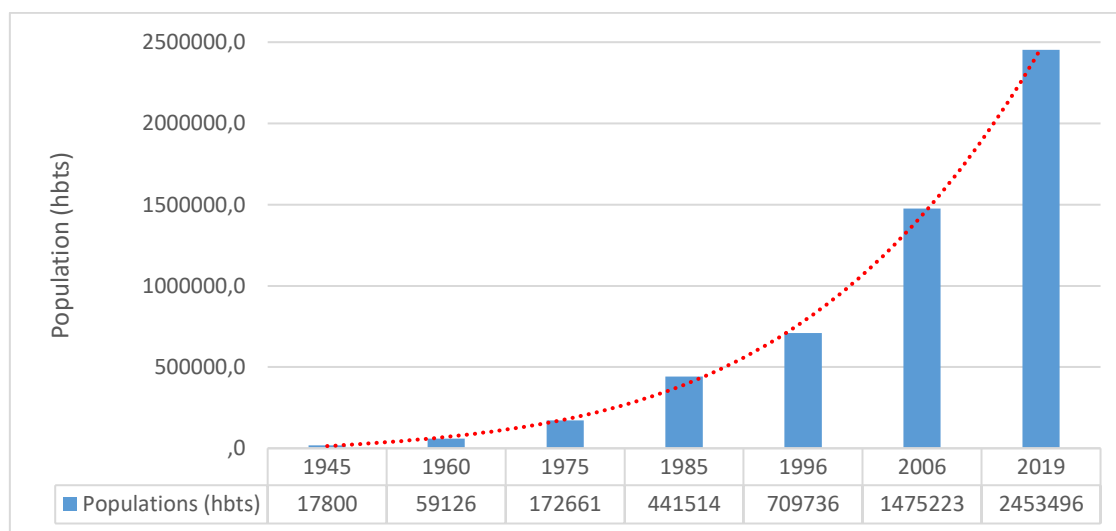


Figure I-28 : Croissance exponentielle de la population de Ouagadougou depuis 1960 (source : Guenguant (2009) ; Jaglin (1995) ; RGPH 2019 — Résultats préliminaires)

3.4.1.2. Bamako

La concentration des principales activités au niveau de la capitale et l'influence exercée par celle-ci sur son environnement immédiat et lointain ont provoqué une croissance démographique exponentielle (Figure I-29).

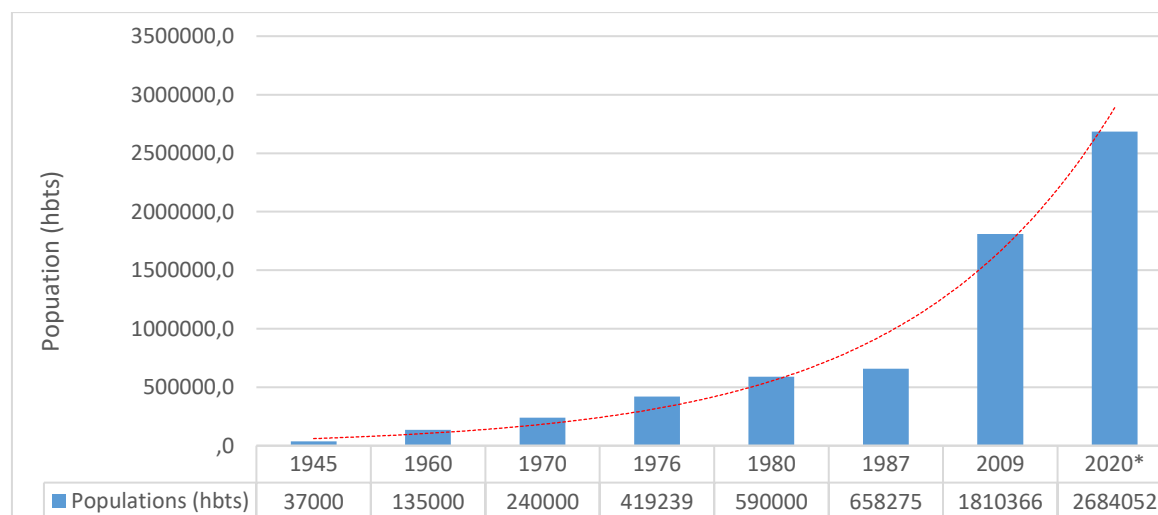


Figure I-29 : Croissance exponentielle de la population de Bamako depuis 1945 (source : Sidibé (1993), RGPH [2009])

*données de projection pour l'année 2020

Depuis les indépendances de 1960, la ville a fortement évolué en s'étendant sur les deux rives du fleuve. De nouveaux quartiers souvent spontanés ont été créés pour faire face à l'essor démographique. En effet, devant l'accès difficile aux terres, du fait des mesures mises en place par le gouvernement de Modibo Keita pour décourager l'exode rural (Keïta, 2018), des villages de Bamako de l'époque se sont transformés en quartier spontané en périphérie. La chute de Modibo KEITA et la sécheresse qui survint dans les années 1970 dans le Sahel mirent fin aux politiques de dissuasion de migration en direction de la capitale, entraînant une reprise de l'exode rural. De 240 000 habitants en 1970, la ville passa à 419 239 en 1976.

Le programme « *Sauvons Notre Quartier* », initié en 1993, permet la réhabilitation de 24 quartiers créés de façon spontanée (Programme de gestion urbaine (PGU), 2001). Localisés au péricentre et sur les deux rives, ce sont des quartiers populaires mixtes aujourd'hui caractérisés par des densités élevées de populations. D'autres types de quartiers, caractérisés par la présence de

villas, des logements modernes du style européen destinés à la location ou à une population aisée, ont été viabilisés (Figure I-30). On trouve dans cette catégorie les quartiers de Korofina Nord, d'Hippodrome ou encore de Badala-Séma. L'urbanisation a aujourd'hui atteint une vitesse de croisière avec de moins en moins de disponibilité foncière pour la réalisation d'infrastructures sociales et de logements décents, entraînant un délabrement de la ville.

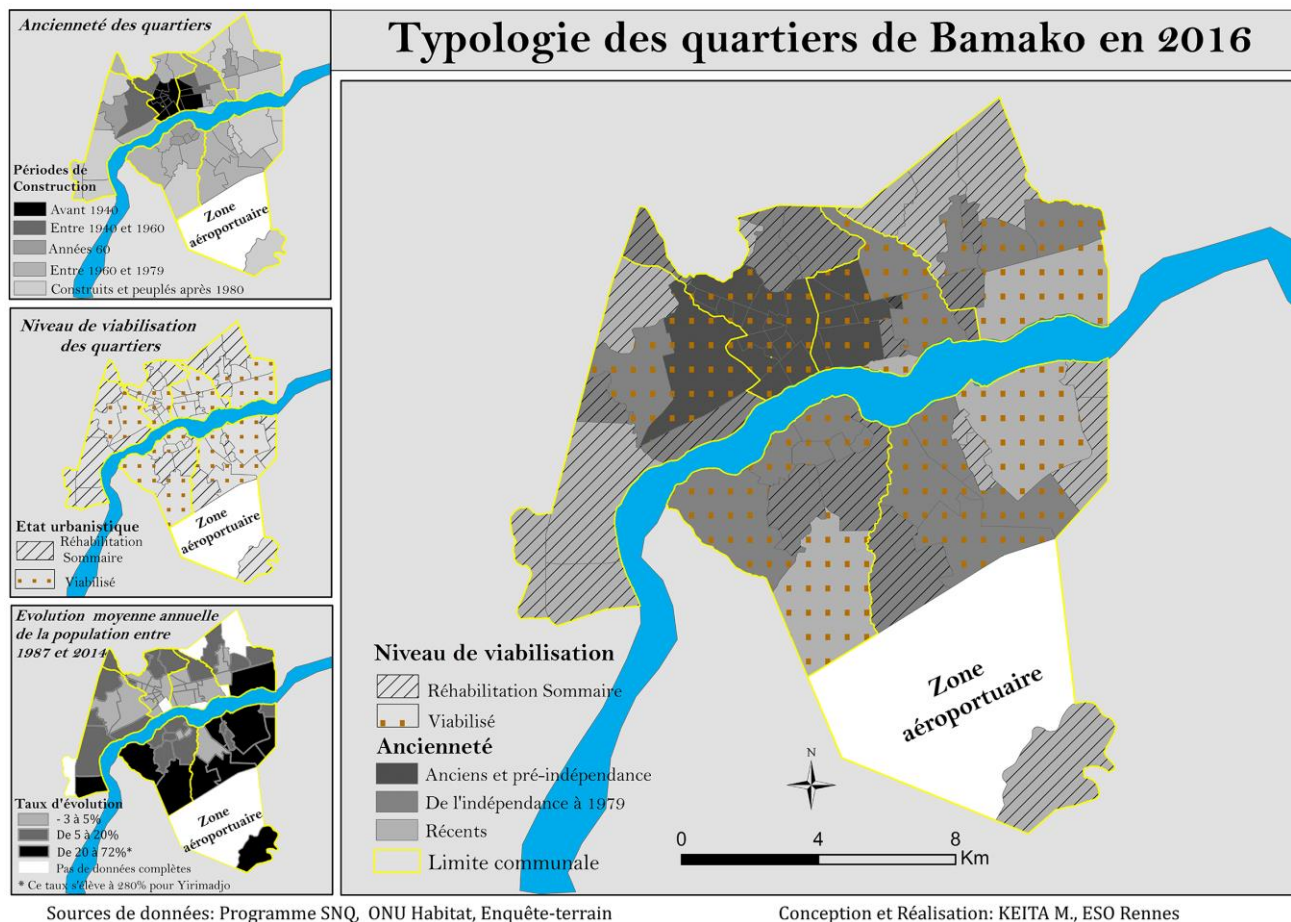


Figure I-30 : Typologie des quartiers de Bamako (source : Keita, 2018)

Devant cette raréfaction du foncier dans la ville, les espaces périphériques se voient fortement convoités et les coûts pour obtenir un logement augmentent exagérément au fil des années. Ainsi, l'obtention d'une maison d'habitation est devenue de plus en plus délicate à Bamako, car elle nécessite de remplir des conditions économiques que ne peut se permettre l'écrasante majorité de la population de la capitale, accentuant le phénomène d'habitats spontanés.

Par ailleurs, la croissance de la population de Bamako est aujourd'hui de l'ordre de 4,8 %, supplantant de loin la croissance annuelle nationale. La ville constitue le territoire le plus peuplé

du Mali avec 4 fois plus d'habitants que Sikasso la deuxième ville. Pour sûr, Bamako compte de nos jours plus de 2 millions d'habitants soit 55 % de la population urbaine du Mali, avec une densité de 76 habitants/ha.

Éléments synthétiques sur l'évolution démographique à Ouagadougou et Bamako

La forte croissance de population à Ouagadougou comme à Bamako a créé et multiplié de nouveaux besoins pour les populations sur les plans de l'habitat, du logement, de l'emploi et de la consommation. Cependant, ces besoins ne devraient pas poser de problèmes si les infrastructures et les politiques mises en œuvre étaient optimales et si les activités économiques des populations leur permettaient de se prendre en main de manière adéquate. La concentration des besoins de la population urbaine nécessite en effet la réalisation d'infrastructures urbaines dans le cadre d'une organisation cohérente de l'espace. Mais ces réalisations, devant s'effectuer dans des délais de plus en plus courts, sont incompatibles avec la faiblesse des moyens des États et des communautés urbaines. Tout cela entraîne les villes dans un processus d'extension anarchique spontanée, de densification de quartiers, de délabrement généralisé et d'installation d'unités industrielles en zone résidentielle accentuant les risques.

3.4.2. Organisation urbaine et occupation des sols

3.4.2.1. Ouagadougou

Elevée au rang de capitale des pays mossé en 1941 et comme ville de résidence permanente du Mogho Naba, roi des Mossé en 1691, la ville de Ouagadougou s'est d'abord développée autour du palais royal par regroupement de certains villages qui ont donné leurs noms à certains quartiers actuels de la ville, comme Gounghin, Laarlé, Ouidi, etc (Projet CDS, 2008). Avec la colonisation, l'organisation administrative de type municipal a vu le jour, octroyant à la ville le statut de commune mixte. Ouagadougou devient en 1974 à la fois un département, une sous-préfecture et un arrondissement. En 1983, avec la révolution, une nouvelle organisation du territoire est mise en place subdivisant la ville en 30 secteurs et cinq arrondissements. Ce découpage s'inscrivait dans une vision politique d'organisation et de gestion urbaine plus performante, tout en restaurant l'autorité de l'État dans des zones encore imprégnées par l'organisation coutumière.

À partir de 1987, avec l'avènement du Front Populaire, un nouveau processus fait son apparition amorçant la décentralisation. Ce processus consacre l'organisation du Burkina Faso en collectivités territoriales, mentionnées dans l'article 143 du Code général des Collectivités

Territoriales (CGCT). Les premières élections municipales sont organisées quelques années plus tard, le 12 février 1995. La commune de Ouagadougou connaît alors une nouvelle organisation territoriale et est divisée en cinq arrondissements à savoir Baskuy (laissez venir les tortues), Bogodogo (nom de la famille qui a fondé ce village au XIV^e siècle), Boulmiougou (Puits rouge), Nongrmaasom (Terre de Paix et de Bonheur) et Sig-noghin (descendre dans le bon coin). La loi 0055 — 2004/AN du 21 décembre 2004 fait correspondre les limites communales au département et permet le rattachement de 17 villages à la commune (SDAGO, 2019). La loi n° 66-2009/AN du 22 décembre 2009, modifiée par la loi n° 026-2012/AN du 4 juin 2012 consacre un nouveau découpage de la ville de Ouagadougou en 12 arrondissements et 55 secteurs.

Comme on le voit, le développement et l'administration de Ouagadougou ont été depuis 1932, l'objet de l'application de différentes politiques. Ouagadougou s'étend aujourd'hui sur plus de 50 000 hectares. Les collectivités territoriales, constituées de 12 arrondissements font partie intégrante de la commune de Ouagadougou, dirigée par un maire. La coexistence dans la ville des pouvoirs traditionnels et de l'autorité administrative plus moderne s'organise tant bien que mal dans la ville et n'est pas sans poser des difficultés en termes d'organisation de l'espace et d'accès à la Terre.

Par ailleurs, depuis quelques années, les terres agricoles nourricières limitrophes de la ville sont systématiquement conquises par les nouveaux citadins pour être transformées en habitations de zones non loties, lorsqu'elles n'ont pas déjà fait l'objet d'une spéculation par les pouvoirs coutumiers et les agences immobilières qui pullulent la ville. Les réserves foncières se réduisent ainsi au fil des années et sont détournées à d'autres fins parfois avec la complicité de l'administration territoriale. Par ailleurs, les basfonds constituant des zones potentiellement inondables ne sont pas en reste de la spéculation foncière au niveau de la ville de Ouagadougou. En somme, l'organisation urbaine à Ouagadougou est caractérisée par des quartiers viabilisés aux rues larges et rectilignes, situés principalement en centre-ville et une couronne périphérique occupée majoritairement par des zones non loties aux rues sinueuses et étroites (Photographie I-6).

a- Construction en zone planifiée (centre-ville) avec un tracé rectiligne (source : Google earth pro)



b-Construction en zone non planifiée (zone non lotie) avec une organisation sinueuse (source : Google earth pro)



c- Photographie de rue large avec un tracé rectiligne avec des maisons de haut standing en zone planifiée



d- Photographie de rue étroite et sinueuse avec des maisons de bas standing en zone non lotie



Photographie I-6 : Organisation spatiale à Ouagadougou : différence entre zone lotie (a-b) et zone non lotie (c-d) (source : auteur)

3.4.2.2. Bamako

La ville de Bamako fut créée en 1640 par les Niaré qui émigrèrent des monts Mandingue vers les bords du « marigot du caïman » (*Bammakô*). Ces derniers s'activeront à organiser et à peupler la cité avec la création d'un petit village de quatre quartiers (Bagadadji, Niaréla, Bozola et Dravéla), situés sur la rive gauche du fleuve Niger. À partir de 1883, avec l'installation des colons, l'armée française s'emploiera à lui donner un aspect néo-soudanais à la ville sous l'initiative du Gouverneur Terrançon de Fougère. Celle-ci connaît alors une organisation administrative influencée par la

colonisation et devient chef-lieu du Haut Sénégal-Niger en 1899, puis commune mixte administrée par un administrateur-maire en 1918 et pour finir capitale du Soudan français en 1920. En 1933, Bamako comprenait un quartier européen, huit quartiers africains (Niaréla, Bagadadji, Bozola, Médina-Coura, Dravéla, Bolibana, Ouolofobougou, Darsalam) et des villages plutôt focalisés sur l’agriculture aux alentours (Keïta, 2018). Aujourd’hui, plus d’une soixantaine de quartiers forment la capitale bamakoise. Des quartiers anciens comme Bozola, Bagadadji, Niarela, Missira, Ouolofobougou, N’Tomikorobougou, Hamdalaye et Darsalam sont actuellement surpeuplés avec une forte concentration de l’habitat. Plusieurs Bamakois se retrouvent à vivre à plusieurs sous-ménages dans la même concession, dans une promiscuité déconcertante. Il en résulte une surcharge des espaces et la pollution des rues par les eaux usées, rarement vidées par les moyens appropriés. Placée aujourd’hui sous la tutelle du ministère de l’Administration territoriale et de la Décentralisation (MATD), la mairie du district de Bamako jouit d’une plus grande responsabilité depuis le transfert des compétences et missions autrefois attribuées au gouvernorat. Tout comme Ouagadougou, l’organisation spatiale de la ville de Bamako est caractérisée par des quartiers viabilisés et des zones informelles (Photographie I-7).

a- Construction en zone planifiée avec un tracé rectiligne



b- Construction en zone non planifiée avec un tracé sinueux



c- Zone résidentielle de Baco-djicoroni avec des maisons de hauts standings source : mapio.net)



d-impasse au quartier informel TSF (source : banquemondiale.org)



Photographie I-7 : Organisation spatiale à Bamako : différence entre zone lotie et zone d’habitat spontanée

Par ailleurs, l'agriculture, l'élevage et la pêche constituent les principales activités des Bamakois, qui excellent également dans le commerce et l'artisanat. Le secteur agricole est fortement influencé par les caprices pluviométriques qui semblent s'exacerber depuis quelques années avec les changements climatiques. Plus de $\frac{3}{4}$ de la population bamakoise menait une activité informelle en 2002 (AFRISTAT, 2004). Plus récemment (en 2017), la part de l'activité informelle dans les secteurs non agricoles était toujours importante au Mali en général atteignant 85,4 % (INSTAT, 2017). Cette instabilité de l'emploi fait que les populations sont plus facilement susceptibles de sombrer dans la précarité. La pauvreté est ainsi marquée dans la capitale avec un revenu annuel par habitant estimé en 2019 à 870 dollars US, soit moins de 2 dollars par jour²³. Les populations à faible revenu sont la plupart du temps contraintes d'habiter dans des espaces illégaux, accessibles à leur moyen financier.

3.4.2. La problématique de l'habitat spontané à Ouagadougou et Bamako

Les quartiers spontanés sont des zones d'habitation créées de façon conjoncturelle par les populations urbaines à l'intérieur ou à la périphérie des villes, sans l'accord préalable de l'autorité compétente. Ces quartiers ne jouissent pas d'un découpage institutionnel normalisé et ne font pas partie du cadastre de la ville. Ils sont en général dépourvus d'infrastructures sociosanitaires même primaires et sont la plupart du temps en marge de l'administration urbaine. Ils agrandissent démesurément les villes, en leur imprimant par endroits l'allure de taudis. Ils sont habités très généralement par des personnes aux revenus modestes et des immigrants en provenance de campagnes ou d'autres contrées. L'aménagement de fosses sanitaires, s'il a lieu, ne s'effectue par rapport à aucune norme. Toilettes, cuisines et puits se disputent souvent un espace réduit où sont construits des abris dans le plus grand désordre.

Outre le fait que l'offre de logement est inférieure à la demande, une des problématiques dans les villes de Ouagadougou et de Bamako est la difficulté de concilier le droit coutumier avec les règles juridiques communes.

²³ <https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/NY.GNP.PCAP.CD?locations=ML>, consulté le 12/06/2021



Photographie I-8 : Exemple d'habitation en zones non loties à Ouagadougou, quartier Bissighin (source : auteur)

À Ouagadougou, ces quartiers se disputent les zones périphériques de la ville. Pour contrecarrer la prolifération de ces types de logements en périphérie, les autorités ont entrepris depuis quelques années d'y réaliser des cités relais. Les nouveaux lotissements concernent ainsi les zones de Bassinko et Saaba et les communes rurales environnantes comme Pabré, Zagtoui, et Loubila.

Ce type de quartier est également omniprésent à Bamako, aussi bien en son sein (comme Bakaribougou, Magnambougou et Baco-Dikoroni) que dans ses périphéries (Sebenikoro, Senouvillage...). L'habitat spontané représentait en 2001 dans la ville, 55 % des ménages malgré un puissant arsenal juridique qui n'est pas appliqué. En 2009, près d'un quartier sur trois était en zone d'habitat spontané (Tableau I-2).

Tableau I-2 : Nombre de quartiers spontanés par communes dans la ville de Bamako en 2009

Territoire	Nombre de quartiers	Dont quartiers spontanés	Nombre d'habitants en 1987	Nombres d'habitants en 2009	Superficie (ha)	Densité hab/ha
Commune I	9	4	126228	335 407	3432	98
Commune II	10	3	109352	159 805	1621	99
Commune III	23	3	95783	128 872	2325	55
Commune IV	8	4	137412	300 085	3768	80
Commune V	8	3	107383	414 668	3953	105
Commune VI	10	4	82117	470 269	8682	54
District de Bamako	68	21	658275	1 809 106	23781	76

Source : DRUH de Bamako, sur la base de la DNSI et les résultats provisoires des recensements généraux de la population et de l'habitat de 1987 et d'avril 2009

*Source : 1^{er} forum sur le développement urbain de Bamako, 2010

Globalement, on peut retenir que les zones d'habitats spontanées se développent en général au Sahel sur des zones naturelles déjà fragilisées et peu propices à l'installation urbaine (zones de basfonds, anciennes carrières...). On peut aussi retenir que ces zones se caractérisent par l'étroitesse de leurs rues, qui rendent difficile sinon quasiment impossible l'accès des véhicules de secours (Photographie I-9). L'installation des populations dans ces localités augmente ainsi leur vulnérabilité face aux inondations, ce qui classe ces territoires au sommet des zones historiquement touchées par la survenue des inondations urbaines.



a-Non lotie de Saaba ;
source : auteur



b-Bidonville de Koulouba ;
Source : Lejalon (<https://lejalon.wordpress.com>)

Photographie I-9 : Étroitesse des rues des quartiers spontanés de Ouagadougou (a) et Bamako (b)

Synthèse : Intérêts d'une étude systémique du risque inondation axée sur Ouagadougou et Bamako

Le chapitre 3 a consisté à analyser les risques au sahel à travers l'étude de deux villes semblables en bien des points, mais divergentes en termes de déterminants physiques. Il nous a permis d'aborder l'intérêt des études sur les vulnérabilités dues aux inondations dans les deux capitales sahéliennes, en renseignant sur leurs caractéristiques. Ce chapitre vient compléter le cadre de l'étude abordé dans les deux premiers chapitres de notre thèse.

On peut retenir de ce cadrage que jusqu'à présent, la stratégie prioritaire en termes de gestion des risques pour les sciences de l'ingénieur a consisté, de manière prépondérante, à la recherche d'une maîtrise des aléas, l'aléa étant alors considéré comme un élément extérieur au territoire. Pour les sciences sociales en revanche, depuis quelques années, il s'agissait de pallier le manque en se focalisant sur la vulnérabilité sociale des populations. Par exemple, les travaux de Cutter (2010) ont porté sur l'élaboration d'un cadre théorique pour la mesure de la vulnérabilité face aux catastrophes à travers l'élaboration d'indicateurs multicritères. Ses travaux se focalisent sur la prise en compte des composantes sociales, économiques, institutionnelles, sur la résilience des infrastructures et sur le capital communautaire. Mais cette analyse multicritère est effectuée à une échelle globale (échelle des États-Unis) et est donc par essence moins précise pour les gestionnaires locaux. En effet, comme nous l'avons montré dans ce chapitre 3 pour le cas sahélien, chaque ville possède ses particularités qui peuvent influencer plus ou moins fortement sur la vulnérabilité. Aussi, la vulnérabilité liée à l'aléa n'a pas été spécifiquement mentionnée dans l'analyse de Cutter.

Même lorsque quelques rares travaux couplaient les deux aspects (analyse de l'aléa et analyse de la vulnérabilité sociale des populations) comme c'est le cas pour les travaux de Barroca et al. (2005) en France, quasiment aucune recherche ne s'est penchée en plus sur une étude comparative entre deux villes. En effet, la littérature révèle que lorsque la comparaison entre villes est faite, elle ne tient généralement compte que d'un seul aspect de la vulnérabilité. Par exemple, Nouaceur et Gilles (2013) ont mené une étude comparative en prenant comme terrain d'étude Nouakchott en Mauritanie et Ouagadougou, mais ne sont pas allés jusqu'à la caractérisation de la vulnérabilité biophysique liée aux champs d'inondation. Ils ont plutôt étudié la démographie et l'urbanisation comme facteurs amplifiant la vulnérabilité dans un contexte de changement climatique.

Globalement, nous pouvons retenir que plusieurs études ont été effectuées sur les inondations au Burkina Faso, au Mali et en zones sahéliennes en général à la fois dans le cadre de mémoires (Samari, 2011 ; Bronfort, 2017), de thèses (Hingray, 1999 ; Bouvier, 2004 ; Soma, 2015) ou d'articles scientifiques (Hangnon et al., 2015 ; Bani et Yonkeu, 2016). Dans ces études, les inondations sont abordées sous des angles différents. Certaines traitent de la modélisation de l'aléa et des champs d'inondation résultants (Bouvier et al., à paraître) ou se limitent à l'analyse du régime pluviométrique (Halimatou et al., 2017). D'autres se penchent plutôt sur les aspects sociaux de la vulnérabilité et/ou les capacités d'adaptation des populations aux catastrophes dans un contexte de changement climatique (Mara, 2010). Mais rares sont les études qui ont couplé ces différents aspects (aspects physique et social) dans une même recherche. Les recherches sur les risques se sont ainsi longtemps focalisées sur l'analyse de l'aléa d'une part ou des vulnérabilités en termes de pertes économiques et de localisation des enjeux vulnérables d'autre part, sans forcément avoir une approche systémique et pluridisciplinaire (Texier, 2009).

Même si l'apport des travaux déjà effectués à Ouagadougou, à Bamako et dans la zone sahélienne en général est réel, il reste que ceux-ci ont laissé un vide scientifique concernant l'étude des enjeux sociaux et physiques en lien avec l'aléa. D'où notre proposition d'effectuer des recherches dans ce sens en faisant une analyse multicritère et en tenant compte en plus, de la gestion institutionnelle des espaces urbains comme facteurs pouvant aggraver les inondations.

Le choix de travailler sur deux villes (Bamako et Ouagadougou) est motivé d'une part par la centralité de ces villes du fait de leur statut de capitale de pays sahéliens. D'autre part, cette comparaison entre deux villes de pays sahéliens permet de mettre en lumière les pratiques favorables à une bonne gestion et de faire profiter chacun des pays, d'un retour d'expérience avantageux. La prise en compte de l'angle régional et des similitudes climatiques permet également d'améliorer l'analyse pluviométrique par une fusion des informations disponibles. De plus, elle offre la possibilité d'explorer les avantages pour une ville comme Bamako d'accéder à des informations quantitatives précoces sur les pluies qui se propagent vers la ville depuis le Burkina, dans une région favorisée par les vents est-ouest.

Conclusion Partie I

La première partie de notre travail a consisté à poser les bases de notre étude en termes de compréhension des différents concepts, de mobilisation des outils méthodologiques et de cadrage de la zone d'étude.

Une revue de littérature sur les techniques d'analyse de la vulnérabilité nous a permis de sélectionner une méthode d'analyse systémique (cf. annexe 19) pour comprendre la vulnérabilité au niveau des deux capitales. L'État de l'art a ainsi servi à mettre en évidence la diversité d'outils et d'approches mobilisables pour appréhender le risque et la vulnérabilité d'un territoire. Pour November (2002), ces approches peuvent être regroupées en 6 principaux groupes. Il s'agit des approches axées sur les représentations sociales du risque, des approches incluant une représentation graphique du risque (approches cartographiques) et des approches normatives (qui fixent un seuil de risque à ne pas dépasser), probabilistes (qui sont liés aux lois d'occurrence d'aléas et à la mise en œuvre de périodes de retour), assurantielles (qui associent une valeur économique au risque), et sécuritaires (qui étudie les mesures de préventions et de réparations).

Adoptant une volonté de systématisation de la vulnérabilité, nous avons opté pour l'utilisation de plusieurs de ces approches de manière synchronisée, afin de rendre compte de la vulnérabilité à Ouagadougou et à Bamako. Ainsi, l'approche par la représentation graphique et par les représentations sociales a été combinée aux approches probabilistes, normatives et sécuritaires. Nous revenons plus en détail sur ces aspects dans les autres parties de la thèse.

L'état des lieux du milieu physique et humain des villes de Ouagadougou et de Bamako nous a permis de toucher du doigt plusieurs éléments importants. Concernant le cadre de vie, des contraintes importantes sont relevées sur le territoire. Elles concernent le développement anarchique de l'habitat et l'expansion spatiale galopante des villes, tous deux liés à une croissance exponentielle de la population, mais surtout à un manque de planification urbaine. Ceux-ci favorisent la survenue de catastrophes naturelles aux conséquences dramatiques pour les populations. Ces contraintes ont trait aussi à l'installation de périmètres industriels au milieu des habitations, entraînant une dégradation du cadre de vie et augmentant la probabilité d'occurrence de risque nat-cat. Concernant l'équipement urbain, on note un déficit majeur en matière d'infrastructures d'assainissements, la prolifération de dépotoirs anarchiques et la quasi-absence de traitements des effluents industriels et artisanaux, sources de pollution. La pollution urbaine est

également exacerbée par le comportement incivique des populations qui participent à la dégradation environnementale en rejetant leurs eaux usées en ville.

Ouagadougou et Bamako se sont révélées, après analyse, être des points focaux au niveau de leurs pays respectifs et de la sous-région ouest-africaine en particulier. Cela se remarque du fait d'abord de leur statut de capitales africaines qui concentrent de fortes populations et d'importants enjeux, et dans une moindre mesure, du fait des échanges commerciaux que leur centralité permet. Les deux capitales sont donc des points importants de convergence d'enjeux économiques et des lieux de rencontre d'un grand nombre de populations diversifiées du Sahel, d'où l'intérêt d'une analyse de la vulnérabilité dans ces villes.

En somme, cette vulnérabilité est liée aux processus physiques, environnementaux, sociaux et économiques d'après le Bureau des Nations Unies pour la réduction des risques de catastrophes. Ces processus augmentent la sensibilité d'un individu, d'une communauté, de biens ou de systèmes aux impacts d'un aléa. L'analyse de la vulnérabilité d'un système dans une approche systémique devrait par conséquent aborder tous ces quatre aspects. C'est ce que nous tentons de faire à travers les deux parties qui suivent et qui concernent l'analyse de la vulnérabilité physico-environnementale et socio-économique à Ouagadougou et à Bamako.

PARTIE II. VULNÉRABILITÉ PHYSIQUE ET ENVIRONNEMENTALE : DEUX CAPITALES SAHÉLIENNES SOUS LES EAUX

« Ce qui est simple est toujours faux et ce qui est compliqué est inutilisable » Paul Valery

Introduction

La vulnérabilité physique d'un territoire aux inondations comprend ses caractéristiques géomorphologiques et climatiques et est en lien avec son exposition à un aléa d'origine pluviométrique ou fluviale. Il s'agit du type de vulnérabilité le plus étudié par les sciences de l'ingénieur, car son analyse a pour finalité la mise en place de mesures de protection aléa centré.

L'analyse de la vulnérabilité physique ne peut être réalisée de manière efficace en occultant la composante environnementale en lien avec les écosystèmes. Nous avons donc décidé d'analyser dans cette deuxième partie la vulnérabilité physico-environnementale de Ouagadougou et de Bamako que nous désignons par vulnérabilité biophysique²⁴.

Nous présentons cette deuxième partie de la thèse en adoptant le mode d'écriture IMRaD ou *IMReD* en anglais (Introduction, Méthodes, Résultats et Discussion). Cette présentation s'écarte du mode d'écriture traditionnel observé en géographie. Cependant, elle est de plus en plus exigée par les revues scientifiques internationales spécialisées dans les risques²⁵, à cause de ses nombreux avantages. En effet, *le "IMRAD" est une opportunité en termes de précision et de pragmatisme* (Loba, 2020) pour la rédaction scientifique, même si elle exige une plus grande adaptabilité de la part du chercheur pour des travaux de grande envergure comme les thèses.

Suivant ce mode de présentation IMRaD, nous abordons dans le premier chapitre de cette deuxième partie les aspects méthodologiques déployés pour la compréhension de la

²⁴ Pour plus de précisions sur la vulnérabilité biophysique, le lecteur pourra se reporter au chapitre 1 section 1.1.1.2

²⁵ Nous pouvons citer par exemple l'International Journal of Disasters and Risk research, qui mentionne clairement le modèle IMReD dans sa note aux auteurs. Nous notons également quelques travaux de thèse, en géographie du risque et en science de l'eau en lien avec les inondations, élaborés partiellement ou totalement selon cette méthode d'écriture (Hostache, 2007; Tanguy, 2016; Texier, 2009; Verlynde, 2018).

vulnérabilité physique à Ouagadougou et à Bamako. Ce chapitre (chapitre 4) s'appuie sur les différentes méthodes présentées dans la première partie de la thèse (chapitre 2) et présente en détail le choix méthodologique adopté. Il s'agit d'une part d'aborder les méthodes d'analyse de l'aléa pluvieux au travers de l'étude des inondations historiques et des extrêmes pluviométriques. D'autre part, l'analyse de la vulnérabilité biophysique est effectuée sur la base d'une approche déductive axée sur la sensibilité à l'endommagement. Une partie portant sur l'intérêt de l'approche mobilisée vient clore le chapitre.

Le deuxième chapitre (chapitre 5) présente les résultats de l'analyse des inondations historiques et des extrêmes pluviométriques et les met en lien avec les résultats de l'analyse de la vulnérabilité physique et environnementale. L'aléa inondation est présenté à travers les inondations historiques et les extrêmes pluviométriques. Ces extrêmes permettent de vérifier que les inondations qui se sont déroulées à la fois à Ouagadougou et à Bamako sont moins le fait d'une pluviométrie intense que de facteurs physiques et anthropiques. En effet, des études réalisées à Ouagadougou et dans d'autres villes africaines comme Niamey et Cotonou ont déjà abondé dans ce sens. Il s'agissait pour nous de confirmer cet état de fait pour les deux villes d'étude en utilisant des chroniques pluviométriques plus longues et des données d'archive plus complètes. À Bamako, aucune étude à notre connaissance n'a été réalisée sur la prédictibilité temporelle des pluies. La plupart des auteurs ayant travaillé sur les inondations ou les régimes hydrologiques dans la ville se sont intéressés à l'analyse des débits (Diawara et al., 2019), au bilan post catastrophe (O. Dembélé & Ouattara, 2019), à l'analyse des tendances pluviométriques (Halimatou et al., 2017) ou à l'intérêt des plaines d'inondation pour l'agriculture (Mariko, 2003). Notre thèse constitue donc une innovation dans ce domaine. Une partie synthèse permet de clore le chapitre 5 en discutant les résultats obtenus au regard de la littérature.

Chapitre 4. Comprendre l'aléa inondation et la vulnérabilité biophysique : une démarche adaptée à Ouagadougou et Bamako

Introduction

Ce chapitre présente la méthodologie utilisée pour mieux appréhender l'aléa inondation et la vulnérabilité biophysique des villes de Ouagadougou et de Bamako. Elle s'inscrit dans une démarche top-down (Cf chapitre 1.1.2.2).

Dans un premier temps (section 4.1), nous consacrons notre étude à la matérialité spatiale et temporelle du risque inondation dans les villes de Ouagadougou et de Bamako. L'approche géohistorique utilisée dans ce cadre est présentée et permet d'appréhender le risque à travers l'analyse des événements. Cette approche est intéressante car elle permet de confronter la réalité du risque avec les logiques de vulnérabilisation humaine et organisationnelle des territoires d'étude (Le Duff et al., 2019).

Dans un deuxième temps (section 4.2), nous présentons les méthodes d'analyse des chroniques pluviométriques des deux villes. Il s'agit d'adopter une démarche permettant de faire ressortir les extrêmes pluviométriques et de les croiser avec les phénomènes d'inondation observés sur le territoire. L'idée est d'analyser si l'évolution de l'aléa pluviométrique peut avoir contribué à l'augmentation récente du risque hydrologique au Sahel et dans les villes de Ouagadougou et de Bamako en particulier. La méthodologie utilisée est celle de l'analyse d'indicateurs climatiques permettant de décrire l'évolution de la pluviométrie (Bodian, 2014; Hountondji et al., 2011; Ozer et al., 2017; Sarr et al., 2013) et l'évolution des séquences extrêmes (périodes sèches, ou humides) (Barké & Salifou, 2015; Koumassi et al., 2014).

Dans un troisième temps, les aspects physiques du territoire sont étudiés et combinés pour faire ressortir les zones susceptibles d'être impactées par l'aléa inondation du fait de leurs caractéristiques physiques. L'approche déductive d'analyse de la sensibilité à l'endommagement est utilisée du fait des difficultés d'accès aux données physiques des deux territoires. Les différents facteurs identifiés dans la littérature comme susceptibles d'impacter sur la vulnérabilité biophysique sont standardisés en utilisant la technique de transformation par échelle de notation abordée au chapitre 2, Partie I (section 2.3.1.2).

4.1. Approche cartographique de l'aléa historique

L'évolution spatio-temporelle des inondations a été appréhendée dans notre étude par la réalisation d'une analyse géohistorique. Celle-ci permet de révéler les facteurs réels de vulnérabilité d'un territoire à travers l'analyse de la temporalité et de la spatialité du risque inondation. Cette approche correspond à la reconstitution d'événements chronologiques passés que l'on tente de spatialiser et s'appuie sur le recueil de données issues de sources variées archivées. Elle se révèle un complément intéressant aux méthodes d'analyse du risque fondée sur la topographie.

4.1.1. Intérêt d'une analyse historique pour la représentation spatiale des inondations à Ouagadougou et à Bamako

L'approche géohistorique des inondations est une méthode qui a présenté son intérêt à la fois scientifique et opérationnel dans plusieurs localités du monde : au Cameroun (Bruckmann et al., 2019), dans les Alpes en France (Le Lay & Rivière-Honegger, 2009), en Nouvelle-Calédonie (Le Duff et al., 2019), au Viêt Nam (Ngo, 2014)... L'exploitation des données historiques représente en effet un moyen intéressant pour la détermination des zones inondables d'un territoire. Ces données peuvent se révéler primordiales pour le calage des modèles hydrologiques et hydro-géomorphologiques.

En France d'ailleurs, une base de données historique sur les inondations (BDHI) recense et décrit les phénomènes d'inondation remarquables survenus sur le territoire au cours des siècles passés jusqu'à aujourd'hui. C'est une base de données documentaire faisant suite aux recommandations de la Directive inondation de l'Union européenne qui est gratuitement accessible en ligne²⁶.

Ce type de base de données est cependant difficilement opérationnel au Sahel même si des tentatives de mises en œuvre sont de plus en plus réalisées. On note en effet un intérêt certain pour la prise en compte des inondations passées à travers la multiplication d'études à l'échelle des pays au niveau institutionnel (voir Base de données du CONASUR) (Pierre Louis et al., 2017) et en hydrologie (Kaboré 2016 ; Soma 2015). Mais ces études ne sont pas envisagées de la même façon dans le Sahel et entre Ouagadougou et Bamako en particulier. Nous n'avons par exemple pas pu répertorier d'études géohistoriques spécifiques sur les inondations dans la ville de Bamako.

²⁶ <https://bdhi.developpement-durable.gouv.fr/exploreur>, consulté le 15 mai 2020

Pour pallier le manque de bases de données historiques sur les inondations, les données issues de la presse peuvent être utilisées. Ce sont des sources non négligeables et pertinentes dans le contexte des pays en développement, car elles permettent de fournir de l'information en l'absence d'archives dédiées aux catastrophes naturelles (Bruckmann et al., 2019; Comby & Lay, 2011).

L'historique des inondations peut se baser sur l'existence de témoignage dans les documents de presse et dans la littérature grise et scientifique sur des faits d'inondation.

L'existence d'un témoignage sur les inondations, quel qu'il soit dépend de l'intérêt que son auteur a eu sur l'évènement concerné et du territoire d'occurrence de cet évènement (Cœur, 2012). La récurrence des phénomènes naturels est un constat fait partout dans le monde et le Sahel n'est pas en reste. Cependant depuis quelques décennies, ces évènements semblent intervenir à un rythme plus soutenu et avec des intensités plus dévastatrices. Au Sahel, le phénomène d'inondation est ancien et fréquent, et à travers l'histoire, l'on compte par dizaines le nombre de fois où les villes ont été inondées.

Ainsi, Ouagadougou a connu dans son histoire de nombreuses inondations avec des impacts socioéconomiques et environnementaux remarquables. Cependant, à notre connaissance, aucune base de données n'existe à l'échelle de la ville au niveau institutionnel pour recenser ce type d'évènements. Le Conseil National de Secours d'Urgence (CONASUR) du Burkina fait un recensement des sinistrés par inondation, mais l'échelle d'enregistrement reste grossière (échelle régionale et par province) sans permettre de déterminer les secteurs urbains touchés. De plus, ce recensement n'a été introduit dans une base de données nationale que depuis 2006. Par ailleurs, la base de données disponible en ligne n'a plus été mise à jour depuis 2014.

Au Mali, on note l'absence de base de données sur les inondations alors que la connaissance des évènements passés est un élément important de la gestion après crise, car elle intervient dans le retour d'expérience et les réflexions pour la mise en place de mesures qui soit adaptée au contexte local. La directive européenne 2007/60/CE demande d'ailleurs pour cette raison que soit systématiquement prise en compte l'information sur les inondations passées dans la définition des phénomènes (Chapitre 2 - Article 4 de la Directive inondation de l'Union européenne²⁷). Alors que sous d'autres cieux les connaissances recherchées sont remontées à l'horizon du siècle, dans la sous-région ouest-africaine remonter à quelques dizaines voire

²⁷ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=celex%3A32007L0060>, consulté le 15 mai 2020

vingtaines d'années relèvent de l'exploit. C'est pour remédier quelque peu à ces insuffisances que nous avons engagé l'analyse d'un ensemble diversifié de sources documentaires susceptibles de contenir ces données historiques.

4.1.2. Approche méthodologique de collecte de données historiques

La méthodologie choisie est celle développée dans le cadre de la mise en œuvre de la Base de données historique sur les Inondations (BDHI) de Fance (Cœur, 2012). C'est une base de données historiques qui rassemble plusieurs types de données sur les phénomènes physiques d'inondation, les impacts humains, socio-économiques, environnementaux, culturels et la description de la gestion et des suites des événements. Il s'agit d'une base de données fonctionnelle, actualisée et étendue dans le temps sur les inondations historiques de la période du Moyen-Age à nos jours. Toutes ces qualités justifient notre intérêt pour cette base de données.

La méthodologie développée pour mettre en place cette BDHI a suivi cinq étapes que nous avons adaptées pour la réalisation de l'analyse géohistorique à Ouagadougou et Bamako. Il s'agissait de dresser la liste des informations recherchées, d'analyser l'état général des sources, de procéder à la consultation de documents et d'archiver les données.

a- Dresser la liste des informations recherchées

Il s'agit de fixer clairement la zone d'étude, la période d'analyse, les thématiques recherchées et les sources de données.

- **la zone d'étude**

Les secteurs d'étude concernent les deux capitales Ouagadougou et Bamako ainsi que les communes rurales ou villages environnants. L'inclusion des communes environnantes répond au besoin de tenir compte de l'évolution horizontale des deux capitales au fil du temps. En effet, la dynamique des deux villes a eu pour effet l'absorption de certaines zones périurbaines alentour, ce qui a conduit depuis quelques années à les inclure dans le périmètre urbain. C'est le cas par exemple pour les zones de Bissighin et Yagma à Ouagadougou, qui avant les années 2012 ne faisaient pas partie du périmètre urbain de la ville, mais qui depuis lors ont été intégrés comme quartier de Ouagadougou. Nous nous intéressons à la fois aux secteurs et aux quartiers inondés, aux zones remarquables mentionnées, ainsi qu'à toutes les zones parcourues par le réseau hydrographique de la ville et susceptibles d'avoir connu des inondations.

- **la période**

L'accent est mis sur les événements qui se sont déroulés au lendemain des indépendances (recherche des inondations de 1960 à nos jours). Cette période nous semble adéquate pour un début d'étude en ce sens que les chroniques pluviométriques disponibles pour la zone ouest-africaine ne vont généralement pas au-delà d'un siècle. Elle remonte pour les plus anciennes à la période coloniale. Même si la période post indépendance était visée, certaines contraintes liées à la disponibilité des données ont limité l'analyse.

- **les thématiques**

Les informations recherchées concernent la description du phénomène, la reconstitution de chroniques d'événements, la description des impacts humains, l'analyse des comportements des sociétés face à ces événements et le mode de gestion de l'inondation (mobilisation des autorités c'est-à-dire prévision, alerte, secours, réparations, mobilisation et vécu des populations).

- **les sources**

Nous nous sommes intéressé à la documentation conservée dans les services nationaux burkinabè en charge des études et de l'information sur l'Eau (DEIE), de la gestion des cours d'eau (DGRE) ou de la prévention du risque d'inondation (CONASUR), ainsi que les données présentes au centre de documentation de l'IRD/Ouaga, dans les bibliothèques de l'institut 2iE et de l'université de Ouagadougou. Il s'agissait d'effectuer une synthèse historique des inondations dans les deux capitales, fondées sur des articles scientifiques et la littérature grise. Ainsi, les travaux à caractères scientifiques et techniques, les études et publications diverses édités ou non, les données de presses, les archives privées, et dans une moindre mesure les témoignages recoupés ont été recherchés. Les bases de données EM-DAT, Dartmouth Flood Observatory (DFO) et BD CATNAT (Base de données sur les catastrophes naturelles) ont également été consultées. Les données internet ont aussi été analysées du fait des difficultés d'accès et de mises à disposition des documents papier dans certaines structures visitées, de l'archivage pas toujours approprié dans les services et de la disponibilité de nombreux documents directement sur internet sans avoir à se déplacer. Ces données ont été privilégiées pour la ville de Bamako du fait du temps limité de nos mobilités dans la ville.

b- Analyser l'état général des Sources (EGS)

L'EGS a servi à établir un état-référence afin de planifier le reste de la collecte. Pour ce faire, nous nous sommes fondée sur les travaux de Pierre Louis et al. (2017) pour ce qui

concerne la ville de Ouagadougou. Selon ce rapport, la capitale burkinabè a connu en 25 ans (1991 à 2015), 19 inondations. Nous avons complété la liste avec les données fournies par l'étude de Soma (2016) et de Kaboré (2016) et les différentes sources consultées. Pour la ville de Bamako, aucune base de données de référence n'était disponible pour commencer l'étude.

c-Procéder à la consultation des documents

Nous hiérarchisons les documents en considérant les articles de presse et les rapports d'institution comme étant prioritaires. Nous avons identifié les événements historiques en analysant des données de presses issues de plusieurs journaux. Pour la ville de Ouagadougou, il s'agissait entre autres des journaux principaux que sont « Le Pays », « L'observateur paalga » et « Sidwaya », auxquels nous avons ajouté les articles de sites de presses en ligne tels que LeFaso.net, faszine.com, aouaga.com, sidwaya.bf, burkina24.com, fasonews.com et laborpresse.net. La période couverte par les données recueillies s'étend de 1986 à 2020 pour la ville de Ouagadougou. Pour la ville de Bamako, il s'agissait principalement des journaux en ligne comme Jeune Afrique, abamanada, Maliactu, maliweb.net, Malijet.com et niarela.net.

Au total, 700 articles de presse en ligne ont été d'abord enregistrés sur zotero, puis épiluchés pour réaliser la revue historique des inondations à Ouagadougou et à Bamako. Pour la presse écrite, les archives de la bibliothèque de l'IRD ont été utilisées. La photographie II-1 montre un exemple de journaux consultés. Aussi, le tableau II-1 montre les années archivées par type de journal au niveau de la bibliothèque de l'IRD :



Photographie II-1 : Première page d'un journal mentionnant des inondations en 1996 à Ouagadougou (source : auteur/Bibliothèque de l'IRD Ouagadougou)

Tableau II-1 : Information sur les articles de presse papier consultés dans le cadre de l'analyse géohistorique

Nom de Journal	Périodes de parution	Années archivées consultées
Sidwaya	Quotidien	1986 - 2019
Lepays	Quotidien	2014-2018
L'observateur Paalga	Quotidien	1979-2016

Malgré quelques insuffisances, l'enquête archivistique nous a permis de constituer un corpus non négligeable de données sur les inondations survenues à Ouagadougou et à Bamako depuis les années 1960.

Les données historiques ont été complétées par l'étude de la base publiée par « *the Dartmouth Flood Observatory* », EM-DAT et par des articles de plusieurs sites institutionnels retrouvés sur internet. Nous avons ainsi procédé par une identification par mot-clés sur le moteur de recherche Google d'articles institutionnels mentionnant des inondations dans notre zone d'étude. La documentation en format papier et les autres types de documents consultés notamment les articles d'institutions internationales (en ligne et en format papier) n'ont pas fait l'objet d'un comptage de notre part du fait de leur diversité et de leur grand nombre.

d-Archiver les données

Les dates des évènements pluvieux ainsi que les quartiers et lieux dits touchés et mentionnés dans les articles ont été répertoriés sur tableur Excel. De même, d'autres données en lien avec le nombre de victimes recensées et les mesures envisagées par l'autorité ont également été enregistrées, suivant une grille d'analyse inspirée des travaux de Bruckmann (2019) et reprise dans le tableau II-2. Le remplissage de cette grille a cependant été confronté à certaines limites. En effet, les informations présentes dans les différents documents à propos des inondations diffèrent en fonction des sources. Aussi, on observe une variation d'informations en fonction des journaux, des auteurs et des périodes de rédactions. Ainsi, pour certaines inondations répertoriées, certaines colonnes de la grille d'analyse n'ont pu être complétées par manque d'informations. La grille d'archivage est subdivisée en 4 grandes parties (Tableau II-2) :

- une colonne de métadonnées qui recueille des informations sur le journal (n°, date, page) ou le texte consulté ainsi que la date de l'évènement et le lien internet le cas échéant
- une colonne sur l'extension spatiale qui recueille des informations sur les zones impactées par l'inondation (commune, quartier, lieu-dit, secteur...)

- une colonne sur l'intensité qui mentionne le type d'inondation, l'hydrométrie et la pluviométrie ainsi que les facteurs aggravants (assainissement pluvial, gestion des déchets...).
- une colonne sur la gravité qui recense le nombre de sinistrés, de blessés et de disparus ainsi que les dommages et les actions des autorités.

Tableau II-2 : Modèle de grille d'archivage de l'information par évènement dans le cadre de l'analyse géohistorique

Métadonnées		Extension spatiale		Intensité			Gravité			
N°	Date	Référence	Lien	Communes, Lieux-dits, Secteurs, Quartiers touchés	Type d'inondation	Hauteurs, durées et débits associés	Facteurs aggravants associés	Dommages aux personnes (décès, blessés, sinistrés)	Dommages aux biens (matériels, économiques...)	Actions des autorités

4.1.3. Exploitation cartographique des données historiques

Les différents quartiers et lieux-dits mentionnés pour chaque inondation ont servi pour la réalisation de la carte historique. L'unité spatiale de représentation est le secteur pour la ville de Ouagadougou et le quartier pour la ville de Bamako. Le niveau secteur a été sélectionné pour la ville de Ouagadougou du fait de l'identification des secteurs touchés dans la plupart des articles de presse consultés. Pour la zone de Bamako, les noms de quartiers touchés étaient majoritairement mentionnés dans les articles de presse. Un comptage du nombre d'inondations survenues par unité spatiale de représentation a été effectué dans chaque ville pour identifier les zones les plus souvent inondées d'après la presse.

Cependant, certains articles à Ouagadougou comme à Bamako avaient des critères d'identification soit plus grossiers (arrondissements ou communes), soit très précis (certains points remarquables, des lieux-dits...). Dans ces cas, nous avons considéré toutes les unités (quartiers ou secteurs) concernées.

Globalement, l'identification des secteurs et quartiers touchés n'est toutefois pas exempte de limites. Par exemple, le découpage administratif de la ville de Ouagadougou a connu un changement significatif en 2012, avec l'introduction de nouveau quartier et le morcellement des anciens. Avec cette situation, l'ancien secteur 21 par exemple a été morcelé avec une partie de son côté « Ouest » octroyé désormais au secteur 37, son côté « Nord » octroyé au secteur 38,

une partie de son côté « Est » octroyé au secteur 16, une partie de son côté « Sud-ouest » envoyée au secteur 14 et la partie centrale du secteur octroyé au secteur 15 (figure II-1). Ainsi, il s'est posé le problème de concordance entre anciens et nouveaux quartiers dans l'enregistrement des inondations historiques à Ouagadougou.

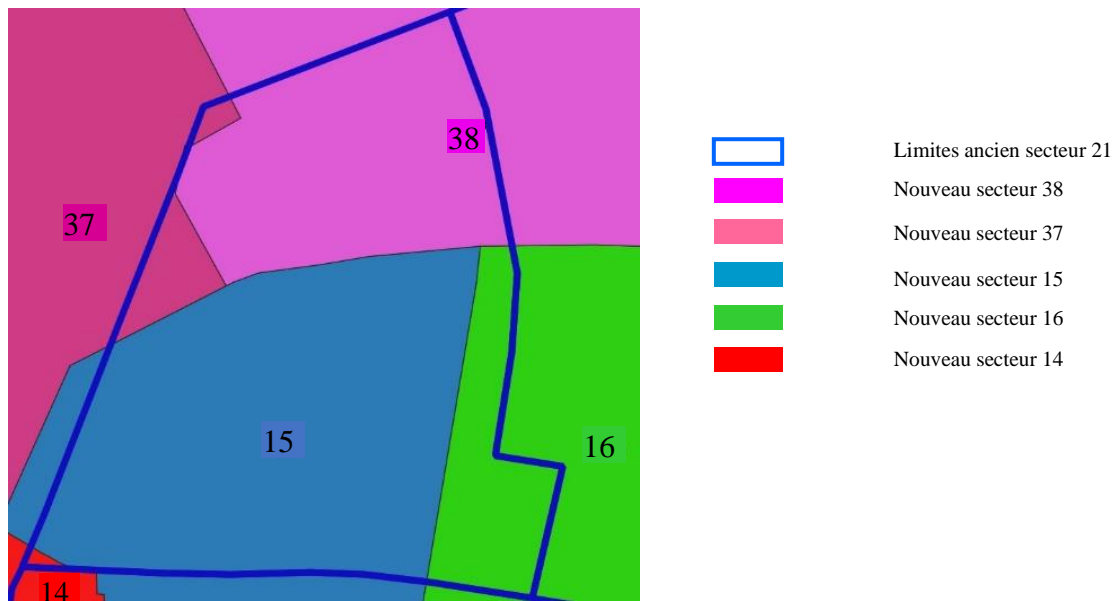


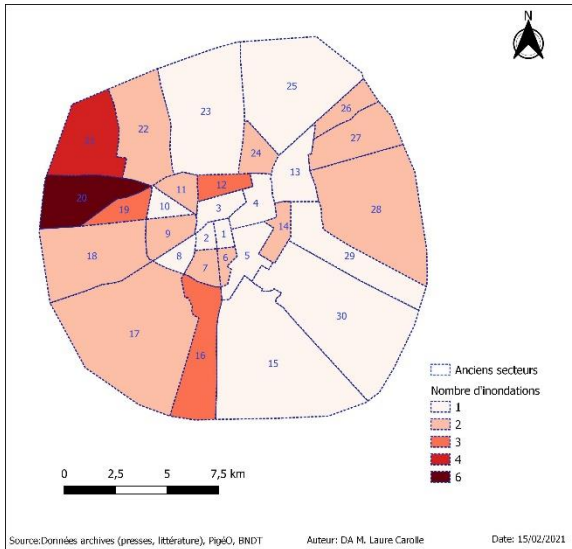
Figure II-1 : Morcellement du secteur 21 après le découpage administratif de 2012 (source : BNDT)

Pour pallier cette difficulté, l'enregistrement des inondations historiques a été réalisé dans deux tableurs Excel, un avant 2012 et un après. Les données des deux tableurs ont été transformées en couches vectorielles par jointure spatiale puis rastérisées de sorte à avoir deux images : une image des inondations par secteurs avant 2012 et une image des inondations par secteurs après 2012. La calculatrice raster a permis de représenter les inondations sur toute la période par sommation des deux images raster selon l'équation II-1:

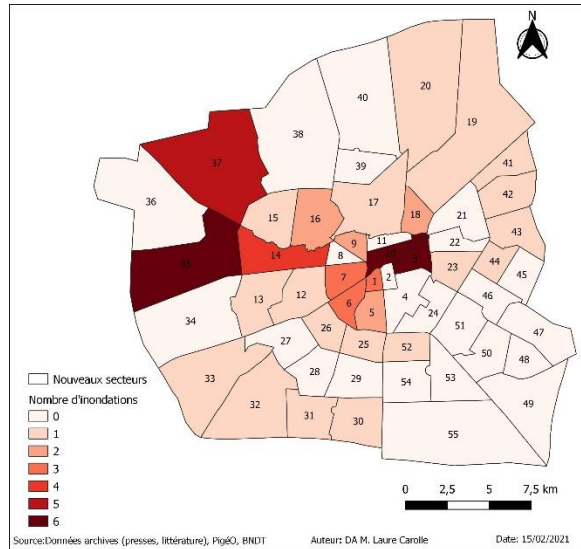
$$Carte_Inondation_{(1986-2020)} = Carte_Inondation_{(1986-2011)} + Carte_Inondation_{(2012-2020)} \quad Eq. II-1$$

La figure II-2 illustre la démarche utilisée pour la réalisation de la carte géohistorique des inondations dans la ville de Ouagadougou.

Carte des inondations de 1986 à 2011
(ancien découpage de Ouagadougou)



Carte des inondations de 2012 à 2020
(Nouveau découpage de Ouagadougou)



Superposition de cartes

Carte des inondations de 1986 à 2020

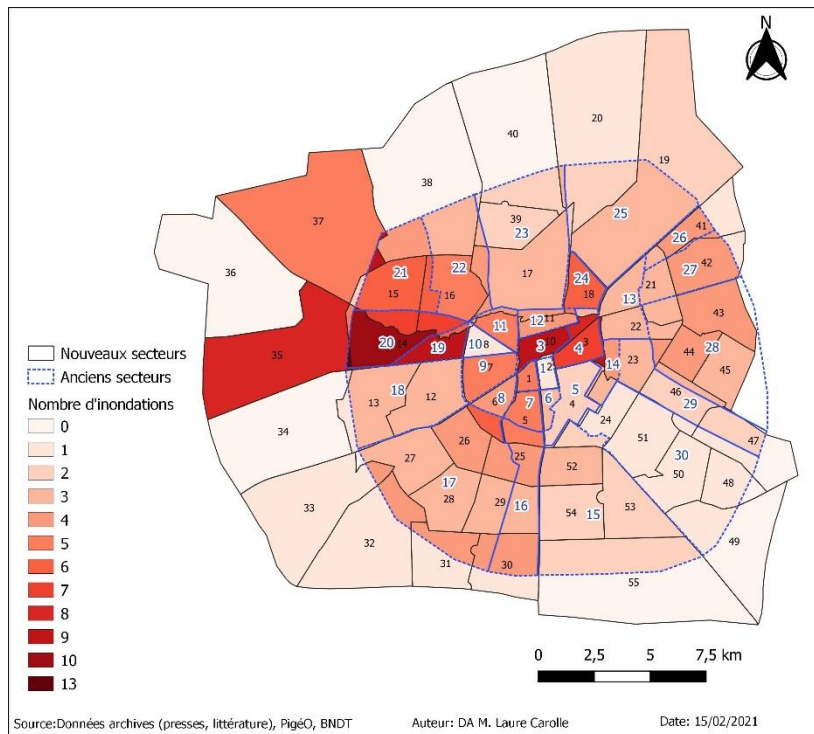


Figure II-2 : Méthode de cartographie des inondations dans la ville de Ouagadougou en fonction des secteurs

Une fois cette cartographie obtenue, les données maximum et minimum d'inondation de chaque secteur ont été recalculées en utilisant la fonction « Statistique de zone » de Qgis. La rastérisation du fichier de sortie a permis de classer les secteurs en fonction de quatre niveaux d'inondations subis selon le relevé historique des évènements : pas du tout touché, faiblement touché, moyennement touché et fortement touché.

Il faut rappeler cependant que même si cette carte présente un intérêt certain en termes de communication, il n'en demeure pas moins qu'elle repose sur un biais méthodologique sur les données. En effet, les inondations répertoriées ne sont en aucun cas exhaustives. Au contraire, elles représentent juste les inondations qui ont suscité l'intérêt des auteurs des différents articles consultés, soit du fait de leur attachement particulier pour certaines parties du territoire, soit du fait de l'ampleur des évènements. De ce fait, les articles sont essentiellement le reflet de la perception de leurs auteurs sur les évènements mentionnés. Cela constitue une des limites de l'analyse géohistorique (Bruckmann et al., 2019). Aussi, tous les évènements remarquables pour des études sur les inondations ne sont pas forcément couverts par la presse (Boudou, 2015). Ainsi, plusieurs autres inondations, tout aussi intéressantes, ont bien pu nous échapper et ne pas figurer dans les documents utilisés.

Malgré ces insuffisances, la cartographie des inondations historiques constitue un moyen différent de détermination des zones vulnérables, qui vient en complément des approches hydrologiques et hydrogéomorphologiques. Ces approches sont abordées dans les sections qui suivent.

4.2. Méthodologie d'analyse des extrêmes pluviométriques pour la cartographie de l'aléa pluviométrique

Les données historiques relevées sur les deux territoires ont permis de réaliser une carte historique des inondations, véritable outil de communication à l'endroit des gestionnaires et des décideurs. Cette carte permet en effet de montrer les zones qui ont été les plus touchées par les inondations d'après la documentation consultée. Bien qu'elle soit à elle seule un outil de communication d'un intérêt certain, il est préférable de pouvoir interpréter au-delà du visuel les métadonnées qui accompagnent la carte, notamment les pluviométries enregistrées lors de chaque évènement. L'idée est de déterminer si les pluies qui ont entraîné des inondations dans les deux capitales étaient des pluies d'une intensité remarquable ou si des facteurs autres que l'intensité des pluies pourraient justifier les inondations dans les deux capitales.

L'analyse des extrêmes pluviométriques, préalable d'une analyse de l'aléa, peut permettre d'atteindre cet objectif. C'est donc l'objet de cette section de notre travail de thèse. Des études ont déjà été menées dans ce sens en Afrique de l'Ouest (Panthou, 2013) et à l'échelle de la ville de Ouagadougou en particulier, mais sur des chroniques moins importantes et/ou moins actuelles que celles à notre disposition. Concernant la ville de Bamako, seule l'analyse des tendances des précipitations a déjà été effectuée (Halimatou et al., 2017) sans qu'aucune étude à notre connaissance n'aboutisse à la caractérisation des périodes de retour des pluies historiques extrêmes. Les extrêmes climatiques constituent pourtant des indicateurs utiles pour la modélisation de l'aléa hydrologique et des marqueurs importants des régimes hydroclimatiques dont la compréhension est essentielle pour la mise en place de politiques de gestion et de mitigation opérationnelles. Pour ce faire, elles ont été analysées dans notre travail.

La figure II-3 résume les différentes étapes mises en œuvre pour permettre l'analyse des extrêmes pluviométriques et établir leur lien avec les inondations dans les deux villes d'étude.

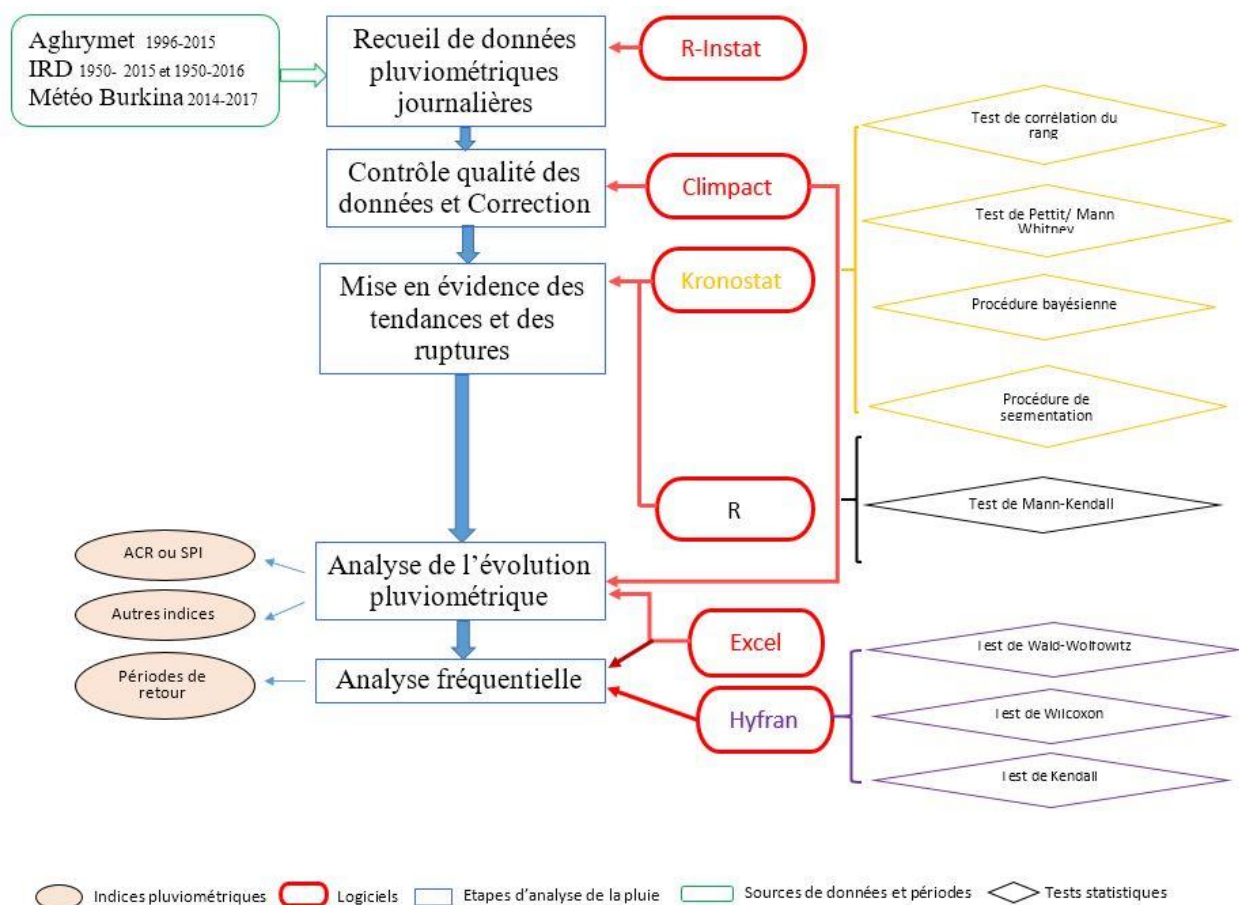


Figure II-3 : Organigramme pour l'analyse des extrêmes pluviométriques (source : auteur)

4.2.1. Données pluviométriques de l'étude

Les données pluviométriques utilisées dans cette étude proviennent du centre Aghrymet, de l'IRD et de la direction générale de la Météo/Burkina Faso. Il s'agit de chroniques pluviométriques journalières de 1950 à 2017 pour Ouagadougou et de 1950 à 2015 pour Bamako. La période de collecte de données pluviométriques a été guidée par le besoin de constituer des séries chronologiques suffisamment longues et avec le moins de lacunes possible pour répondre aux recommandations de l'Organisation Mondiale de la Météorologie.

Les données proviennent des stations de Ouagadougou Aéroport et de Bamako/Sénou Aéroport dont les caractéristiques sont présentées dans le tableau II-3.

Tableau II-3 : Stations pluviométriques de provenance des données

NOM	NATURE	BASSIN	LONG	LAT	ALT (m)	PÉRIODE
Ouagadougou Aéroport	Synoptique	Volta	-15 167	123 500	304,00	1950-2017
Bamako/Sénou Aéroport	Synoptique	Haut Niger	-79 400	125 200	377,00	1950-2015

L'inventaire des données manquantes (tableau II-4) a été réalisé par jour et par source pour chacune des stations. L'utilisation de trois sources de données s'explique par la présence de lacunes dans les données de chacune des sources, qu'il était indispensable de corriger.

Tableau II-4 : Inventaire des lacunes dans les données

	Périodes couvertes		% de lacunes sur la période couverte	
	Ouagadougou	Bamako	Ouagadougou	Bamako
Aghrymet	1996-2016	1996-2016	7,43 %	16,98 %
IRD	1950-2015	1950-2015	16,81 %	30,24 %
Météo - Burkina	2014-2017	-	0 %	-

Une fois les données collectées, l'approche méthodologique adoptée a consisté à suivre les étapes suivantes : (1) comblement des lacunes dans les séries pluviométriques journalières et calcul de l'erreur de comblement ; (2) contrôle qualité des données pour déceler les éventuelles valeurs erronées ; (3) calcul des indices climatiques et analyse de l'évolution pluviométrique (4) ; détection des ruptures et des tendances annuelles au sein des séries pluviométriques ; (5) évaluation de la fréquence de retour des pluies maximales journalières.

4.2.2. Comblement des données lacunaires journalières

Les différentes chroniques ont été comparées par test statistique simple réalisé sur Excel. Il ressort que pour les données présentes, on observe une concordance parfaite entre les trois sources pour les données communes. Par conséquent, une première imputation des données à consister à remplacer les valeurs manquantes des données de l'IRD par les données journalières provenant du centre Aghrymet ou de la météo-Burkina, les données de la météo Mali n'étant pas disponibles pour notre étude. Il existe d'autres méthodes pour l'imputation de données manquantes dans la littérature. Il s'agit entre autres de :

❖ La multicorrélation entre stations de même zone climatique :

Cette multicorrélation peut être réalisée par régression linéaire multiple (Boyard-Micheau & Camberlin, 2015) ou grâce à la méthode du Vecteur régional (Bodian, 2014) par exemple et permet de reconstituer une série en fonction de données de séries d'autres stations du réseau. Nous n'avons que les données d'une seule station donc cette méthode n'était pas envisageable.

❖ L'analyse statistique de la distribution des données : cette technique a été privilégiée du fait de la disposition de données issues d'une seule station par ville. La reconstitution peut se faire par :

- remplacement par la moyenne globale ou la moyenne par classe
- remplacement par la valeur dominante par classe (Panda & Sahu, 2019)

Après la première imputation, l'analyse statistique de la distribution des données, effectuées avec le logiciel R-Instat, a montré la réduction des valeurs manquantes passant de 16,81 % à 1,75 % pour la station de Ouagadougou et de 30,24 % à 25,09 % pour la station de Bamako.

Cette analyse a également montré une prépondérance de données manquantes pendant la saison sèche (mi-octobre à avril), quelle que soit la source de données (Figure II-4). Le remplacement des données a donc été effectué par la valeur dominante mensuelle en période sèche, qui s'est révélée être en général nulle.

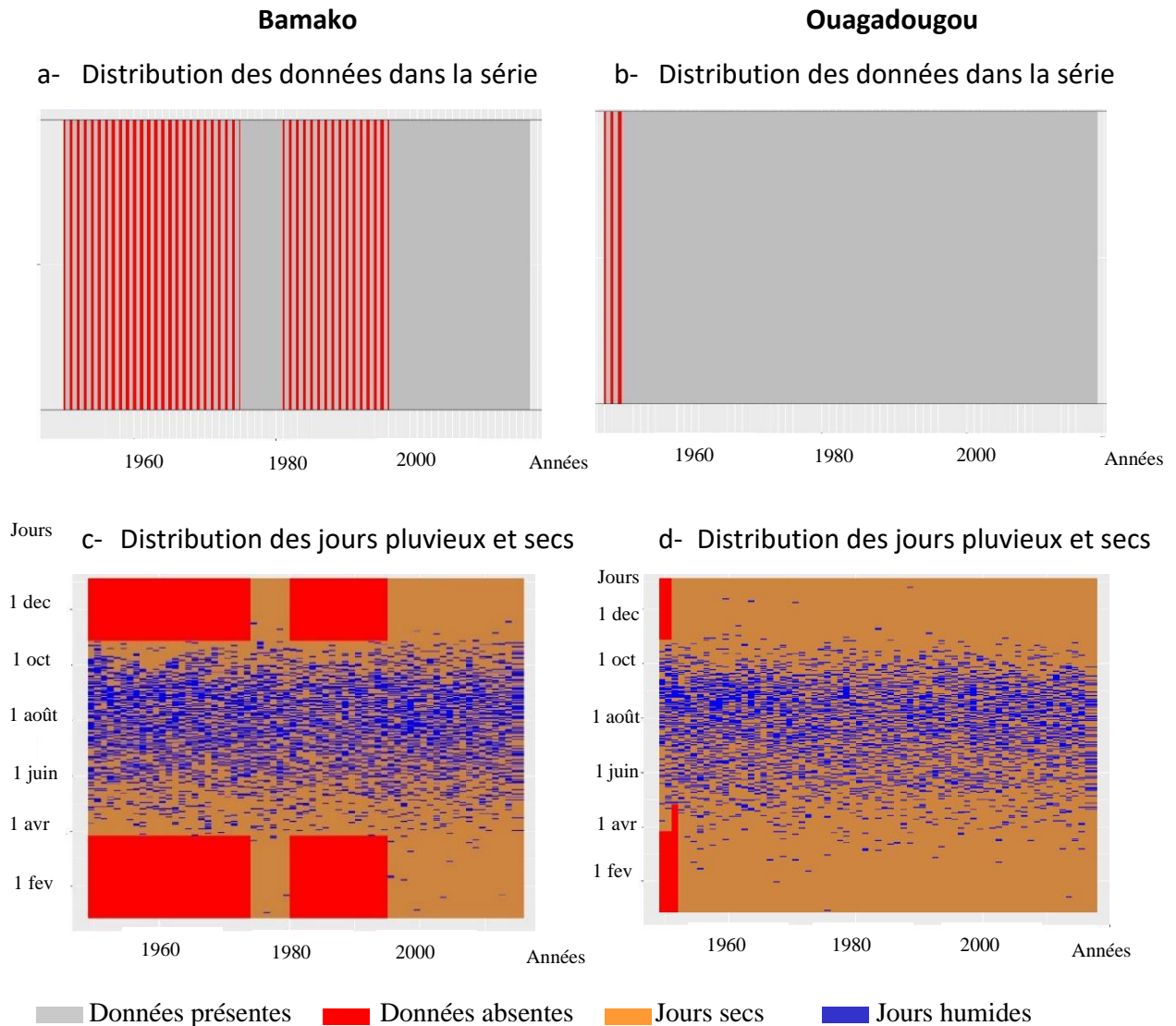


Figure II-4 : Représentation des valeurs manquantes après correction

Pour finir, la fiabilité de la méthode de comblement a été vérifiée²⁸ par le calcul de la marge d'erreur en selon l'équation Eq.II-2 ci-dessous :

$$P = \frac{\text{Nombre de jours avec pluie sur la période sèche sans lacune}}{\text{Nombre totale de jours sur la période sèche sans lacune}} \quad \text{Eq.II-2}$$

Avec P = erreur de comblement = probabilité d'avoir une pluie pendant la période sèche

Tout type de données à utiliser dans une analyse statistique nécessite d'être de bonne qualité pour assurer la fiabilité des résultats. La qualité des données des séries chronologiques corrigées des deux stations de Ouagadougou et de Bamako a ainsi été contrôlée afin d'assurer l'absence de valeurs aberrantes.

²⁸ Cette analyse a permis de conclure à une erreur de comblement de 1,09% pour la ville de Bamako et de 2,66% pour la ville de Ouagadougou.

4.2.3. Contrôle qualité des données

Le contrôle qualité des données a été réalisé à l'aide du logiciel codé en langage R, **climact** (téléchargeable en ligne à l'adresse <https://www.wcrp-climate.org/etccdi>) et a consisté à mettre en évidence les éventuelles valeurs erronées présentes dans la série chronologique corrigée. Le procédé de contrôle qualité du logiciel permet de mettre en évidence les valeurs imputables à des erreurs d'enregistrement ou de traitement telles que les valeurs de précipitations négatives ou irraisonnables, les biais d'arrondi, les séries de même valeur, les dates dupliquées et les sauts de date. Il permet également d'observer les valeurs manquantes pour permettre un traitement approprié.

4.2.4. Analyse de l'évolution pluviométrique : calcul des indices climatiques

L'analyse de l'évolution pluviométrique a consisté en la détermination de périodes déficitaires et excédentaires dans les séries chronologiques à travers tout d'abord le calcul d'un indice de pluies standardisé (SPI) ou indices d'anomalie pluviométrique de « Nicholson » (I_p) ou Anomalies centrées Réduites (ACR). Cet indice est calculé selon la formule :

$$I_p = (P_i - P_m) / \sigma_p, \quad \text{Eq. II-3}$$

où I_p est l'indice de pluie standardisé, P_i la pluviométrie de l'année i , P_m la pluviométrie annuelle moyenne sur la période de référence 1950-2015 ou 1950-2017 et σ_p l'écart-type de la pluviométrie sur la même période de référence.

La classification de Mckee et al. (1993) rappelée dans le tableau II-5 a permis d'interpréter les valeurs de SPI déterminées.

Tableau II-5 : Classification de la sévérité suivant l'indice SPI

Valeurs du SPI (I_p)	Classe d'anomalie
>2	Extrêmement humide
[1,5 ; 2]	Sévèrement humide
[1,0 ; 1,49]	Modérément humide
[-0,99 ; 0,99]	Proche de la normale
[-1,0 ; -1,49]	Modérément sèche
[-1,49 ; -1,99]	Sévèrement, sèche
< -2,0	Extrêmement sèche

Source : Mckee et al., 1993

Cet indice permet de détecter les périodes pluviométriques déficitaires ou excédentaires pour une année donnée et met en évidence l'intensité de l'excédent ou du déficit. La persistance des périodes humides ou sèches a été évaluée à l'aide de la moyenne mobile sur 5 et 7 ans qui permet de percevoir les grandes fluctuations interannuelles (Bodian, 2014).

Cette moyenne mobile est obtenue par l'équation II-4 :

$$\bar{x}_n = \bar{x}_{n-1} + \frac{\bar{x}_n - \bar{x}_{n-N}}{N}, \quad \text{Eq. II-4}$$

où n est la taille de la chronique pluviométrique annuelle et N est l'ordre (par exemple N=5 pour la moyenne mobile d'ordre 5)

Par ailleurs, l'équipe d'experts sur la détection et les indices du changement climatique (ETCCDI) a défini un ensemble d'indices descriptifs des phénomènes extrêmes. Ces indices décrivent des aspects particuliers des extrêmes notamment la fréquence, l'amplitude et la persistance des phénomènes sur la période d'étude. Sur la soixantaine d'indices de l'ETCCDI, 12 ont été sélectionnés pour la présente étude (Tableau II-6). Ces indices ont été sélectionnés du fait de leur intérêt dans la compréhension des événements pluvieux susceptibles d'entraîner des inondations. Les formules de calcul des différents indices sont données en annexe 2.

Tableau II-6 : Liste des indices de l'ETCCDI retenus

Indice	Unité	Nom de l'indice	Définition
PRCPTOT	mm	Wet days precipitation	Précipitation annuelle totale
JP	jours	Precipitation days	Nombre de jours humides (>1 mm)
SDII	mm/jour	Simple Daily Intensity Index	Lame d'eau moyenne précipitée par jours pluvieux
R10mm	jours	Heavy precipitation days	Nombre de jours où RR ≥ 10 mm
R20mm	jours	Very heavy precipitation days	Nombre de jours où RR ≥ 20 mm
CWD	jours	Consecutive Wet Days	Nombre de jours pluvieux consécutifs
Rx1day	mm	Max 1-day precipitation	Précipitations maximales de l'année durant 1 journée
Rx5day	%	Proportion of intense rainfall	Précipitations maximales de l'année durant 5 jours
R95p	jours	Very wet days frequency	Nombre de jour de pluies intense (RR > 95e percentile)
R99p	jours	Extremely wet days frequency	Nombre de jour de pluies extrêmes (RR > 99e percentile)
R95pTOT	mm	Very wet days intensity	Précipitations totales quand la pluie est intense (RR > 95e percentile)
R99pTOT	mm	Extremely wet days intensity	Précipitations totales quand la pluie est extrême (RR > 99e percentile)

Ces indices permettent le suivi direct des tendances de l'intensité ou de la fréquence des évènements (Halimatou et al., 2017). Plusieurs études ont déjà eu recours à ces indices dans l'analyse des extrêmes pluviométriques en Afrique de l'Ouest (Aguilar et al., 2005; Halimatou et al., 2017; Hangnon et al., 2015; Hountondji et al., 2011; Ozer et al., 2017). Cependant, la plupart des études réalisées sur nos territoires d'étude ont utilisé des chroniques moins longues que celles à notre disposition et ont analysé l'évolution d'indices moins nombreux que ceux que nous avons choisi d'étudier.

Par ailleurs, toutes les tendances ont été calculées annuellement à l'aide du progiciel Climpack, téléchargeable en ligne comme nous l'avons mentionné plus haut. Les calculs ont été effectués à partir des données des séries chronologiques de précipitations de Ouagadougou et de Bamako, en fixant la normale climatique²⁹ à 30 ans (de 1981 à 2010) comme le recommande l'organisation météorologique mondiale (OMM).

4.2.5. Détection des ruptures et des tendances

Une rupture dans une série chronologique correspond à un changement dans la loi de probabilité de la série chronologique étudiée à un instant donné (Lubès et al., 1994). Il s'agit d'une modification du comportement des données dans une série temporelle, qui se traduit en général par un changement de la valeur moyenne des données avant et après la rupture et par un déclenchement de tendance.

Les ruptures peuvent être d'origine artificielle à cause de modifications effectuées au niveau de la station d'observation (déplacement de la station, problèmes d'observation, changement de l'occupation du sol dans l'environnement immédiat de la station, changement d'instrument de mesure) ou être d'origine naturelle.

Aucune information sur un quelconque changement artificiel ayant pu modifier les séries à notre disposition ne nous est parvenue, après échange avec les services compétents. Nous avons donc conclu à l'origine naturelle d'éventuelles ruptures.

Ces tendances et ruptures dans les séries chronologiques ont été mises en évidence dans l'optique de mieux appréhender l'évolution annuelle récente de la pluviométrie à Bamako et Ouagadougou c'est-à-dire la variabilité temporelle de la pluviométrie annuelle dans les deux localités d'étude. Il s'agissait de vérifier l'éventualité d'une continuité des périodes de sécheresses observées durant les années 70 au Sahel ou au contraire l'identification d'une

²⁹ Les normales climatiques sont des produits statistiques qui permettent de caractériser le climat et servent de référence.

rupture pluviométrique vers des conditions plus humides (qui pourraient expliquer les récentes inondations). Pour y parvenir, différents tests statistiques d'homogénéité ont été utilisés.

Le choix des méthodes retenues pour la détection des ruptures et des tendances et pour la confirmation du caractère aléatoire de la série repose sur la robustesse de leur fondement et la récurrence de leur utilisation, principalement dans le contexte ouest-africain. Il s'agit :

- ❖ **du test de corrélation sur le rang de Kendall et Stuart** qui a permis de vérifier le caractère aléatoire de la série.
- ❖ **du test non paramétrique de Pettit couplé au test de Buishand, à la procédure bayésienne de Lee et Heghinian et à la procédure de segmentation de Hubert** : ces quatre tests permettent de détecter les ruptures et leurs dates d'apparition. Chacun des tests comporte une certaine sensibilité à la détection des ruptures. Ainsi, comme le souligne Niang (2008), ces tests ont été utilisés dans de nombreuses applications du fait de leur robustesse et de leur puissance. Par ailleurs, une rupture est jugée significative lorsque la probabilité associée à cette rupture dans le test qui a permis de la détecter est $< 5\%$. Aussi, une rupture est considérée comme faible si un seul des tests a permis de la détecter, probable s'il s'agit de deux tests au moins et avérée si au moins trois des tests a permis de la détecter (Kaboré, 2016). La conduite de quatre tests s'est ainsi révélée nécessaire pour s'assurer de la véracité des ruptures dans les séries chronologiques.
- ❖ **du test non paramétrique de tendance de Mann-Kendall** qui a permis de déceler d'éventuelles tendances annuelles dans les séries des différents tests et d'en vérifier la pertinence. Une alternative au test de Mann-Kendall très utilisé par Ozer dans nombre de ces travaux (Ozer et al., 2017; Ozer & Mahamoud, 2013) consiste à réaliser une régression linéaire et à analyser la tendance en évaluant le pourcentage par 10 ans. Nous avons préféré le test de Mann-Kendall à la régression linéaire du fait de son rôle exclusivement dédié à l'identification des tendances et de sa robustesse. Les « tau de Kendall » estimés ont été regroupés en quatre classes selon leur degré de significativité en fonction de la valeur de la pvalue ($p > 0,05$ = non significatif, $p < 0,05$ = significatif) et leurs signes. Des « tau » négatifs indiquaient une tendance à la baisse contrairement aux « tau » positifs qui correspondaient à une tendance à la hausse.

Parmi les quatre tests de détection de rupture, seule la méthode de Hubert permet de détecter dans une même série chronologique plusieurs ruptures si elles existent. Pour déceler plusieurs ruptures avec les autres tests, de nouvelles sous-séries de données ont été constituées

commençant par la date suivant la première rupture. Cette méthode a été utilisée avec succès par Bodian (2014).

Les différents tests appliqués, les objectifs recherchés dans la conduite de chaque test et les logiciels utilisés pour conduire de manière pratique ces tests sont résumés dans le tableau II-7. Une description plus détaillée des différents tests retenus est proposée en annexe 3.

Tableau II-7 : Tests statistiques retenus pour l'évolution de la pluviométrie annuelle et logiciels

TEST	OBJECTIFS DU TEST	LOGICIELS
Test de corrélation sur le Rang	Caractère aléatoire des séries	Khronostat
Calcul de l'autocorrélogramme et de son intervalle de confiance	Caractère aléatoire des séries	Khronostat
Test de tendance de Mann-Kendall	Détection de la tendance de la série	R
Test de Buishand et ellipse de Bois	Détection de rupture	Khronostat
Test de Mann-Whitney (Test de Pettitt)	Détection de rupture	Khronostat
Procédure bayésienne de Lee et Heghinian	Détection de rupture	Khronostat
Procédure de Segmentation de Hubert pour les séries chronologiques	Détection de rupture	Khronostat

En vue de mieux apprécier les points remarquables dans l'évolution des différents indices, une régression « loess » a été utilisée permettant de construire des courbes de lissage. Cette régression a servi à apprécier la régularité des tendances des indices au cours du temps.

4.2.6. Analyse fréquentielle des pluies maximales journalières

L'analyse fréquentielle a été utilisée pour caractériser la période de retour des différents évènements pluvieux identifiés comme étant anormaux ou exceptionnels. Il s'agit d'une méthode statistique de prédiction permettant de définir les probabilités d'apparition d'un évènement futur sur la base de l'étude d'évènements passés. Cette prédiction repose sur la définition et la mise en œuvre d'un modèle fréquentiel sous la forme d'une équation qui décrit le comportement statistique d'un processus. L'analyse fréquentielle a abouti à la détermination

d'une période de retour pour les évènements pluvieux de chacune des séries. La période de retour d'un évènement correspond à l'inverse de la probabilité annuelle de dépassement de cet évènement.

L'estimation des périodes de retour implique d'étudier la fréquence d'apparition des évènements qui peut être approchée par une fonction de répartition des valeurs extrêmes. Une fonction de répartition $F(x)$ est une fonction numérique qui matérialise la probabilité de voir arriver un évènement favorable tel qu'une variable aléatoire X soit inférieure ou égale à une valeur x .

$$F(x) = \text{Prob}(X \leq x) \quad \text{Eq. II-5}$$

Cette loi de probabilité doit être monotone, non décroissante, et varier de 0 à 1 lorsque x décrit x_a à x_b , l'intervalle de définition de la variante X .

La loi de probabilité d'une variable aléatoire peut se définir au moyen d'une fonction à valeurs positives telle que :

$$P(a \leq X \leq b) = \int_a^b f_x(X) dx, \quad \text{pour tout } a \text{ et } b \in \mathbb{R}, a < b \quad \text{Eq. II-6}$$

Cette fonction f_x est aussi appelée fonction de densité de X

L'analyse fréquentielle est une méthode principalement statistique qui nécessite la conduite d'un certain nombre d'étapes indispensables pour assurer la fiabilité des résultats (Figure II-5). Chacune de ces étapes est abordée dans les sections qui suivent. Pour plus de détail sur les différentes statistiques utilisées, se référer à l'annexe 4.

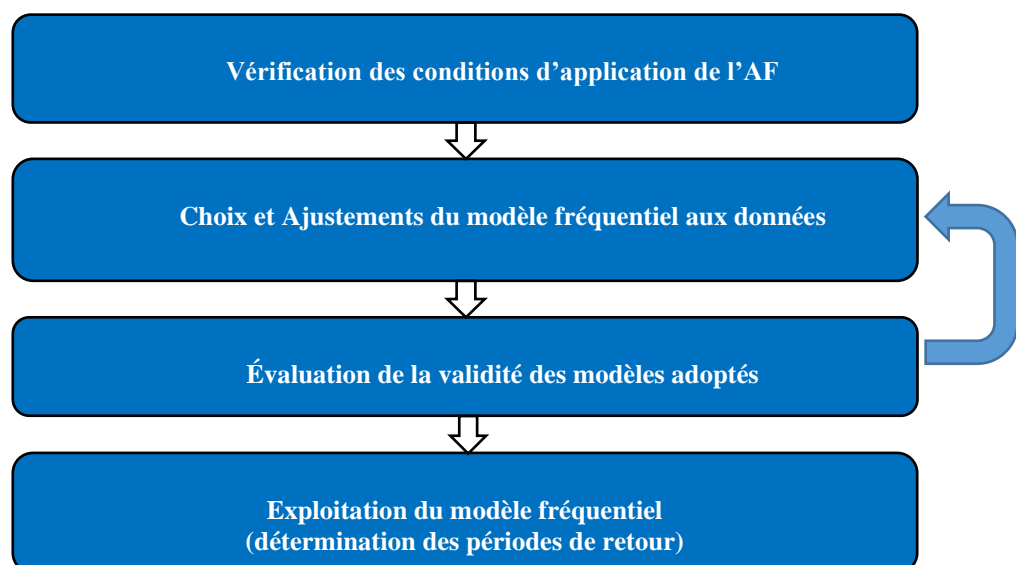


Figure II-5 : Étapes de réalisation de l'analyse factorielle (source : auteur)

4.2.6.1. Vérification des conditions d'application de l'analyse fréquentielle

Avant de réaliser une analyse fréquentielle, il importe de vérifier par des tests d'hypothèse que les conditions d'application de l'analyse fréquentielle sont respectées. Les séries des valeurs maximales annuelles de précipitations journalières considérées doivent en effet être constituées de valeurs indépendantes, homogènes et stationnaires pour être adaptées à une analyse fréquentielle. Pour la vérification de ces conditions, les tests d'indépendance de wald-wolfowitz, d'homogénéité de Wilcoxon et de stationnarité de Kendall sont utilisés (Cf. Annexe 4). Tous ces tests sont fondés sur le principe de validation ou de rejet d'une hypothèse H_0 liée soit à l'indépendance, à l'homogénéité ou à la stationnarité.

4.2.6.2. Choix et ajustement des modèles fréquentsiels

Le choix du modèle fréquentiel utilisé pour la prédiction influe sur la validité des résultats de l'analyse fréquentielle. Il a été guidé par les pratiques courantes en matière d'analyse fréquentielle mise en œuvre en contexte ouest-africain. Il ressort de l'analyse de la littérature que la loi des valeurs extrêmes généralisée (GEV) et la loi de Gumbel sont parmi les lois les plus utilisées dans le domaine de la recherche sur l'analyse fréquentielle des précipitations journalières maximales (Habibi et al., 2013). Elles ont déjà fait leur preuve dans l'analyse de la fréquence de retour des pluies au Sahel dans plusieurs études (Hangnon et al., 2015; Hountondji et al., 2011; Ozer et al., 2017). Ces deux lois ont par conséquent été adoptées pour notre étude.

Les fonctions de densité de ces différentes lois ainsi que leurs paramètres sont rappelés dans le tableau II-8.

Tableau II-8 : Fonctions de densité et paramètres de la loi GEV et Gumbel

LOI	Fonction de densité $f(x)$		Paramètres
GEV	$f(x) = \frac{1}{\alpha} \left[1 - \frac{k}{\alpha} (x - u) \right]^{\frac{1}{k} - 1} \exp \left\{ - \left[1 - \frac{k}{\alpha} (x - u) \right]^{\frac{1}{k}} \right\}$	<i>Eq. II-7</i>	α, u, k
Gumbel	$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp \left[\frac{x-u}{\alpha} - \exp \left(\frac{x-u}{\alpha} \right) \right]$	<i>Eq. II-8</i>	α, u

Les différents paramètres α , u et k désignent respectivement les paramètres d'échelle, de position et de forme des différentes lois.

Le modèle de Gumbel correspond à un modèle GEV de paramètre $k=0$. Dans le modèle GEV, lorsque $k<0$, la distribution est dite de Fréchet et pour $k>0$, on parle de distribution de Weibull.

L'ajustement des modèles fréquentiels choisis aux données consiste à définir les paramètres des lois retenues. Elle a été réalisée à l'aide du logiciel Hyfran 1.2. en s'appuyant sur la méthode du maximum de vraisemblance et en déterminant les fréquences empiriques au non-dépassement des pluies journalières maximales annuelles. Ces dernières ont été calculées à partir de la relation de Hazen reprise dans l'équation II-9. Elles sont déterminées après classement par ordre croissant de l'échantillon de pluies maximales de taille n (correspondant au nombre d'années de la chronique pluviométrique):

$$F(x) = \frac{i-0,5}{n} \quad \text{Eq. II-9,}$$

avec i le rang de l'observation dans la série triée par valeurs croissantes et $F(x)$ la fréquence empirique de l'observation x .

Le meilleur modèle fréquentiel pour l'analyse des pluies extrêmes de chaque ville a pu être déterminé après comparaison de l'ajustement des deux lois aux données.

4.2.6.3. Validation du modèle statistique

Il existe plusieurs techniques pour comparer les différentes méthodes d'analyse des lois de probabilité et en déterminer la meilleure. Il s'agit entre autres du test d'adéquation du Khi-2 de Karl Pearson, de l'examen visuel des graphiques d'ajustement réalisés et des critères d'information d'Akaiké (AIC) et Bayésien (BIC). Ces deux derniers critères ont servi à la sélection de la distribution statistique la mieux ajustée aux échantillons. Ils ont été déterminés grâce au logiciel Hyfran 1.2. La meilleure distribution est celle pour laquelle les valeurs des deux critères sont les plus faibles (Kouassi et al., 2018).

Une analyse de sensibilité a été mise en œuvre afin d'analyser l'influence de la pluie du 1^{er} septembre 2009 avec sa forte intensité de 261,3 mm sur le choix de la meilleure loi d'ajustement.

4.2.6.4. Caractérisation des périodes de retour

Une fois la loi la mieux ajustée aux pluies extrêmes dans chaque ville sélectionnée, elle a été appliquée aux hauteurs de pluies journalières pour déterminer les périodes de retour des pluies extrêmes. L'idée est de vérifier l'hypothèse selon laquelle les événements extrêmes sont responsables des inondations dans les deux villes.

Le calcul de la période de retour d'un évènement pluvieux repose sur l'équation II-10 :

$$T = \frac{1}{1-F} \quad ; \quad \text{Eq. II-10}$$

avec T la période de retour en année et F la fréquence de non-dépassement.

Les périodes de retour retenues pour la classification des pluies exceptionnelles proviennent de la classification de l'institut royal de la météorologie de Belgique et sont résumés dans le tableau II-9.

Tableau II-9 : Classification des évènements pluvieux en fonction de la période de retour

<i>Qualificatif de l'évènement pluvieux</i>	<i>Période de retour</i>
Très Exceptionnel	> 100 ans
Exceptionnel	[30 ; 100 ans]
Très anormal	[10 ; 30 ans]
Anormal	[6 ; 10 ans]
Normal	< 6 ans

Source : Institut Royal de la Météorologie de Belgique (Ozer et al., 2017)

L'utilisation de cette classification couplée à l'analyse fréquentielle a permis de déterminer si les évènements pluvieux ayant entraîné des inondations à Ouagadougou et à Bamako étaient des évènements plutôt exceptionnels ou normaux.

La colonne concernant les intensités pluviométriques des évènements sources d'inondation (dans la base de données historiques) a donc été mise à profit. Elle a été complétée par les informations provenant de la revue de presse et des chroniques mises à notre disposition pour l'analyse des extrêmes pluviométriques. Malgré tout, des lacunes étaient remarquables au niveau de cette colonne de pluviométrie. En effet, certaines inondations ont eu lieu pendant plusieurs jours consécutifs entraînant leur mention selon une période dans la littérature et dans la revue de presse. Il était ainsi difficile de déterminer une pluviométrie journalière unique pour ce type d'inondation. Pour combler les données lacunaires de pluies journalières observées et ayant entraîné des inondations à partir de 2016 à Ouagadougou et de 2018 à Bamako, nous avons utilisé la base de données du site <https://fr.tutiempo.net/climat/afrique.html>, également utilisé par Nouaceur (2020). Ce site utilise la base de données mondiale du National Climatic Data Center. Les données fournies par ce site étaient du même ordre de grandeur que les données de nos deux chroniques avec des différences inférieures à 5 mm pour les mois de comparaison. Cela nous a confortée sur les possibilités d'utiliser ces données pour les données lacunaires présentes dans notre grille d'archivage d'inondation.

4.3. Analyser la vulnérabilité biophysique urbaine des territoires : le choix d'une démarche déductive

La gestion des risques, après s'être longtemps focalisée sur la maîtrise de l'aléa, s'est depuis quelques décennies ouverte aux notions de vulnérabilité. Cette vulnérabilité englobe des volets physiques, territoriaux et sociaux. Cette partie de notre thèse présente la méthodologie utilisée pour étudier la vulnérabilité biophysique au niveau des villes de Ouagadougou et de Bamako. Elle utilise une approche déductive reposant sur l'analyse de la littérature et de données recueillies auprès de différentes structures nationales et internationales.

Les zones très vulnérables sur le plan biophysique sont des zones caractérisées par un risque d'inondation plus élevé en raison de caractéristiques physiques et environnementales (Deepak et al., 2020).

4.3.1. Généralités sur les méthodes d'analyse spatiale de la vulnérabilité physique

L'analyse de la vulnérabilité biophysique se heurte à des difficultés d'ordre opérationnel. En effet, devant le nombre élevé de facteurs pouvant intervenir dans la vulnérabilisation physique du territoire, lesquels est-il pertinent de sélectionner pour faciliter l'analyse sans compromettre les résultats ? Quelle démarche adopter pour que l'analyse soit la plus pertinente et la plus objective possible ? Les méthodes agrégatives de modélisation sont susceptibles de fournir des réponses pertinentes à ces interrogations. Elles ont l'avantage de permettre une simplification de la réalité même si elles présentent quelques limites notables. En effet, comme le mentionnait George Box (1979), tous les modèles sont faux, mais certains sont utiles.

Ces méthodes, couplées à la télédétection et au SIG, offrent un bon moyen de représenter les zones vulnérables d'un territoire, étape indispensable pour la mise en œuvre de mesures de protection efficaces.

Les modèles agrégatifs les plus utilisés pour l'analyse de la vulnérabilité biophysique concernent les modèles d'apprentissage et les modèles de superposition par les SIG, couplés ou non aux méthodes d'analyses multicritères.

Les modèles d'apprentissage automatique (machine learning) sont des modèles fondés sur des algorithmes statistiques et/ou informatiques qui prennent en entrée un flux de données et qui sont capables d'en extraire différentes informations afin de faire des prédictions. Ce sont des techniques d'extraction de connaissances provenant de bases de données empiriques qui peut être réalisée sur des jeux de données spatiales ou non, qualitatives comme quantitatives.

Elles peuvent être utilisées dans la cartographie des zones vulnérables sur le plan biophysique, grâce à la classification qu'elles permettent de réaliser.

Un exemple de modèle d'apprentissage utilisé par Deepak et al. (2020) pour les inondations est la forêt aléatoire ou *random forest* en anglais. Ces derniers ont utilisé un certain nombre de facteurs (pente, proximité à la rivière, végétation, débit et topographie) implémentés en entrée pour prédire par bootstrapping des niveaux de vulnérabilité. L'avantage de cette méthode est sa capacité à s'adapter aux données manquantes et aux éventuelles erreurs et à déterminer la contribution de chaque paramètre, ce qui la rend apte à l'analyse de problèmes de classification. La méthode de forêt aléatoire est fondée sur la division aléatoire d'une base de données en échantillon d'entraînement et échantillon test. Des arbres de décisions sont créés à partir de l'échantillon d'entraînement sur la base de données à prédire et permettent d'indexer dans un raster d'entraînement les zones hautement, moyennement ou faiblement vulnérables. Les mêmes arbres de décision sont par la suite utilisés dans l'échantillon test pour établir la précision du modèle. Une fois la précision jugée satisfaisante, le modèle est appliqué.

L'un des inconvénients majeurs de l'utilisation des modèles aléatoires est leur complexité qui rend délicats le paramétrage de processus exceptionnels (Judge, 2019), les temps de traitement relativement long et le phénomène de surapprentissage. Les forêts aléatoires permettent cependant de dépasser cette dernière limite. L'autre inconvénient réside dans le fait que l'apprentissage soit réalisé sur des individus (au sens statistique du terme) dont le comportement est connu au regard de la question posée. Pour le cas de la vulnérabilité face aux inondations, il faut donc avoir déjà au préalable des zones du territoire sur lesquels une classification existe au préalable, afin de pouvoir réaliser la phase d'apprentissage. L'analyse géohistorique est un bon moyen de déterminer des zones d'apprentissage pour la vulnérabilité liée aux inondations, encore faut-il que les informations recueillies soient à une échelle suffisamment précise pour permettre l'apprentissage. N'ayant pas accès à des données à une échelle convenable, nous ne pouvions mettre en œuvre les techniques d'apprentissage automatique au niveau de nos deux territoires malgré la robustesse de ces techniques. Notre choix s'est ainsi tourné vers les méthodes de combinaison sous SIG.

4.3.2. Méthode de cartographie des zones vulnérables sur le plan biophysique

La méthode de détection des zones vulnérables développée dans le cadre de ces travaux repose sur les techniques de superposition de couches, utilisées pour la classification spatiale. Il s'agit de méthodes d'agrégation permettant de réaliser une analyse intégrée par application

d'échelles communes de valeurs à différents critères intervenant dans la vulnérabilité physique. Ces critères peuvent être nombreux et d'unités différentes (par exemple le critère altitude intervenant dans la vulnérabilité physique est en mètre tandis que les pentes sont exprimées en pourcentage ou en degré). Pour la réalisation d'une analyse de superposition, en plus des étapes de définition du problème et d'identification des couches significatives, communes à toute démarche de résolution de problèmes spatiaux, d'autres étapes sont nécessaires. Il s'agit de :

- La reclassification ou la transformation des données au sein des couches afin de les mettre dans le même système de numérotation,
- la pondération des couches en entrée afin de prendre en compte l'importance des facteurs les uns par rapport aux autres,
- la cartographie des zones vulnérables par ajout des différentes couches.

Un organigramme de la démarche d'analyse de la vulnérabilité biophysique est présenté dans la figure II-6.

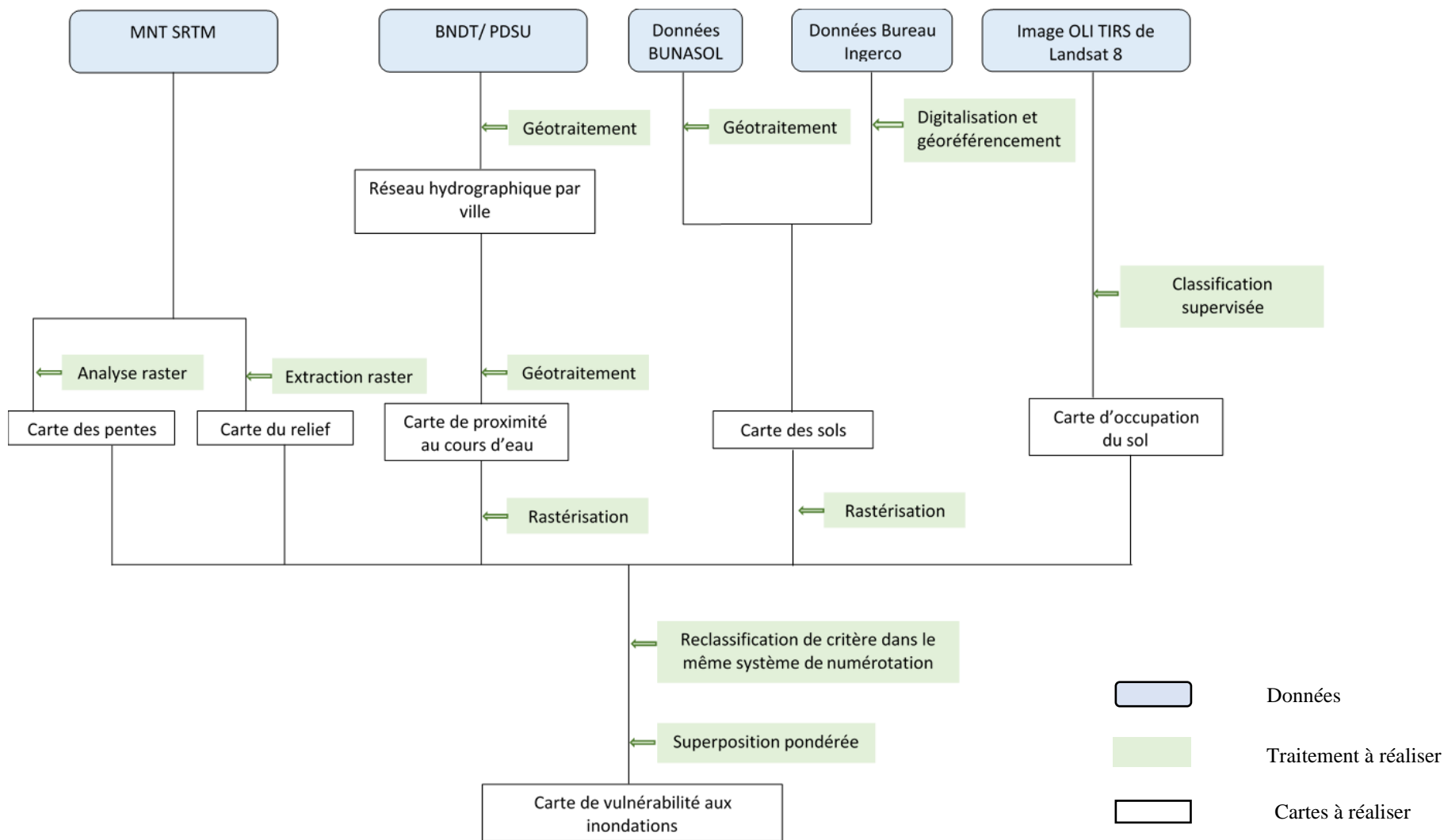


Figure II-6 : Organigramme pour la cartographie de la vulnérabilité biophysique (source : auteur)

Les différents logiciels utilisés pour la génération des facteurs et l'analyse finale sont Arcgis 10.8, et Qgis 3.16 intégrant les outils de traitement SAGA, GDAL et GRASS. La taille des cellules des différents rasters générés a été fixée à 30 x 30 m, pour correspondre à la résolution des MNT obtenus.

4.3.2.1. Identification des couches significatives

L'identification des facteurs biophysiques intervenant dans la survenue d'une inondation est une étape indispensable à l'analyse de la vulnérabilité biophysique. Cette identification se fait en général suivant une approche déductive, qui repose soit sur des théories établies soit sur l'avis des experts. Elle aboutit à la collection ou à la réalisation de cartes thématiques, chaque carte correspondant à un facteur de vulnérabilité. Dans cette étude, l'identification s'est appuyée sur les données issues de la littérature et sur les entretiens réalisés avec les experts de la sécurité civile et des collectivités territoriales.

L'analyse de la littérature (Bhagat & Bisen, 2015; Deepak et al., 2020; Kursah, 2013; Periyasamy et al., 2018) a permis de mettre en lumière plusieurs facteurs physiques ayant une incidence positive sur la survenue d'une inondation dans une localité. Il s'agit du relief, de la proximité aux cours d'eau et aux plans d'eau, de leurs caractéristiques et leur état (niveau d'ensablement...), de l'existence de nappes phréatiques et leurs caractéristiques, des pentes, du couvert végétal, de l'occupation du sol, de la topographie, des débits des cours d'eau, mais également de la répartition de la pluviométrie, du ruissellement en surface, du réseau de drainage des eaux pluviales et de son état ainsi que des aspects liés à la typologie et aux paramètres d'infiltration du sol.

Tous ces paramètres, bien que non exhaustifs, peuvent difficilement être pris en compte en totalité dans une même étude du fait des problèmes d'accès aux données, ce qui nécessite que des choix soient opérés. Les données sur l'hydrologie (débits des cours d'eau, ruissellement en surface et dans le réseau d'évacuation des eaux pluviales), sur l'hydrogéologie (caractéristiques des cours d'eau et plans d'eau, nappes phréatiques) et sur la géologie se sont révélées difficilement mobilisables dans notre étude du fait du manque de données, de temps pour mener à bien de telles études et des moyens limités. La prise en compte de la variabilité spatiale de la pluviométrie était également impossible du fait de nos difficultés à avoir accès à des données au niveau des deux villes. Seules les chroniques pluviométriques d'une seule station par ville ont pu être mobilisées, ce qui a rendu caduque toute volonté d'analyse de la répartition spatiale des pluies au niveau des secteurs de chaque ville.

Malgré toutes ces limites, quelques données non négligeables ont tout de même pu être collectées sur certains facteurs qui ont ainsi montré leur efficacité à estimer les zones vulnérables du territoire. Il s'agit d'informations sur le relief, la pente, l'occupation du sol, la distance au cours d'eau et la typologie des sols.

❖ Relief

Les modèles numériques de terrain (MNT) proviennent des données SRTM téléchargées sur le site de la Nasa <https://earthdata.nasa.gov/>³⁰, et ont été utilisés pour cartographier le relief et déterminer les différentes altitudes de nos deux villes d'étude. La résolution des différents MNT était de 30 m (Image 1). Le relief est un facteur important de la vulnérabilité physique d'un territoire puisque les eaux s'écoulent des zones situées en hauteur vers les basfonds. Ces zones de basses altitudes ainsi que les terrains plats sont les premiers à être inondés. Les critères de relief retenus pour le relief proviennent de la subdivision des plages de relief des différentes villes en quantiles.

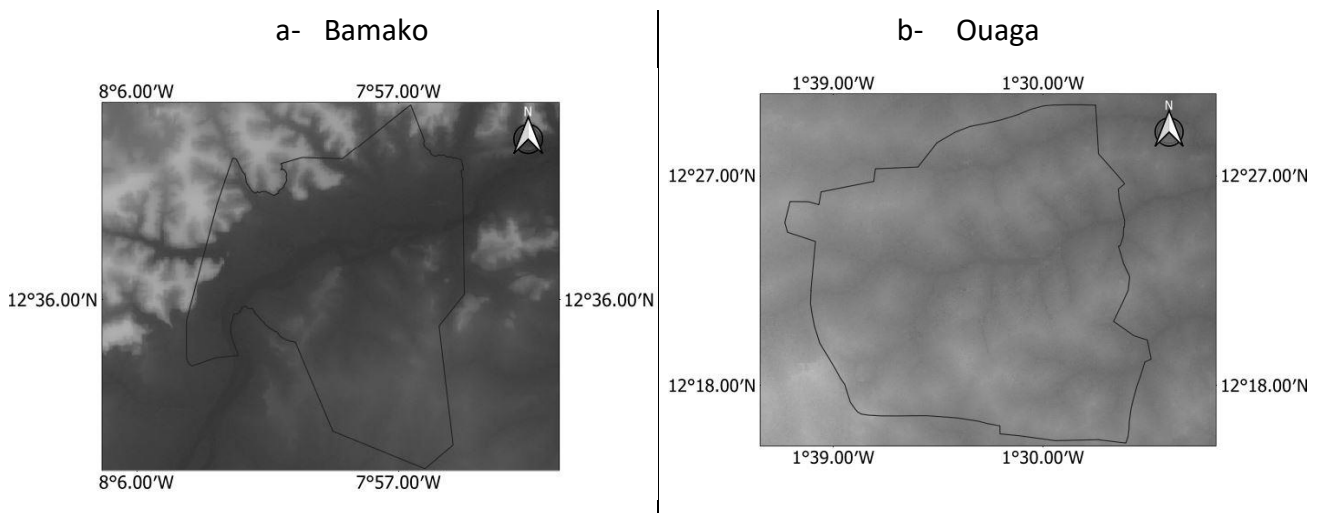


Image 1 : Modèle Numérique de Terrain de Ouagadougou et Bamako (source : nasa)

❖ Pente

L'influence de la pente sur les inondations a été prise en compte grâce à la réalisation d'une carte générale de pente, mais également au travers un indice topographique cartographié sur chaque zone d'étude : l'indice d'humidité topographique (TWI).

³⁰ La méthode de téléchargement est présentée sur le site <https://www.gislounge.com/download-30-meter-srtm-data-easily-with-this-point-and-click-interface/>

- La pente générale du territoire

La pente est un indicateur clé dans l'identification des zones vulnérables aux inondations. Plus la valeur de la pente est faible, plus le terrain est plat et susceptible d'être inondé. Un degré de pente plus élevé entraîne un ruissellement rapide et une augmentation de la vitesse des crues.

La carte des pentes a été élaborée en utilisant les outils d'analyse spatiale du logiciel Qgis et s'est appuyée sur les différents MNT collectés (cf. Partie I, chapitre 3.3.2.) . Pour éviter une certaine subjectivité dans l'analyse de l'influence de la pente aux inondations, nous avons calculé un indice d'humidité topographique rendant compte de la susceptibilité des territoires à accumuler l'eau.

- L'humidité topographique

L'indice d'humidité topographique (Quinn et al., 1991), en anglais *Topographic Wetness Index - TWI*, est un indice qui permet de quantifier l'effet de la topographie sur l'engorgement des sols et les processus hydrologiques en général. Il facilite l'identification des zones humides du fait de leur position dans le bassin versant. C'est un indicateur qui permet de déterminer les points d'accumulation de l'eau dans une zone avec des différences de pente. Il présente ainsi un intérêt certain dans la localisation des zones vulnérables sur le plan physique aux inondations. Cet indice est calculé grâce à l'équation II-11 :

$$TWI = \ln \frac{a}{\tan b} \quad Eq. II-2$$

Avec a la zone de contribution en amont (m²) ou zone d'accumulation de flux et b la pente en radians.

Comme on le voit, l'indice TWI est intrinsèquement lié à la pente. Pour se faire, le poids de la carte de l'humidité topographique dans la vulnérabilité est considéré comme inclus dans le poids global des pentes. Pour réaliser la carte de l'indice d'humidité topographique, nous avons utilisé le logiciel Qgis et les MNT des zones d'étude.

❖ Occupation du sol

Les cartes d'occupation du sol proviennent du traitement d'images satellites Landsat 8 (Figure II-7) téléchargées sur le site web du gouvernement américain <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Les périodes d'acquisition des images correspondent aux périodes d'enquêtes sociales réalisées à Ouagadougou et à Bamako. Le choix d'acquérir des images à la même période que les enquêtes s'explique par la nécessité d'assurer la comparabilité des vulnérabilités analysées. Le tableau II-10 présente un récapitulatif des images utilisées pour la cartographie de l'occupation du sol.

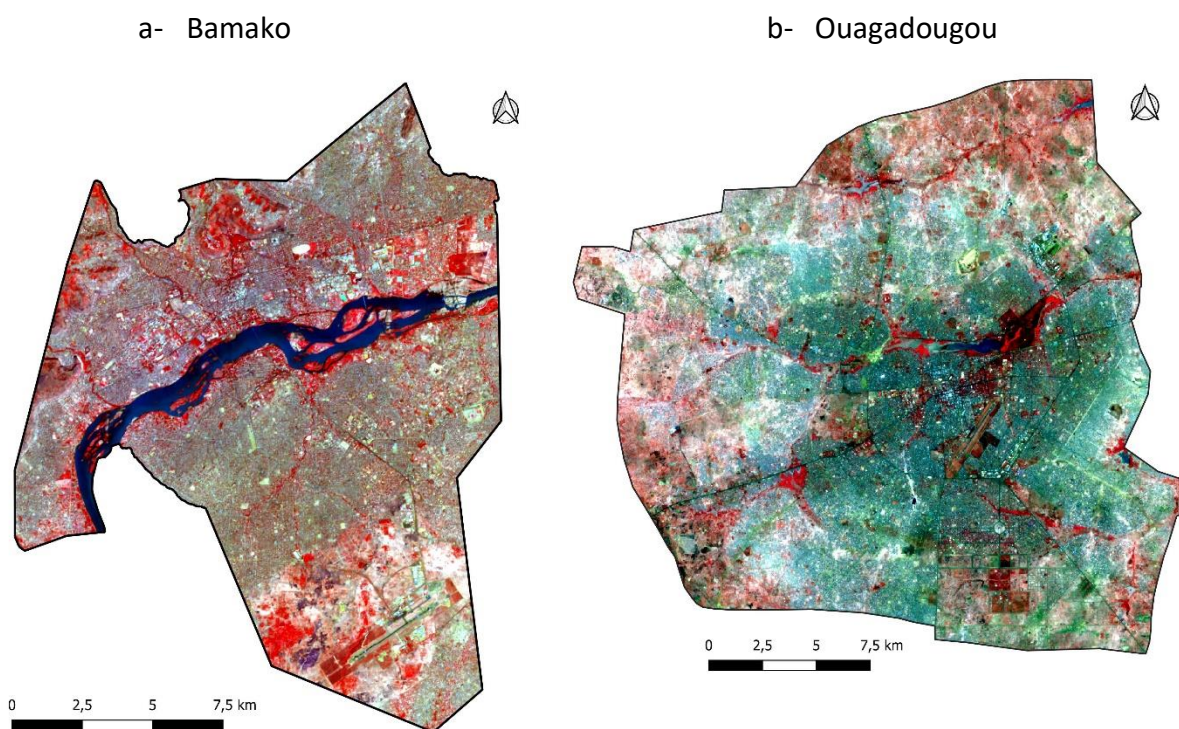


Figure II-7 : Images Landsat 8 de Bamako et Ouagadougou en composition fausse couleur (réalisation : auteur)

Tableau II-10 : Caractéristiques principales des images satellites utilisées pour déterminer l'occupation du sol à Ouagadougou et à Bamako

	Bamako	Ouagadougou
Nom du fichier téléchargé	LC08_L2SP_199051_20181224_20200829_02_T1	LC08_L2SP_195051_20170413_20200904_02_T1
Date d'acquisition	24/12/2018	13/04/2017
Nom du satellite	LANDSAT_8 OLI_TIRS	LANDSAT_8 OLI_TIRS
Lieu — système WRS Landsat	WRS_PATH=199 WRS_ROW=51	WRS_PATH=195 WRS_ROW=51
Système de coordonnées	EPSG 32629 WGS84/UTM zone 29 N	EPSG 32630 WGS84/UTM zone 30 N
Nombre de bandes spectrales	11	11
Format	.tif	.tif
Résolution spatiale	30 m Panchromatic (15 m) TIRS (100 m)	30 m Panchromatic (15 m) TIRS (100 m)

La technique de classification supervisée par la méthode du maximum de vraisemblance a été choisie pour l'élaboration de la carte d'occupation du sol. Cette méthode a été choisie dans notre étude parce qu'il s'agit du type de classification le plus utilisé dans la littérature, parce qu'il est supervisé et plus facile à mettre en œuvre (Masse, 2013). Elle s'est fondée sur l'utilisation de l'imagerie Landsat 8 et sur le calcul d'indices pour faciliter l'identification des différentes classes d'occupation du sol. En effet, les méthodes de classification supervisée exigent une bonne connaissance du terrain que le calcul d'indices permet d'assurer.

Différentes classes plus ou moins importantes et désagrégées sont utilisées dans la littérature pour caractériser l'occupation du sol et analyser la vulnérabilité d'un territoire. Par exemple, Ologunorisa (2004) a utilisé dans son étude sur la vulnérabilité aux inondations des zones du delta du Niger au Nigéria, trois classes en rapport avec les zones résidentielles (planifiées ou non), les zones industrielles et commerciales et les zones agricoles. Periyasamy et al. (2018) eux ont plutôt utilisé 17 classes pour la classification des zones vulnérables du district de Thiruvallur en Inde. Quelles que soient les études, nous pouvons retenir que les critères de classifications tiennent en général compte des zones urbaines, des zones occupées par la végétation, la forêt ou les espaces agricoles, des zones occupées par les cours d'eau, les plans d'eau, les lacs ou les réservoirs d'eau et des espaces nus que l'on retrouve sous la dénomination de zones rocheuses, de zones sableuses... Conformément à ces critères de la littérature, nous avons donc retenu quatre grandes classes pour l'occupation du sol : les surfaces bâties, la végétation, l'hydrographie et les terrains nus.

Ces différentes classes sont prises en compte au travers de la construction d'indices, jugés primordiaux dans la vulnérabilisation ou la résilience des territoires. Cette méthode de prise en compte d'indices liés au sol a été mise en œuvre par Deepak et al. (2020), dans leur étude sur les inondations de la municipalité d'Aluva en Inde. Ils ont utilisé en plus de la carte d'occupation du sol classique désagrégée en cinq classes (les zones bâties, les rizières, l'hydrographie, les terrains nus et la couverture arborée), une carte de couverture végétale également liée à l'occupation du sol et générée sur la base de l'indice NDVI (Normalized difference vegetation index). L'idée était de prendre en compte de manière spécifique la végétation puisque l'interception des pluies par le couvert végétal et l'infiltration des eaux augmentent avec le NDVI, ce qui rend le territoire plus vulnérable.

Dans notre étude, nous avons opté pour l'utilisation de l'indice de couverture végétale SAVI, d'un indice d'urbanisation UI et d'un indice de surface en eau AWEIsh. À la différence de la méthode appliquée par Deepak et al. (op.cit), nous utilisons ces indices pour avoir une

bonne connaissance du terrain, faciliter l'établissement de la carte d'occupation de sol et assurer sa qualité. En effet, cette carte prend déjà en compte le couvert végétal, les cours d'eau et les zones urbaines. Il est donc redondant d'établir d'autres cartes sur la base d'indices pour matérialiser le même impact du milieu physique sur la vulnérabilité. Il est par contre pertinent de mettre tout en œuvre pour améliorer la qualité de la carte d'occupation du sol.

L'utilisation des indices a été mise en œuvre avec succès pour la réalisation de carte d'occupation du sol par Passy et Thery (2018) qui ont utilisé la méthode des arbres de décision en lieu et place de la classification supervisée que nous avons utilisée. Cette technique des arbres de décision présente l'avantage de fournir une seule carte et ainsi de ne pas « suranalyser » un paramètre par la multiplication des cartes y afférant. Cependant, il se pose le problème des seuils à utiliser pour l'arbre de décision, d'où notre préférence pour les méthodes supervisées, mais en combinaison à l'usage d'indices.

Notre sélection des trois indices s'explique par le fait qu'ils ont une part non négligeable dans la survenue ou non des inondations dans une localité et leur prise en compte spécifique pourrait apporter un plus à l'analyse.

- L'indice de couverture végétale

Le couvert végétal intervient dans la réduction de la vulnérabilité des territoires grâce à sa capacité à retenir des proportions non négligeables d'eau. L'eau retenue par le couvert végétal est soustraite au ruissellement de surface ce qui constitue une barrière supplémentaire aux inondations. Les forêts par exemple sont susceptibles d'intercepter une partie des averses grâce à la frondaison et ainsi de limiter les quantités d'eau sujettes à un écoulement de surface. Par ailleurs, la présence de végétation permet d'améliorer les capacités d'infiltration du sol grâce aux systèmes racinaires en présence.

L'indice de végétation ajusté au sol et modifié (SAVI, Soil Adjusted Vegetation Index) proposé par Huete (1988) a été utilisé dans notre étude pour caractériser le couvert végétal des deux villes. Il a été calculé grâce aux images satellites Landsat 8, en utilisant les bandes 4 et 5 sur Qgis (équation II-12).

$$SAVI = \frac{NIR-Red}{(NIR+Red+L)} X (1 + L) = \frac{Bande\ 5-Bande\ 4}{Bande\ 5+Bande\ 4} x (1 + L) \quad Eq. II-32$$

Avec NIR= valeurs de pixel du canal proche infrarouge correspondant à la bande 5 pour Landsat8, Red= valeurs de pixel du canal rouge correspondant à la bande 4 dans Landsat 8 et L= coefficient en lien avec la surface de couvert végétal. Nous avons considéré L=0,5 correspondant au couvert végétal modéré rencontré en zone sahélienne.

Plus la valeur de SAVI est élevée, plus la couverture végétale est épaisse et moins le ruissellement de surface est intense. Par conséquent, des valeurs faibles de SAVI sont des indicateurs adaptés d'une augmentation de la vulnérabilité physique d'un territoire aux inondations.

- L'indice d'urbanisation

L'urbanisation intervient également de manière importante dans le ruissellement des eaux et le potentiel d'inondation d'une zone. Les zones bâties ont été mises en évidence dans notre étude grâce à l'indice urbain (UI) encore appelé Indice d'urbanisation par différence normalisée (NDBI) proposé par Zha et al. (2003).

$$UI = \frac{MIR2 - NIR}{(MIR2 + NIR)} = \frac{Bande7 - Bande5}{(Bande7 + Bande5)} \quad Eq. II-4$$

Avec MIR2 = valeur de pixel du canal d'onde courte infrarouge correspondant à la bande 7 pour Landsat 8 et NIR = valeur de pixel du canal proche infrarouge correspondant à la bande 5 pour Landsat 8.

- L'indice des surfaces en eau

Les surfaces en eau ont un impact important sur le potentiel d'inondation d'une zone. Un indice robuste permettant d'extraire ses surfaces en eau en une date donnée à partir d'image satellite multispectrale est l'indice AWEI (Automated Water Extraction Index). Il permet de discriminer facilement les surfaces en eau et les surfaces terrestres selon l'équation :

$$AWEI_{sh} = B + 2,5V - 1,5(PIR + MIR1) - 0,25MIR2 = Bande2 + 2,5x Bande3 - 1,5(Bande5 + Bande6) - 0,25Bande7, \quad Eq. II-5$$

avec B : valeur de pixel du canal Bleu, V : valeur de pixel du canal Vert, PIR : valeur de pixel du canal Proche Infra-Rouge et MIR : Valeur de pixel du canal Moyen Infra-Rouge

Une fois la carte d'occupation des sols établie par classification supervisée, une analyse est effectuée à travers la construction d'une matrice de confusion et le calcul de l'indice Kappa. L'indice Kappa est l'indice indiqué dans la majeure partie des publications pour valider la classification (Mama & Oloukoi, 2003; Masse, 2013). Pour construire la matrice, nous avons procédé à une vérification sur le terrain de la classification à travers l'utilisation de Google earth pro (Figure II-8). Des points de contrôle ont été analysés pour vérifier leur bonne classification par la méthode d'apprentissage supervisée. Au total, 625 points de contrôle ont été utilisés à Bamako contre 735 points à Ouagadougou. Ces points de contrôle étaient autant que possible dispersés sur l'ensemble de la zone d'étude pour assurer la qualité de l'analyse.

a- Bamako

b- Ouagadougou

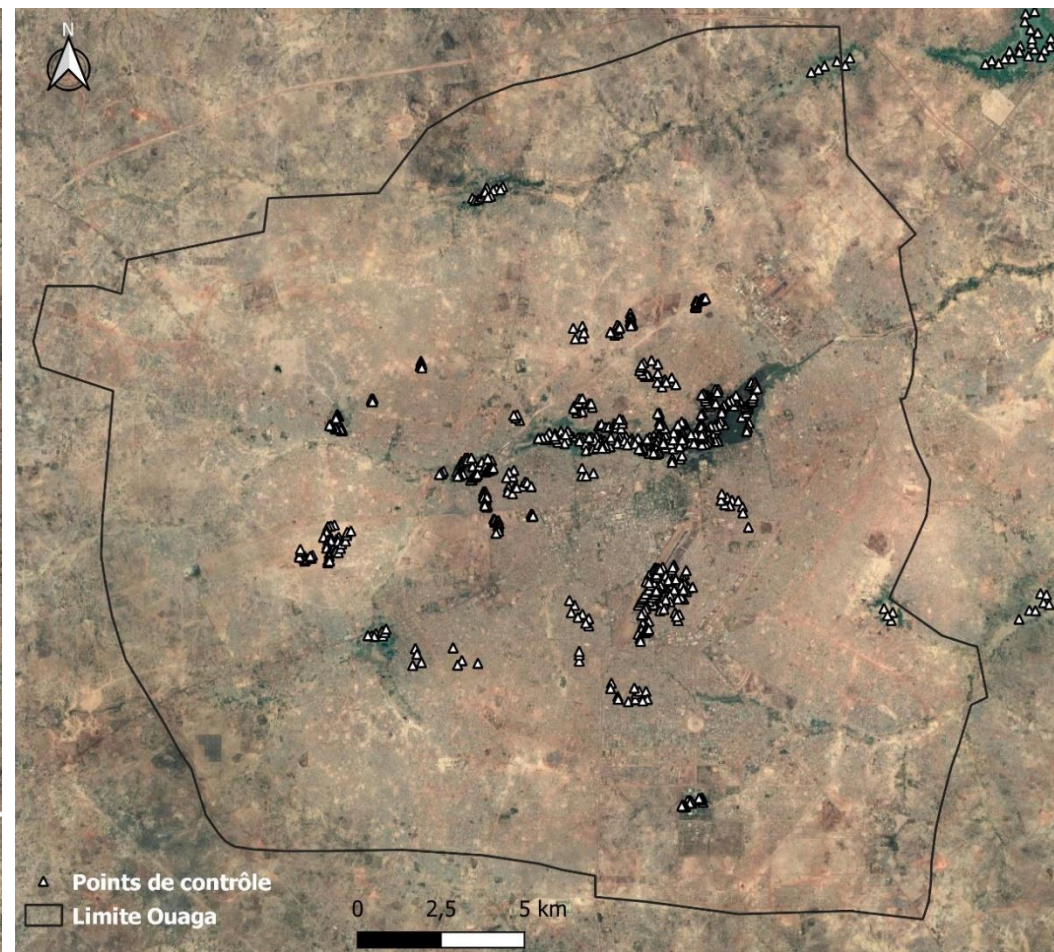


Figure II-8 : Points de contrôles à Bamako et Ouagadougou sur fond de carte google earth (source : auteur)

La matrice de confusion permet d'afficher les statistiques de précision de la classification d'une image et le pourcentage d'erreur effectué au niveau de chaque classe (Mama & Oloukoi, 2003). Le calcul de l'indice Kappa donne une idée de la précision de la classification (Equation II-15) :

$$Kappa = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}} \quad Eq. II-6$$

Avec N : Nombre de ligne et colonne dans la matrice de confusion X_{ii} : Observation dans la ligne i et la colonne i, X_{i+} : Total marginal de la ligne i, X_{+i} : Total marginal de la colonne i

❖ Distance au cours d'eau

C'est également un facteur important dans la l'occurrence d'une inondation. En effet, plus une zone est proche d'un cours d'eau ou d'un plan d'eau, plus elle est susceptible de subir un aléa provenant de ce plan d'eau, en l'occurrence une inondation par débordement de cours d'eau. La réglementation du Burkina Faso a fixé une distance à partir de laquelle une zone peut être considérée comme inondable ou submersible. Selon cette loi, les canaux primaires d'évacuation des eaux pluviales aménagés sont assortis d'une servitude de 100 m et les zones submersibles sont considérées comme comprises dans une bande de 200 m à partir de la servitude (Décret N°2009-793/PRES/PM/MHU/MATD/MEF/MID/MAHRH/MECV portant réglementation des servitudes des canaux primaires d'évacuation des eaux pluviales, des zones inondables inconstructibles et des zones submersibles dans la ville de Ouagadougou., 2009) et donc à une distance de 300 m des cours d'eau. Cette distance ne repose sur aucun critère objectif. Cependant, le seuil de 100 m et de 200 m a été également utilisé dans l'étude de Ologunorisa (2004) sur l'analyse de la vulnérabilité face aux inondations des localités situées dans le delta du Niger au Nigéria.

N'ayant pas d'autres justifications plus objectives, nous nous sommes aligné sur ses seuils (100 m, 200 m et 300 m) pour l'identification des zones vulnérables du fait de la proximité au cours d'eau. Les cours d'eau considérés pour cette étude sont les cours d'eau identifiés dans la BNDT pour la ville de Ouagadougou et dans le PDSU pour la ville de Bamako. Au niveau de Bamako, les cours d'eau des principaux marigots de la ville ont été utilisés. La figure II-9 présente une illustration du zonage utilisé pour la cartographie dans certains quartiers à Ouagadougou et Bamako.

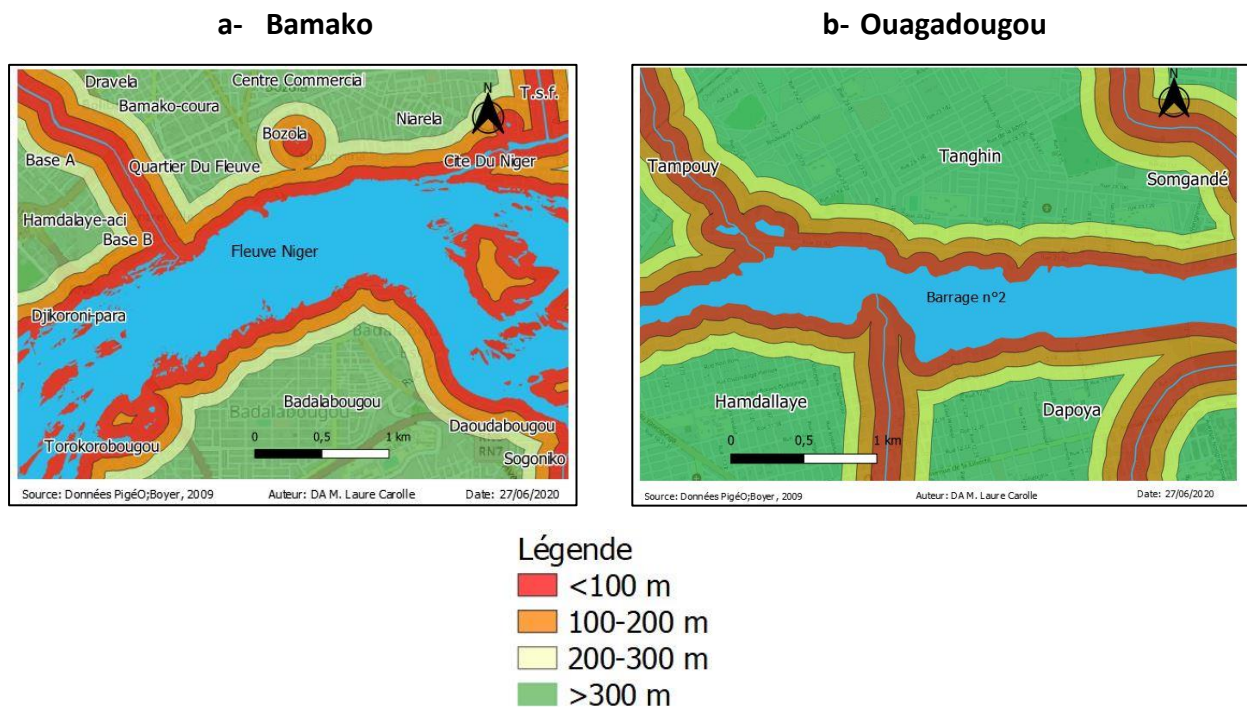


Figure II-9 : Matérialisation des seuils de distance au cours d'eau pour quelques quartiers de Bamako et Ouagadougou

❖ Typologie des sols

L'impact de la typologie des sols sur les inondations est assez important puisqu'ils contrôlent les quantités d'eau qui peuvent s'infiltrer ou ruisseler à la surface. La cartographie des types de sols rencontrés a été réalisée sur la base de données provenant du BUNASOLS pour la ville de Ouagadougou et d'une étude du bureau Ingerco datant de 2009 (Antea Group, 2020) pour la ville de Bamako.

Cependant la réalisation de cette cartographie a été confrontée à plusieurs limites. Les couches obtenues du Bunasol sont à une échelle grossière (échelle du pays) et ne permettent de mettre en évidence par découpage spatial que deux types de sols à Ouagadougou. Pourtant, la revue de littérature pour les types de sols à Ouagadougou (cf. Partie 1, chapitre 3) fait état d'au moins quatre types de sols pour la ville.

Il en est de même pour la cartographie des sols à Bamako, que nous avons pu réaliser en digitalisant la carte du bureau Ingerco sur les types de sols dans le district de Bamako et les communes voisines. Seuls deux types de sols ont pu être identifiés par cartographie, beaucoup moins que les types de sols mentionnés dans la littérature (cf. Partie 1, chapitre 3).

Tous nos efforts déployés pour obtenir des données plus précises sont restés vains. Pourtant, l'obtention de données plus précises sur l'occupation du sol dans le futur devrait permettre d'améliorer l'analyse de la vulnérabilité biophysique pour les deux villes.

4.3.2.2. Pondération par analyse multicritère

❖ Généralités sur les méthodes de pondération par analyse multicritère

L'analyse multicritère s'est vite démarquée dans notre étude comme méthode à privilégier pour la pondération des critères de vulnérabilité physique face aux inondations, du fait des nombreux avantages qu'elle offre en termes d'aide à la décision. C'est en effet une démarche qui intervient pour « faciliter les choix entre différentes décisions ou analyses dans des situations complexes, où plusieurs critères qualitatifs et quantitatifs entrent en jeu » (Renard & Chapon, 2010). Elle permet un classement de plusieurs alternatives suivant un ordre de préférence sur la base de plusieurs critères (Cherqui, 2005) aux unités parfois différentes. Elle s'appuie sur des techniques mathématiques qui permettent de prendre en considération l'analyse subjective d'experts pour formaliser un problème complexe. Le recours au jugement d'expert se justifie lorsque l'agrégation relativement objective de connaissances est impossible à formaliser autrement (Fulleringer, 1996).

L'enjeu d'une analyse multicritère réside dans le fait de trouver la solution ou l'alternative la plus adéquate à un problème multidimensionnel, en proposant une interprétation de l'ensemble des critères. Dans notre cas d'étude, il s'agissait de déterminer le poids à attribuer aux différentes couches en entrée de notre modèle de superposition. En effet, *la détermination de l'importance d'un critère par rapport à un autre est un enjeu majeur à la fois scientifique et politique* (Cherqui, 2005, p. 34). Il existe plusieurs méthodes de pondération utilisables lors de l'analyse multicritère (Cherqui, 2005) :

- les méthodes d'attribution de score (fixed point scoring) : elles permettent la répartition d'une somme de points sur l'ensemble des critères
- les méthodes d'analyse du jugement (judgement analysis) : elles permettent l'analyse de l'importance d'alternatives sur des échelles de 1 à 10, 1 à 20 ou 1 à 100 qui conduit in fine au calcul des poids des critères.
- Les méthodes de valeurs attendues (expected value method) : les poids sont attribués uniquement en fonction du classement des critères et de leur nombre

- la technique du jeu de cartes : il s'agit de distribuer un jeu de cartes sur lesquels sont inscrits les noms des critères aux décideurs qui devront classer les cartes en fonction de l'importance des critères
- l'arbre des pondérations : les critères sont décomposés sous forme d'arborescence dont le produit de pondération des embranchements sert à la pondération globale des critères.
- Les techniques de la logique floue (Fuzzy logic) : c'est une méthode d'aide à la décision qui permet de synthétiser des informations imprécises exprimées en langage naturel, fondée sur des degrés de satisfaction d'une condition.
- Les méthodes de comparaison par paire (paired comparison) : il s'agit de méthodes de comparaison deux à deux de critères après la détermination de coefficients de pondération. Les techniques les plus connues concernent la méthode AHP mise en œuvre par Saaty (1977) et la méthode MACBETH. L'AHP permet de mesurer le degré de priorité d'un critère tandis que la méthode MACBETH sert plutôt à l'analyse de l'attractivité.

Les techniques de la logique floue et les méthodes de comparaison par paire se sont révélées pertinentes dans de nombreuses études sur les vulnérabilités notamment dans l'analyse de la vulnérabilité de l'espace. « Elles présentent l'intérêt de pouvoir compiler des informations quantitatives objectives avec des informations subjectives telles que les avis des experts » Griot (2007). Les méthodes de comparaison par paires se révèlent plus simples d'utilisation, plus claires, plus souples et plus adaptables que les méthodes utilisant la logique floue. Pour ce faire, notre choix s'est porté sur ces méthodes pour l'analyse de la vulnérabilité biophysique.

❖ Description de la méthode d'AHP et mise en œuvre

L'analyse hiérarchique des procédés ou processus d'analyse hiérarchique (AHP) en anglais *Analytical Hierarchy Process* est une méthode d'analyse multicritère développée par Thomas Saaty dans les années 1980. C'est une technique d'aide à la décision qui permet d'examiner la cohérence et la logique des préférences d'experts vis-à-vis de la sélection de critères permettant de répondre à un problème donné. La mise en œuvre de la méthode AHP se fait en plusieurs étapes (Renard & Chapon, 2010) :

- **Analyse du problème** : il s'agit d'effectuer un recensement précis qualitatif et quantitatif des différents critères intervenant dans le problème c'est-à-dire de déterminer les facteurs de vulnérabilité sur la base de données existantes. Ces critères correspondent aux facteurs physiques identifiés au chapitre 4.3.2.1 comme ayant une influence sur la vulnérabilité des territoires.

- **Définition d'une arborescence hiérarchique de critères et de sous-critères :** il s'agit de construire une arborescence de critères et de sous-critères en respectant une relation d'interdépendance entre critères père et critères fils.

- **Détermination du poids des facteurs par comparaison deux par deux :** cette étape consiste à faire comparer par paire l'importance et la priorité relative de critères situés au même niveau de hiérarchie. La comparaison est effectuée par les experts en remplissant avec un degré d'importance numérique, une matrice triangulaire supérieure d'ordre égal au nombre de critères (Tableau II-11). Les degrés d'importance sont déterminés sur la base d'une échelle de comparaison binaire (Cf. Annexe 5), établie par Saaty (1981) et Griot (2003) cité par Renard et Chapon (2010).

Tableau II-11 : Matrice de comparaison binaire de critères à remplir par les experts

	Critère 1	Critère 2	Critère 3
Critère 1	1		
Critère 2		1	
Critère 3			1

N. B. Seule la partie supérieure du tableau est remplie par les experts, la partie inférieure contient les résultats réciproques.

- ❖ **Calcul des priorités relatives et étude de la cohérence des jugements :** ils ont été réalisés avec un fichier Excel par calcul de l'importance relative de chacun des éléments de la hiérarchie. Un indice de cohérence relative de la matrice est calculé sur la base des valeurs propres des matrices de comparaison. L'indice de cohérence est jugé acceptable pour des valeurs inférieures à 0,1.

- ❖ **Agrégation des réponses des experts et obtention des fonctions de vulnérabilité :** Si l'avis de plusieurs experts a été recueilli pour l'analyse, il importe que les différentes réponses soient agrégées pour obtenir une analyse unique. Pour y parvenir, la moyenne géométrique des jugements est déterminée et permet d'obtenir une matrice unique de comparaison. Il faut cependant rappeler que les matrices ayant un indice de cohérence non acceptable ne doivent pas être utilisées dans l'analyse. Pour cette étude, deux experts ont été sélectionnés par ville pour répondre aux questionnaires relatifs à l'analyse multicritère. Ces deux experts ont été choisis du fait de leur connaissance des territoires d'étude.

- ❖ Une fois les priorités établies au travers de fonctions de vulnérabilité, un travail de cartographie est réalisé suivant une méthodologie propre pour permettre une utilisation opérationnelle des résultats.

4.3.2.3. Représentation cartographique de la vulnérabilité biophysique

La méthodologie de cartographie de la vulnérabilité physique a reposé sur les techniques de superposition pondérée (figure II-10) mises en œuvre à travers les Systèmes d'Information Géographique. Le logiciel Qgis a été utilisé comme support de la démarche et a permis d'aboutir à la carte de vulnérabilité des deux territoires d'étude. Tout d'abord, les poids identifiés par AHP des différents facteurs ont été recensés. Ensuite, les différents facteurs ont été cartographiés sous forme rasters. Cette cartographie s'est fondée sur le reclassement des sous-critères selon une échelle commune de vulnérabilité allant de 1 à 4, 1 étant le niveau le plus faible et 4 le niveau le plus fort. Différentes cartes matricielles ont ainsi été créées pour tous les indices et critères considérés comme des facteurs de vulnérabilité physique. Enfin, les valeurs de cellule de chaque raster en entrée ont été multipliées par les pondérations de raster puis sommées pour générer le raster de vulnérabilité biophysique en sortie.

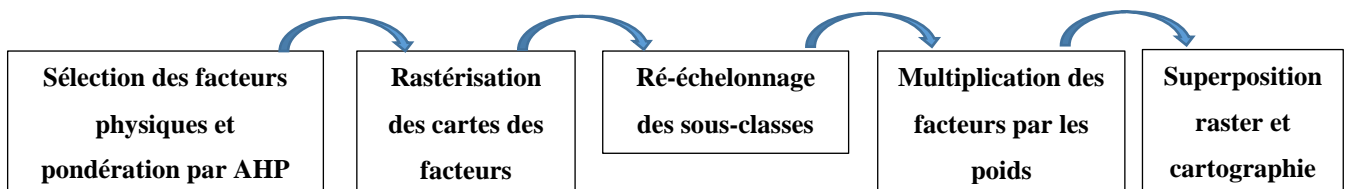


Figure II-10 : Étapes de réalisation des cartes de vulnérabilité biophysique par superposition pondérée

L'équation II-15 permet de modéliser la démarche de superposition des cartes matricielles pour obtenir la carte de vulnérabilité biophysique en réunissant les fonctionnalités offertes par les SIG et la méthode d'analyse hiérarchique :

$$VB = a([pente_{TWI}] + b [distance_{Cours\ Eau}] + c [Relief] + d [type_{sols}] + e([occupation\ de\ sol_{SAVI,UI,AWEI}]))$$

Eq. II-7

avec VB la vulnérabilité biophysique du territoire, a, b, c, d, e, f, g et h les poids déterminés par l'analyse hiérarchique des procédés, [pente_{TWI}], [distance_{cours d'eau}], [relief], [Type_{sol}] et [occupation de sol_{SAVI,UI,AWEI}] les cartes de l'humidité topographique, de la distance au cours d'eau, du relief et de l'occupation du sol respectivement.

Cette démarche employée correspond au processus de superposition productive utilisée par Periyasamy et al. (2018) pour déterminer les zones vulnérables aux inondations. Elle a abouti à la création d'une couche matricielle constituée de pixels représentant chacun des niveaux de vulnérabilité. Plus la valeur du pixel est élevée plus le niveau de vulnérabilité de la zone du pixel est grand. L'analyse spatiale de la distribution des valeurs des différents pixels

obtenus après superposition mathématique de plusieurs cartes sur les territoires d'étude permet ainsi de discriminer les zones les plus vulnérables sur le plan biophysique à Bamako et Ouagadougou.

Le fichier en sortie a permis d'obtenir la distribution spatiale et les variations d'intensité de vulnérabilité biophysiques à travers la commune de Ouagadougou et le district de Bamako. Les couches matricielles obtenues sont classées selon une approche normative fondée sur la méthode de découpage par seuils naturels (Jenks) sur Arcgis afin de discriminer les trois niveaux de vulnérabilité (faible, moyen et fort). Cette technique permet de répartir les entités de manière à regrouper les valeurs similaires et de maximiser les différences entre les classes³¹. La transformation de ces couches matricielles en fichiers vectoriels a servi pour le calcul des différentes surfaces vulnérables.

L'analyse de la vulnérabilité des services urbains à l'aléa biophysique a également été entreprise grâce aux techniques d'analyse spatiale (zones tampons et sélection par attribut et par localisation). Les villes de Ouagadougou et de Bamako disposent en effet d'une grande diversité de services urbains qui peuvent être sensibles sur le plan de leur exposition. Les services retenus pour cette analyse ont concerné les activités commerciales à travers la localisation des banques, centres commerciaux, hôtels et marchés et les domaines de la santé (centres hospitaliers, centres de santé et de promotion sociale, cliniques, dispensaires, pharmacies...), de l'éducation (écoles, lycées et universités), des organisations gouvernementales (commissariats, directions...) ou non (ambassades...), et des infrastructures (antenne de téléphonie mobile, château et cuve d'eau, bornes-fontaines, cuves à carburant, pylône...).

La démarche d'analyse de la vulnérabilité s'est voulue simpliste du fait du manque de données et de moyens techniques pour une analyse plus poussée. Elle a consisté en un affichage de chacune des couches en lien avec les différents enjeux des secteurs concernés. Pour la ville de Ouagadougou, la base nationale de données topographique (BNDT) a été utilisée en complément des données recueillies au niveau de la plateforme Pigéo. Pour la ville de Bamako, les données proviennent essentiellement du programme de développement social en milieu urbain (PDSU). Par ailleurs, la vulnérabilité du bâti a aussi été analysée à l'aide d'une estimation du parcellaire implanté dans la zone vulnérable. Les méthodes d'analyse spatiale ont également été utilisées pour cette analyse.

³¹ <https://pro.arcgis.com/fr/pro-app/latest/help/mapping/layer-properties/data-classification-methods.htm>, consulté le 17 juin 2020

Synthèse : Intérêts et limites des approches mobilisées pour l'analyse de la vulnérabilité biophysique

L'analyse de la vulnérabilité biophysique à travers la prise en compte des facteurs physiques des territoires est une donnée indispensable pour la gestion des risques. Elle permet en effet d'identifier les zones nécessitant une évacuation ou un déguerpissement et les zones prioritaires où la mise en œuvre d'aménagements se révèle nécessaire. Elle est appréhendée grâce à l'analyse de la nature de l'aléa, de sa fréquence d'occurrence, des dommages causés et de l'importance de l'exposition à l'aléa en lien avec la répartition spatiale et la sensibilité des différents enjeux. Cette analyse implique une approche globale multidimensionnelle qui prend en compte les particularités géographiques, historiques et environnementales des territoires. Elle amène à l'étude de l'ensemble des facteurs physiques environnementaux permettant de comprendre le fonctionnement du territoire et son lien avec la production des risques naturels. En d'autres termes, l'analyse de la vulnérabilité biophysique repose sur la modélisation des phénomènes à travers la prise en compte des nombreuses interactions qui existent entre différents facteurs. Elle permet de mettre en évidence l'influence des dynamiques démographiques et urbaines à l'échelle des zones d'étude.

Les méthodes d'analyse de la vulnérabilité biophysique ont été présentées dans ce chapitre conformément à notre démarche suivant le modèle IMReD. Elles ont été orientées sur le couplage d'approches probabilistes d'occurrence de l'aléa et de modèles d'estimation de l'exposition des enjeux structurels et infrastructurels grâce à l'utilisation des SIG. Ces méthodes d'analyse présentent un grand intérêt dans la planification, car elles offrent des outils d'aide à la décision, simples à mettre en œuvre pour permettre par exemple l'identification de zones d'hébergements d'urgence ou mettre en œuvre des actions spécifiques (aménagements ou reconstructions). L'analyse de la vulnérabilité biophysique vise en effet à réduire l'exposition des enjeux à travers la mise en œuvre de politique foncière limitant l'installation de nouveaux enjeux dans les zones à risque ou la protection des enjeux existants à travers par exemple l'endiguement (Fujiki, 2017).

Dans la continuité des méthodes adoptées présentées plus haut, le chapitre suivant est consacré à la présentation des résultats de l'application de ces méthodes.

Chapitre 5. La vulnérabilité biophysique au prisme de l'analyse de l'aléa à Ouagadougou et à Bamako

Introduction

Ce chapitre aborde les résultats des différents traitements proposés dans le chapitre 4 pour comprendre la vulnérabilité biophysique. Il présente les zones les plus sensibles aux dommages du fait des inondations et analyse le lien entre les catastrophes et la survenue d'évènements extrêmes. Il s'agit dans une première partie de retrouver les secteurs ou quartiers qui ont été les plus soumis aux impacts des inondations dans l'histoire des deux capitales (chapitre 5.1). Une fois ces secteurs identifiés, il s'agira de comprendre les facteurs de vulnérabilité de ces zones en analysant les évènements extrêmes et leur influence dans la survenue des catastrophes (chapitre 5.2), ainsi que les facteurs physiques et environnementaux qui favorisent les inondations dans les villes (chapitre 5.3). Une partie synthèse discute les résultats au regard de la littérature avant la conclusion de chapitre.

5. 1. Cartographie des inondations historiques

En rappel, la méthode de cartographie des inondations historiques a été abordée dans la section 4.1. Il ressort de l'application de ces méthodes que les différents secteurs et quartiers de Ouagadougou et Bamako présentent des particularités qui les définissent sur le plan géohistorique, urbanistique et environnemental. Ainsi, l'occurrence d'une inondation n'impacte pas de la même façon ces différentes zones urbaines (Cf. Annexe 6). Les figures II-11 et II-12 présentent un zonage de la fréquence des inondations respectivement dans les deux villes.

Globalement, il ressort de l'analyse de ces figures que les zones autour des cours d'eau et plans d'eau sont les plus touchées d'après les informations à notre disposition. Pour la ville de Ouagadougou, les secteurs centraux à proximité des barrages ainsi que la zone est, nord-est et sud-est sont particulièrement mentionnés dans la documentation comme des zones très souvent inondées. Le secteur 35, renfermant les quartiers de Marcoussi et Bissighin, est ainsi le plus sensible aux inondations d'après la revue géohistorique. À Bamako, c'est le quartier de Missabougou en commune 6 qui vient en tête de liste, suivi de secteurs tel que Banconi en commune 1, Niarela en commune 2, Sébénikoro et Kalabanbougou en commune 4 ainsi que Daoudabougou et Badalabougou en commune 5. La plupart des secteurs mentionnés sont connexes au fleuve Niger à l'exception du quartier Banconi qui lui renferme la rivière Banconi, une rivière réputée dans la ville pour être source d'inondation à chaque hivernage.

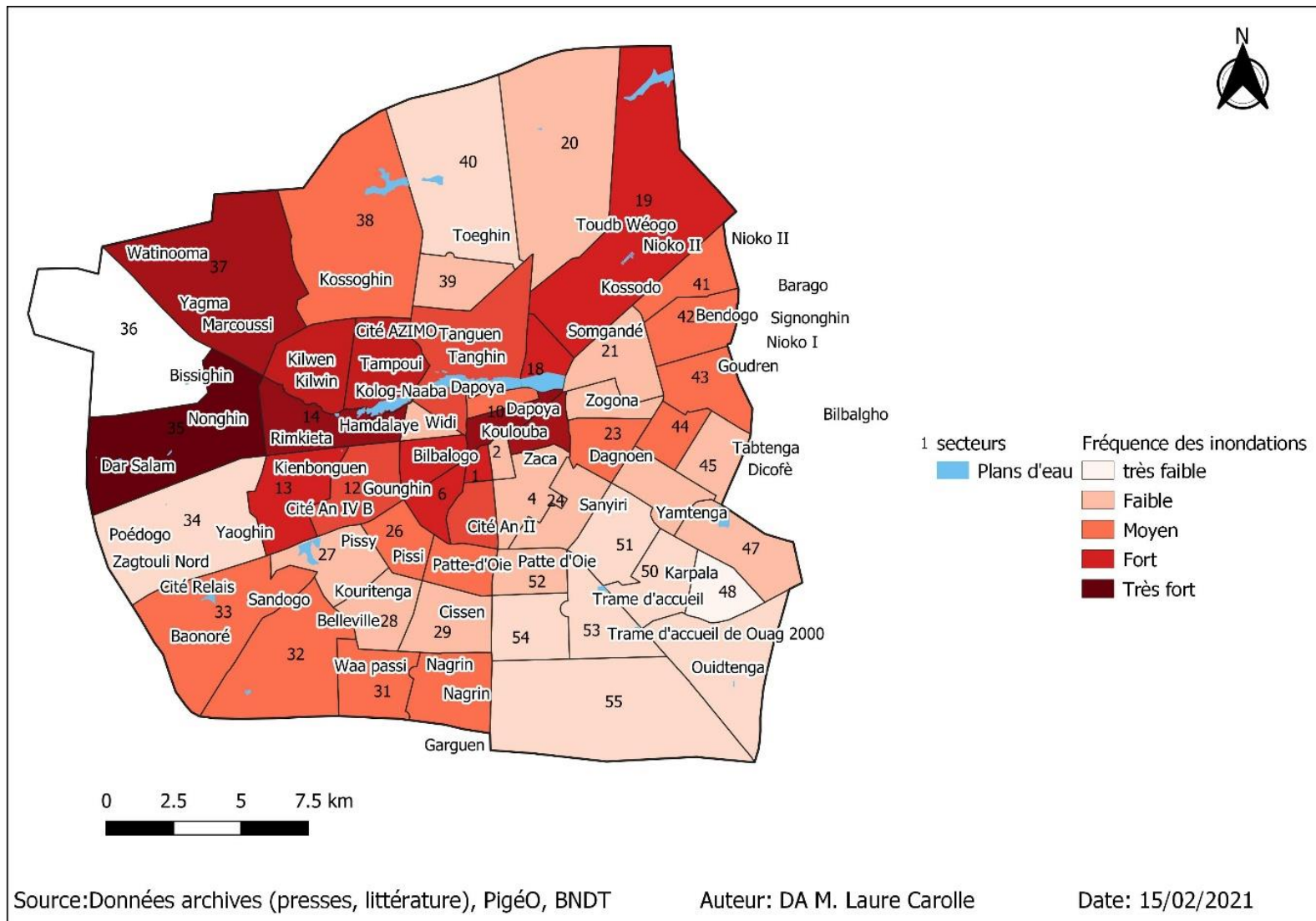


Figure II-11 : Carte des inondations historiques de 1991 à 2020 à Ouagadougou

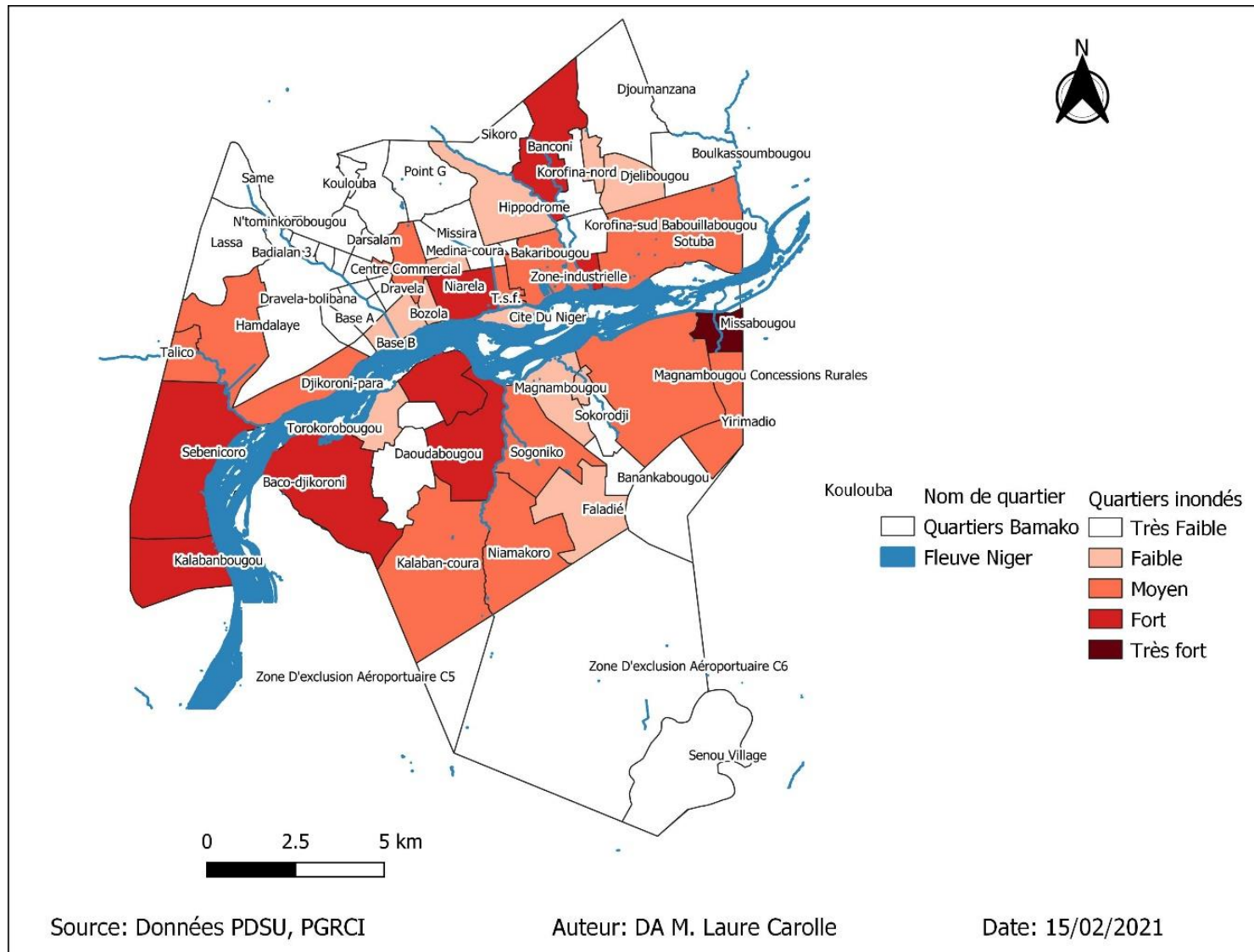


Figure II-12 : Carte des inondations historiques de 1967 à 2020 à Bamako

Les inondations en commune 6 dans la ville de Bamako seraient dues aux problèmes d'assainissement et de mauvais comportements des populations.

« À Bamako en commune 6, le problème c'est ça. C'est les collecteurs qui sont occupés et les caniveaux et les caniveaux qui servent de dépotoirs »

(Mr F.S., habitant de la commune 6).

Le collecteur de Missabougou de par sa construction (présence d'une sorte de siphon) se retrouve presque toujours bouché par les ordures entraînant des inondations en cas de forte pluie (entretien avec le responsable de l'assainissement, commune 6). Par contre, les quartiers situés en commune 2 et 3 tels que Koulouba, Badialan 3, Missira semblent moins faire les frais des inondations d'après l'analyse géohistorique. Cette situation s'explique par la présence plus importante d'ouvrages de drainage sur ces communes, et leur entretien par plusieurs acteurs du territoire. Cet état de fait est confirmé par le profil environnemental de Bamako (Banque mondiale, 2011) qui mentionnait que le réseau de caniveaux était limité à Bamako (de l'ordre de 17 %) à l'exception des communes 2 et 3 où les taux étaient de l'ordre de 45 %. Les autorités municipales confirment d'ailleurs ce constat :

« Ici [en commune 3], il y a des ouvrages qui sont là. Les grands collecteurs drainent les eaux et sont curés chaque année. Les caniveaux sont curés chaque année par la population même, les différents GIE, la société civile. L'association des jeunes cure les caniveaux ; c'est ce qui a évité les inondations. Je suis là depuis 2008 et je n'ai pas souvenir d'une inondation dans la commune » Élu local commune 3.

Nos résultats confirment que les inondations ayant eu lieu de par le passé ont principalement concerné pour le cas de Bamako les secteurs concernés par les servitudes des collecteurs naturels et les zones marécageuses occupées par des logements alors qu'elles sont à réhabiliter ou ne l'ont été que de manière inachevée. Ainsi les quartiers de Missabougou et TSF sont des zones caractérisées par l'habitat spontané et le manque d'infrastructure de drainage. Les zones de Magnambougou, Daoudabougou, Niamakoro, Sogoniko et Faladié sont situées le long de collecteur naturel et sont donc concernées par leurs servitudes. Le même constat est fait à Ouagadougou où la zone de Bissighin/Rimkieta en plus d'être une zone de basfond concentre des logements spontanés favorisant le fort impact de ces zones par les inondations pendant la saison hivernale.

Le profil géohistorique des villes de Ouagadougou et Bamako nous permet donc de conclure de l'intérêt de l'équipement des secteurs des deux villes en infrastructures de drainage. Cette étude géohistorique a également permis de mettre en évidence l'impact non négligeable des comportements des populations (installation en zone non planifiée) sur leur capacité à faire face aux inondations. Aussi, les quartiers et secteurs majoritairement touchés (que l'étude historique permet de mettre en lumière) sont une source importante à prendre en considération pour la compréhension de la vulnérabilité sociale des populations.

Bien que la détermination des zones les plus souvent inondées ait montré son intérêt, il ne nous renseigne cependant pas sur le caractère des pluies ayant entraîné ces inondations dans les deux villes. Était-ce des pluies de très forte intensité ? En d'autres termes, l'occurrence des inondations à Ouagadougou et à Bamako est-elle tributaire de pluviométries intenses ou peut-elle avoir une autre source ? C'est ce que nous abordons dans la section 5.2.

5. 2. Évaluation des évènements climatiques extrêmes

5.2.1. Détection des ruptures

Le tableau II-12 synthétise les résultats de la détection des ruptures et des tendances (en rappel pour les méthodes de détection, se référer à la section 4.2.5). Les différents tests statistiques appliqués aux précipitations annuelles des deux chroniques de données ont permis de déceler une tendance non significative à la baisse des précipitations à Bamako de 1950 à 2015 et à Ouagadougou de 1950 à 2017.

Tableau II-12 : Synthèse des tests pour la détection des tendances et des ruptures

Type de Test	Type d'analyses	Résultats			
		Ouagadougou		Bamako	
Test de corrélation sur le Rang	Caractère aléatoire des séries	Hypothèse nulle (Série chronologique aléatoire) acceptée au seuil de confiance 95 %, et 99 %	(Série aléatoire)	Hypothèse nulle (Série chronologique aléatoire) acceptée au seuil de confiance 95 %, et 99 %	(Série aléatoire)
Autocorrélogramme et son intervalle de confiance	Caractère aléatoire des séries	Série chronologique aléatoire au seuil de confiance de 95 % et 99 %		Série chronologique aléatoire au seuil de confiance de 99 % et 95 %	
Test de tendance de Mann-Kendall	Détection de tendance	$\tau = -0,147$, 2 -sided pvalue =0,077 951 tendance non significative à la baisse	non	$\tau = -0,135$, 2-sided pvalue =0,110 98 : tendance non significative à la baisse	non

Test de Buishand et ellipse de Bois	Détection de rupture	Hypothèse nulle (absence de rupture) rejetée au seuil de confiance de 90 %, 95 % et 99 %	Hypothèse nulle (absence de rupture) rejetée au seuil de confiance de 95 % et 90 %
Test de Mann-Whitney (Test de Pettitt)	Détection de rupture	Hypothèse nulle (absence de rupture) rejetée au seuil de confiance de 90 %, 95 % et 99 % Probabilité de dépassement de la valeur critique du test : 5,85 E-03 en 1976	Hypothèse nulle (Absence de rupture) acceptée au seuil de confiance 90 %, 90 %, et 95 % Probabilité de dépassement de la valeur critique du test : 4,63 E-02 en 1967
Procédure bayésienne de Lee et Heghinian	Détection de rupture	Rupture en 1976 Rupture en 2008	Rupture en 1967 Rupture en 2002
Procédure de Segmentation de Hubert pour les séries chronologiques	Détection de rupture	Niveau de significativité du test de Scheffé = 1 % : 2 sous-séries homogènes : 1960-1976 ; 1977-2008 ; 2009-2017	Niveau de significativité du test de Scheffé = 1 % : 1 série homogène : 1950- 1967 ; 1968-2002 ; 2002-2015

La plupart des tests appliqués convergent tous vers une rupture autour de 1976 à Ouagadougou et 1968 à Bamako. La procédure de segmentation de Hubert ainsi que la procédure bayésienne de Lee et Heghinian ont montré une deuxième rupture en 2008 à Ouagadougou et en 2002 à Bamako. Le test de Mann-Kendall a montré une tendance non significative à la baisse des précipitations annuelles pour les deux villes.

5.2.2. Comportement de la pluviométrie sur les périodes d'analyse

Le contrôle de la qualité des données n'a révélé aucune valeur aberrante ce qui atteste de leur fiabilité. Après le comblement des données, les deux séries chronologiques étaient complètes sans aucune lacune ce qui a permis leur utilisation pour mener à bien l'étude.

L'analyse de la pluviométrie de la période 1950 à 2015 pour Bamako et 1950 à 2017 pour Ouagadougou est consignée dans les figures II-13 et II-14. Sur celles-ci, nous avons également reporté les courbes des moyennes mobiles sur 5 et 7 ans, qui sont de bons indicateurs des grandes fluctuations interannuelles.

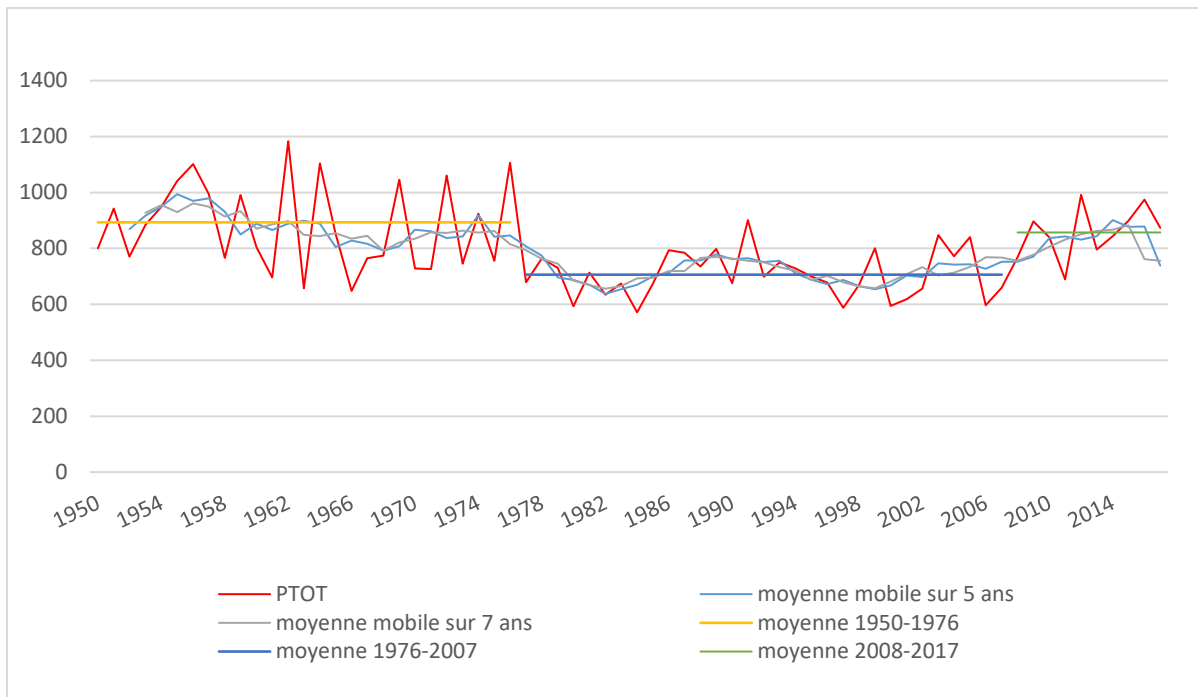


Figure II-13 : Variation interannuelle des précipitations de 1950 à 2017 à la station de l'aéroport de Ouagadougou

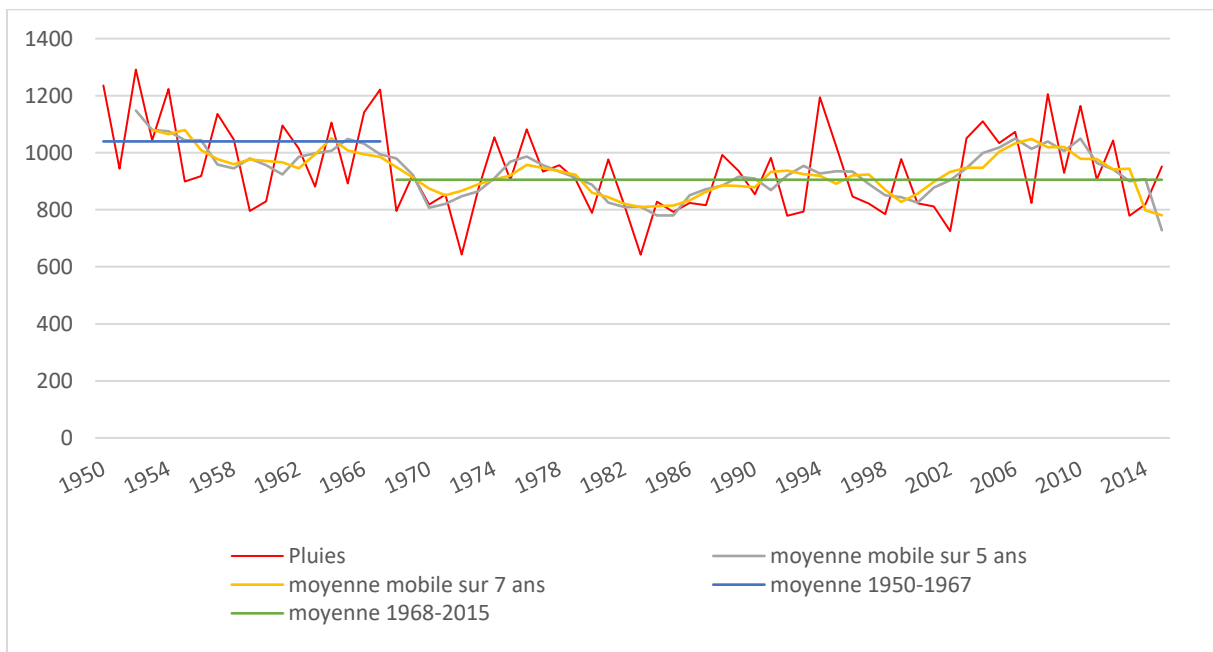


Figure II-14 : Variation interannuelle des précipitations de 1950 à 2015 à la station de Bamako-Sénou

Il ressort de l'analyse de ces figures que les précipitations à Ouagadougou ont une tendance générale à la hausse depuis 2007 tandis qu'à Bamako, la tendance générale est à la baisse. La moyenne interannuelle sur la période considérée est de 869,5 mm à Ouagadougou et 941,9 mm à Bamako. Sur les années analysées, on a moins de 50 % des hauteurs de précipitations supérieures à la moyenne (39,71 % et 43,94 % respectivement à Ouagadougou et à Bamako). Les précipitations sont donc majoritairement inférieures aux précipitations moyennes sur les périodes d'analyses ce qui montre une prédominance d'années moins bien arrosées que la moyenne. Les figures II-12 et II-13 montrent de plus que les décennies avant les grandes sécheresses des années 70 étaient plus arrosées avec une pluviométrie annuelle abondante pouvant approcher sinon dépasser les 1200 mm.

On arrive à distinguer trois périodes à travers l'analyse des figures II-15 et II-16 :

- une première période correspondant aux années humides où les précipitations étaient les plus abondantes, allant de 1950 à 1968 pour la ville de Bamako et se prolongeant jusqu'en 1976 pour Ouagadougou. C'est durant cette période que se situent les maxima de pluviométrie enregistrée dans les deux villes avec cependant des variations d'années en fonction des villes.
- une deuxième période, correspondant aux grandes sécheresses du Sahel des années 1970 mises en évidence par divers travaux (Bodian, 2014; Niang, 2008; Ozer et al., 2017)
- une troisième période correspondant à la période post année 2000. Elle est caractérisée par une amélioration des cumuls pluviométriques annuels et un retour de la pluviométrie avec cependant des intensités plus faibles que durant les décennies humides des années 1950.

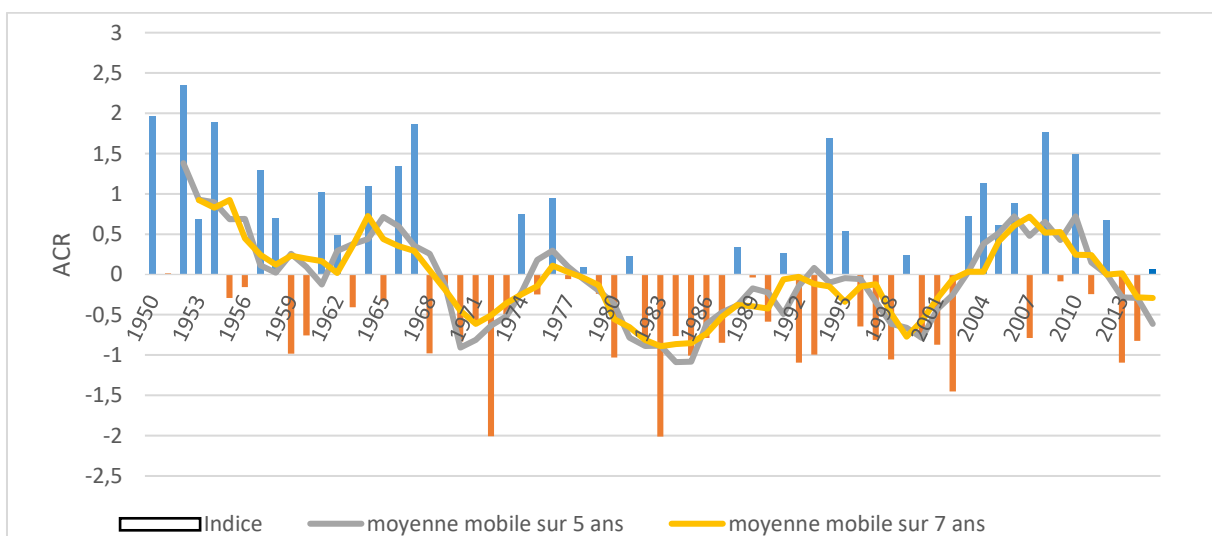


Figure II-15 : Évolution annuelle des précipitations de 1950 à 2015 à la station de Bamako-Sénou estimée sous forme d'anomalies centrées réduites ou indice d'anomalie pluviométrique

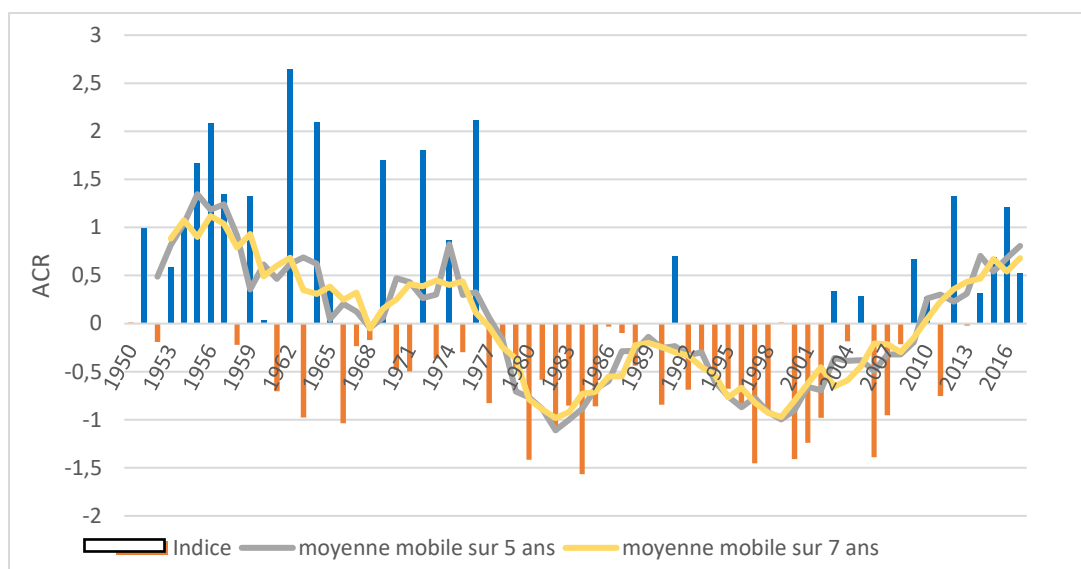


Figure II-16 : Évolution annuelle des précipitations de 1950 à 2015 à la station de Ouagadougou Aéroport, estimée sous forme d'anomalies centrées réduites ou indice d'anomalie pluviométrique

Les résultats (Figure II-15 et II-16) montrent la succession de trois périodes entrecoupées d'années humides et d'années sèches, avec un retour des précipitations excédentaires après 30 ans déficitaires. Cependant à Bamako, un retour à des années déficitaires semble amorcé depuis 2013, mais du fait du caractère récent de la situation, aucune certitude ne pourra être établie avant quelques années.

Les deux villes n'ont pas été affectées de la même manière par l'évolution pluviométrique. On remarque en effet à Ouagadougou un impact plus important avec juste trois années excédentaires relevées durant la période de grande sécheresse entre 1977 et 2007. Depuis 2007, les années ont été quasiment toutes excédentaires contrairement à Bamako qui a connu une succession d'années excédentaires et déficitaires depuis cette date. Il ressort par ailleurs qu'aucun excédent n'atteint celui des années humides de 1950. De plus, Ouagadougou a connu 4 années extrêmement humides ($SPI > 2$) concentrées dans la période humide avant 1976 contre seulement une année humide à Bamako en 1952. Pour ce qui concerne les années sèches, aucune année extrêmement sèche n'a été enregistrée à Ouagadougou qui a plutôt fait face à une année sévèrement sèche en 1984. Par contre, la ville de Bamako a fait face à deux années extrêmement sèches en 1972 et 1984 sans constater d'années sévèrement sèches. Bamako est ainsi plus sujet à des variations extrêmes interannuelles que Ouagadougou.

Comme on le voit, les villes de Bamako ont été marquées durant une longue période par la sécheresse. Même si l'on constate un retour de la pluviométrie globale sur les deux zones d'étude et dans le Sahel en général, il n'en demeure pas moins que les quantités récentes restent inférieures à celles des années humides. Cette augmentation du cumul annuel total est confirmée

par plusieurs études notamment celles de Descroît et al. (2013). Ainsi, si la survenue des inondations était uniquement en lien avec l'augmentation de la pluviométrie, l'on devrait se retrouver avec des fréquences d'inondation inférieures à celles des années 1950. L'analyse géohistorique a pourtant montré que depuis les années 2000, on assiste à une recrudescence du nombre d'inondations dans les deux villes (voir chapitre 2.1). Le facteur pluviométrique n'est donc pas le facteur principal qui intervient dans la survenue des inondations dans les villes d'étude.

5.2.3. Indices pluviométriques et tendances

Le tableau II-13 présente globalement les résultats de l'analyse des indices pluviométriques au cours des périodes d'analyse. En rappel, les formules de calculs des indices pluviométriques sont données en annexe 3.

Tableau II-13 : Synthèse des tests pour la détection des tendances et des ruptures

Indice	Tau de kendall		2-sided p-value		Tendance linéaire		Significativité		Tendances non linéaires (courbe Loess)					
	Bamako	Ouaga	Bamako	Ouaga	Bamako 1950- 2015	Ouaga	Bamako	Ouaga	Bamako			Ouaga		
PRCPTOT	-0,14	-0,14	0,096	0,074	Baisse	Baisse	non	non	1950	1990	2015	1950	1991	2017
JP	-0,091	-0,315	0,287	0,000 2	Baisse	Baisse	non	oui	1950	1981	2015	1950	1982	2017
SDII	-0,07	0,032	0,406 5	0,707	Baisse	Hausse	non	non	1950	1994	2015	1950	1991	2017
R10mm	-0,213	-0,196	0,014	0,021	Baisse	Baisse	oui	oui	1950	1978	2015	1950	1999	2017
R20mm	0,012	-0,139	0,898	0,104	Hausse	Baisse	non	non	1950	1979	2015	1950	1991	2017
CWD	-0,21	-0,12	0,024	0,178	Baisse	Baisse	oui	non	1950	1989	1997	2015	1950	1989
RX1day	-0,07	0,029	0,378	0,731	Baisse	Hausse	non	non	1950	1988	2015	1950	1991	2017
Rx5day	-0,105	0,009	0,213	0,916	Baisse	Hausse	non	non	1950	1991	2015	1950	1991	2017
R95p	-0,140	-0,015	0,096 9	0,857	Baisse	Baisse	non	non	1950	1994	2015	1950	1993	2017
R99p	-0,097	0,033	0,290	-0,715	Baisse	Hausse	non	non	1950	1975	2015	1950	1991	2017
R95pTOT	-0,096	0,023	0,299	0,783	Baisse	Hausse	non	non	1950	1995	2015	1950	1993	2017
R99pTOT	-0,119	0,052	0,156	0,566	Baisse	hausse	non	non	1950	1972	2015	1950	1991	2017

Il ressort de l'analyse des tendances que pour la ville de Bamako, 11 indices sur 12 sont à la baisse sur la période de 1950 à 2015. Pour la ville de Ouagadougou, 6 indices sur 12 sont à la baisse sur la période de 1950 à 2017. Pour chacune des villes, deux tendances sont statistiquement significatives à la baisse : il s'agit de R10mm et CWD à Bamako et de JP et R10mm pour la ville de Ouagadougou.

L'analyse des courbes de lissages a permis de constater que les tendances des indices ne sont pas toujours régulières. Ainsi, pour la majeure partie des indices, on peut constater deux phases distinctes à savoir une première tendance à la baisse ou à la stationnarité suivie d'une légère remontée.

Lorsqu'on analyse la contribution des pluies intenses et extrêmes au total des précipitations annuelles, on constate une tendance à la baisse à Bamako et une tendance à la hausse à Ouaga. Ces tendances ne sont cependant pas régulières comme le montrent les résultats de la régression non paramétrique de Loess.

5.2.4. Fréquence de retour des événements extrêmes

Les valeurs extrêmes des variables hydroclimatiques sont des données particulièrement utiles pour la gestion des risques (Kouassi et al., 2018). En effet, la connaissance de ces valeurs extrêmes peut permettre la mise en œuvre de mesure de protection adéquate pour la lutte contre les inondations (aménagement d'ouvrages dimensionnés sur la base de ces informations...). Dans notre étude, l'identification des valeurs extrêmes a revêtu un intérêt particulier, car sa mise en œuvre a permis une meilleure appréhension des causes des inondations. Pour y parvenir, il était nécessaire de pouvoir déterminer une loi théorique qui permette une bonne représentation de la fonction de distribution des pluies journalières maximales annuelles. Les résultats des quatre étapes à mettre en œuvre pour définir la loi théorique approchant au mieux la distribution des pluies et mettre en évidence les extrêmes pluviométriques sont présentés dans les paragraphes qui suivent. En rappel, le principe de ces étapes a été présenté dans la section 4.2.6.

5.2.4.1. Vérification des conditions d'application de l'analyse fréquentielle

Le tableau II-14 montre les résultats de l'application des tests d'indépendance, de stationnarité et d'homogénéité aux pluies journalières maximales annuelles des stations de Ouagadougou et de Bamako. En rappel, l'expression mathématique des différents tests est présentée en annexe 4.

Tableau II-14 : Résultats des tests d'hypothèses de l'analyse fréquentielle à Ouagadougou et à Bamako

Tests d'hypothèse	Valeurs statistiques		p		Conclusion	
	Ouagadougou	Bamako	Ouagadougou	Bamako	Ouagadougou	Bamako
Test d'indépendance de Wald-Wolfowitz	0,147	1,16	0,883	0,246	H ₀ accepté au seuil de significativité de 5 %	H ₀ accepté au seuil de significativité de 5 %
Test de stationnarité de Kendall	0,344	0,88	0,731	0,379	H ₀ accepté au seuil de significativité de 5 %	H ₀ accepté au seuil de significativité de 5 %
Test d'homogénéité de Wilcoxon	0,714 ==> sous-échantillon de 1950 à 1976	1,69	0,475	0,09	H ₀ au seuil de significativité de 5 % ; il ne peut pas être conclu que les moyennes des deux échantillons sont différents	H ₀ au seuil de significativité de 5 % ; il ne peut pas être conclu que les moyennes des deux échantillons sont différentes.
	1,47 ==> sous-échantillon de 1950 à 2008	0,911	0,140	0,362		

L'analyse du tableau permet de constater la validité des tests de stationnarité et d'indépendance pour les pluies maximales journalières au seuil statistique de 5 % (seuil de rejet de l'hypothèse H₀), quelle que soit la ville. De plus, le test d'homogénéité est accepté au seuil de significativité de 5 % sans que l'on puisse conclure de la différence entre les moyennes de deux échantillons.

Ces résultats permettent de conclure que les deux séries de pluies maximales journalières de Ouagadougou et de Bamako sont constituées de valeurs indépendantes, homogènes et stationnaires. Par conséquent, les conditions d'applications de l'analyse fréquentielle sont réunies pour les séries de pluies journalières maximales des stations des deux villes.

5.2.4.2. Analyse des paramètres des lois statistiques appliquées

Les paramètres de position μ , d'échelle α et de forme k pour les deux lois retenues (loi de Gumbel et loi GEV) ont été évalués et les résultats sont présentés dans le tableau II-15. Il ressort de cette analyse que les paramètres de position et d'échelle de la loi Gumbel sont supérieurs à ceux de la loi GEV, quelle que soit la ville. Ces paramètres varient en moyenne autour de 58 mm et 58,7 mm pour la position et de 15,17 mm et 13,15 mm pour l'échelle respectivement à Ouagadougou et à Bamako. Le paramètre de forme de la loi GEV est négatif dans les deux villes, ce qui signifie que la loi GEV correspondante est la loi de Fréchet (cf. Partie II, chapitre 4.2.6.3). Les fortes valeurs du paramètre d'échelle indiquent que les pluies journalières maximales annuelles des deux villes varient très fortement d'une fréquence à l'autre.

Tableau II-15 : Synthèse des tests pour la détection des tendances et des ruptures

Loi de probabilité	u (mm)		α (mm)		k	
	Ouaga	Bamako	Ouaga	Bamako	Ouaga	Bamako
GEV	57,13	58,48	14,15	12,83	-0,21	-0,09
Gumbel	58,90	59,00	16,19	13,46	-	-

5.2.4.3. Ajustement des pluies journalières maximales annuelles

L'ajustement des données de pluies journalières maximales annuelles des deux villes a été effectué avec la loi de Gumbel et celle de Fréchet avec un seuil de significativité de 5 %. Pour mieux apprécier la qualité de cet ajustement, un graphe de comparaison (Figure II-17 et II-18) par ville a été construit par superposition des deux modèles. Ces figures ont permis d'observer que la courbe relative à la loi de Gumbel est en dessous de celle de la loi de Fréchet à Bamako comme à Ouagadougou.

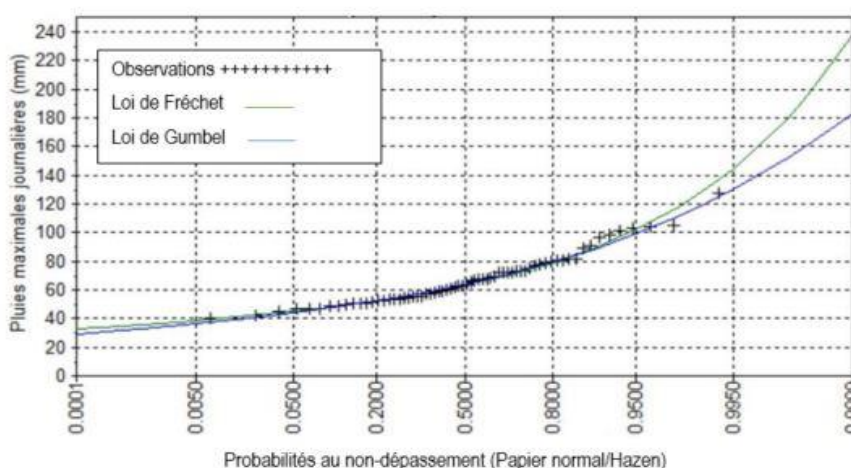


Figure II-17 : Comparaison des lissages des deux lois d'ajustement aux données de Bamako

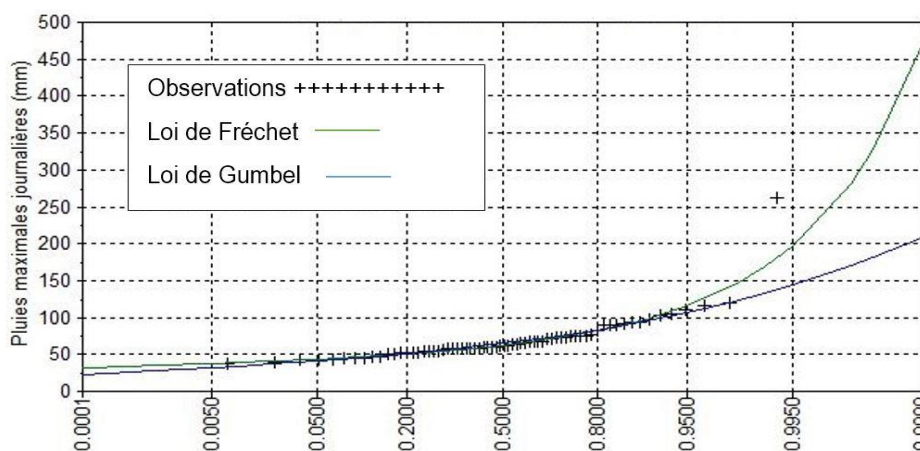


Figure II-18 : Comparaison des lissages des deux lois d'ajustement aux données de Ouagadougou

Les tests numériques de vérification de l'adéquation des ajustements (χ^2 , AIC et BIC) dont les résultats sont présentés dans les tableaux II- 16 et 17, ont permis de mieux apprécier la qualité relative des différents ajustements. L'application du test de χ^2 s'est révélée concluante pour les deux lois d'ajustement sur les pluies journalières maximales annuelles. Les deux lois ont ainsi été acceptées au seuil de significativité de 5 %. Le test de χ^2 à lui seul n'a donc pas permis de départager les deux lois (tableau II-16). Nous avons donc eu recours aux critères d'Akaike et bayésiens (tableau II-17).

Tableau II-16 : Synthèse des tests pour la détection des tendances et des ruptures

Lois de probabilité	χ^2		p	
	Bamako	Ouagadougou	Bamako	Ouagadougou
Fréchet (GEV)	4,30	4,06	0,636	0,669
Gumbel	2,79	5,82	0,903	0,561

Les résultats obtenus suite à l'application des critères d'Akaike et Bayésien permettent de constater que les valeurs sont assez rapprochées pour les deux lois. Pour la ville de Ouagadougou, la loi GEV de Fréchet est identifiée comme le meilleur modèle d'ajustement tandis que pour la ville de Bamako, c'est la loi de Gumbel qui reste le meilleur choix. En effet, la meilleure loi est celle qui présente les plus faibles valeurs des critères d'Akaike et bayésiens.

Tableau II-17 : Critères d'Akaike (AIC) et bayésiens (BIC)

Lois de probabilité	BIC		AIC	
	Bamako	Ouagadougou	Bamako	Ouagadougou
Fréchet (GEV)	564,600	604,103	558,031	597,445
Gumbel	561,058	609,789	556,678	605,342

Ces résultats sont confirmés par l'étude de Kaboré (2016) pour la ville de Ouagadougou, qui bien qu'utilisant une chronique moins longue que celle à notre disposition (1961-2014), a permis de parvenir au même résultat. Pour la ville de Bamako, à notre connaissance, aucune étude comparative entre lois de distribution n'a encore été réalisée. Notre étude montre donc tout son intérêt pour la ville de Bamako.

Le recoupage des résultats graphiques et numériques montre que le modèle GEV est plus performant à Ouagadougou alors qu'il est moins performant à Bamako. La loi GEV a donc été utilisée pour estimer les périodes de retour à Ouagadougou tandis que la loi Gumbel a été utilisée pour la ville de Bamako.

5.2.4.4. Analyse des résultats de la fréquence de retour des pluies journalières maximales.

Les figures II-19 et II-20 présentent les périodes de retour inférieures à 100 ans des pluies maximales journalières observées respectivement à Bamako et à Ouagadougou. Elles font ressortir les seuils de classification des événements pluvieux en fonction de la période de retour. Les pluies pouvant être considérées comme normales à Ouagadougou et Bamako sont des pluies d'une intensité inférieure à 80 mm en 24 h. Au-delà de 104 mm à Bamako et 122 mm de précipitation en 24 h à Ouagadougou, on se retrouve en face de phénomènes exceptionnels.

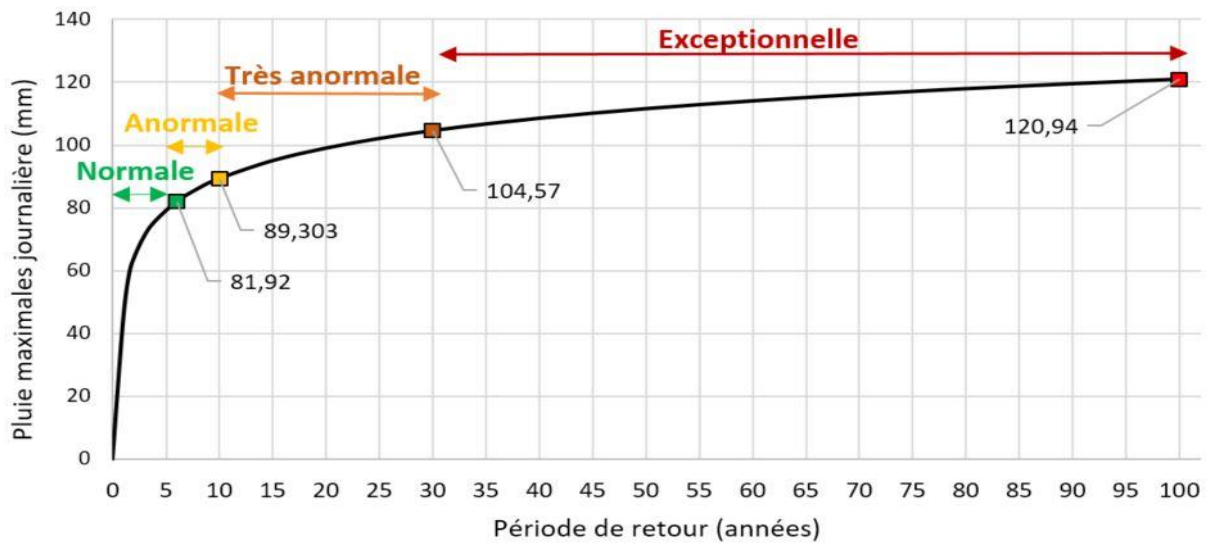


Figure II-19 : Classification par loi Gumbel des pluies maximales journalières à Bamako

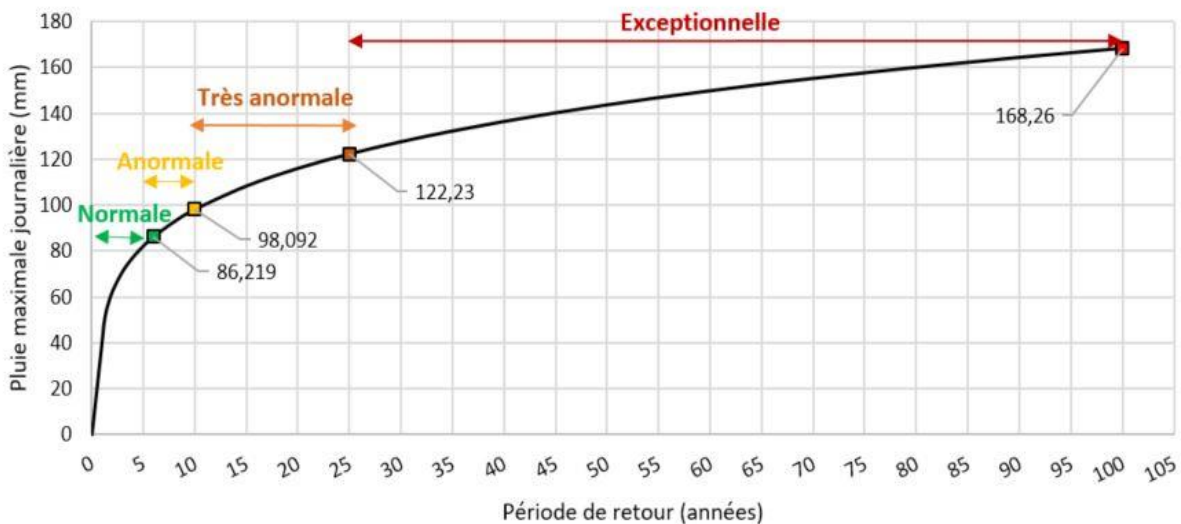


Figure II-20 : Classification par loi GEV des pluies maximales journalières à Ouagadougou

En outre, le tableau II-18 présente les fréquences de retour des pluies maximales journalières par ville. Il ressort de l'analyse des pluies maximales journalières étudiées que la majeure partie de ces pluies est classée dans la catégorie des événements de types normaux (80,88 % à Ouagadougou et 86,36 % à Bamako). Les phénomènes exceptionnels à très exceptionnels étaient rares dans nos chroniques d'études.

Tableau II-18 : Fréquence de retour des pluies maximales journalières annuelles

Type d'évènement	Fréquence d'apparition (nombre de pluies)		Pourcentage (%)		Pluviométrie (mm)	
	Ouagadougou	Bamako	Ouagadougou	Bamako	Ouagadougou	Bamako
Normal	55	57	80,88	86,36	≤86,2	≤81,9
Anormal	7	1	10,29	1,52	86,2-98,1	81,9-89,3
Très anormal	5	6	7,35	9,09	98,1-112,2	89,3-104,6
Exceptionnel	0	1	0	1,52	122,2-168,2	104,6-120,9
Très exceptionnel	1	1	1,47	1,52	>168,2	>120,9

Sur la base de la classification des pluies maximales journalières et de l'inventaire des inondations à Ouagadougou et à Bamako (voir chapitre 5.1), nous avons analysé la période de retour d'évènements qui ont causé des inondations dans les deux villes d'étude (Tableau II-19 et 20).

Tableau II-19 : Caractérisation des évènements historiques d'inondation en fonction des périodes de retour à Ouagadougou

	hauteur en moins de 24 h	Qualification	Pluie maximale de l'année	cumul des pluies sur 3 jours	cumul des pluies en 5 jours
10/08/1986	47,2	normale	oui	47,2	55,8
20/05/1991	105,2	très anormale	oui	105,2	112,6
02/06/1993	5,2	normale	non	46,6	51,1
10/09/1996	70,3	normale	oui	83,8	83,8
31/08/1996	21,7	normale	non	29,5	30,3
25/08/2002	58,1	normale	oui	58,1	59,8
01/06/2003	17,4	normale	non	21,4	21,9
22/07/2003	8,6	normale	non	8,6	16,2
06/07/2004	8,2	normale	non	8,2	35,7
20/06/2005	16,7	normale	non	16,7	28,8
10/07/2005	75,7	normale	oui	77,1	77,1
26/08/2007	116,7	très anormale	oui	131,6	131,6
05/09/2007	58,8	normale	non	58,8	77
25/05/2008	34,9	normale	non	34,9	34,9
18/07/2008	57	normale	non	57	67,7
19/07/2008	43,6	normale	non	100,6	111,3
25/08/2008	32,7	normale	non	33,6	61,5
08/07/2009	20	normale	non	36,7	36,7
01/09/2009	261,3	Très exceptionnelle	oui	263,4	279,3
26/04/2010	40,3	normale	non	40,3	40,3
28/07/2010	70,4	normale	oui	75,7	75,7
18/07/2011	43,8	normale	oui	44,3	66,5
24/07/2012	67,8	normale	oui	67,8	91,9
03/09/2013	47,9	normale	non	47,9	51,4
30/09/2013	67,3	normale	oui	67,3	67,3
19/08/2014	57,2	normale	oui	64,2	124,2
02/08/2015	15,1	normale	non	52,9	64,7
24/06/2015	67	normale	oui	67	74
20/07/2016	22,6	normale	non	152,2	153,8
09/08/2016	87,7	anormale	non	92,4	92,4
18/05/2017	96,6	anormale	oui	113,7	113,7
26/07/2018	100	très anormale	NP	>100	>100
04/07/2019	89	anormale	NP	>89	>89

Tableau II-20 : Caractérisation des évènements historiques d'inondation en fonction des périodes de retour à Bamako

	Hauteur en moins de 24 heures (mm)	Qualification	pluies maximales de l'année	cumul en 3 jours	cumul en 5 jours
12/10/1967	0	normale	non	3,3	3,3
04/08/1999	13,3	normale	non	35,7	42,7
15/09/2001	21,1	normale	non	45,8	45,8
01/08/2002	26,3	normale	non	26,7	44,6
07/09/2009	88,6	anormale	oui	105,5	153,8
28/08/2013	46,5	normale	oui	53,1	63,9
01/06/2014	34,5	normale	non	53,9	81,6
18/07/2015	45,7	normale	non	45,7	76,3
07/08/2016	40,9	normale	NP	48	93,9
10/08/2016	2	normale	NP	2	50
30/08/2016	5,1	normale	NP	5,1	>31
14/07/2017	4,1	normale	NP	31	>94
16/05/2019	138,3	Très exceptionnelle	NP	>138,3	>138,3
27/05/2020	92,9	très anormale	NP	92,9	92,9

Il ressort de l'analyse de ces tableaux que la plupart des évènements pluvieux ayant conduit à des inondations à Ouagadougou (78,79 %) et à Bamako (78,57 %) sont dus à des pluies normales qui étaient cependant intenses d'après la classification de Panthou (2013). En effet, les pluies qui ont engendré des inondations avaient une hauteur supérieure à 30 mm (seuil de précipitations intenses pour l'Afrique de l'Ouest d'après Panthou (op.cit.)) dans 50 % des cas à Bamako et dans 72,72 % des cas à Ouagadougou.

Les précipitations du 1^{er} septembre 2009 à Ouagadougou et du 16 mai 2019 à Bamako peuvent être qualifiées de « très exceptionnelles » du fait qu'elles n'ont pas été observées depuis plus de 100 ans même pendant les périodes humides à dominance de pluies excédentaires. Cependant, d'autres évènements pluvieux de moindre importance (<5 mm) à Bamako et à Ouagadougou et qui ont conduit à des inondations ont suscité notre réflexion sur les facteurs prépondérants dans la survenue des inondations dans les deux villes.

L'inondation du 12 octobre 1967 par exemple reste un évènement particulier au niveau de la ville de Bamako. Selon l'analyse de notre chronique pluviométrique, aucune pluie n'a été enregistrée ce jour à la station de Bamako. Cependant, nous n'avons pas eu à disposition d'informations sur les hauteurs de pluies dans d'autres secteurs de la ville à cette date. Aussi,

l'analyse de la littérature a montré que cette inondation était en majeure partie due au débordement du fleuve Niger provenant des apports des bassins versants en amont (Ferry et al., 2012). La pluviométrie du jour de l'inondation semble alors ne pas être en rapport avec cette inondation.

Pour comprendre les autres événements, qui n'étaient pas tous en lien avec le débordement de cours d'eau, nous nous sommes intéressée à l'analyse de la répétitivité des jours de pluie sur la survenue des inondations. L'hypothèse que l'on pouvait faire était que les inondations les jours où les pluies sont faibles s'expliquent par un cumul important de pluies les jours précédents l'inondation, qui entraîne une saturation des sols. Pour vérifier cette hypothèse, nous avons calculé le cumul pluviométrique des précipitations sur les cinq jours précédents les inondations. Il ressort de cette analyse que plus de 90 % des inondations qui ont eu lieu à Bamako (92,85 %) et à Ouagadougou (90,91 %) présentent un cumul de précipitations sur cinq jours supérieurs à 30 mm (seuil des pluies intenses). Dans plus de 70 % des cas dans les deux villes, les pluies les plus importantes sont tombées dans les 3 jours précédant l'inondation et avaient une hauteur de plus de 10 mm (seuil de pluies fortes selon la classification de l'ETCCDMI). Ainsi, au-delà de l'intensité des pluies, leur répétitivité pendant plusieurs jours peut être un facteur explicatif des inondations, d'autant plus si les conditions de drainage des eaux ne sont pas optimales.

Il faut cependant noter que les deux tableaux historiques présentés ne retracent pas tous les événements historiques d'inondations qui ont pu se dérouler sur les territoires durant les périodes analysées. En effet, pour certains événements mentionnés par la presse ou la littérature, les informations précises sur les dates des événements (jour et mois) étaient parfois occultées. C'est le cas par exemple lorsque Diawara (2019) mentionne des inondations à Bamako en 1969, 1994 et 1999. Sans informations plus précises sur ces inondations, il était difficile de retrouver les pluviométries à la base de ces inondations et d'en faire une classification. Aussi, certaines inondations se sont déroulées durant plusieurs jours consécutifs et ont été mentionnées comme tels dans la littérature (par exemple les inondations de septembre 2018 à Bamako et d'août 2020 à Ouagadougou). Ces inondations n'ont également pas été mentionnées dans les tableaux.

Il faut noter également des limites par rapport aux données historiques en lien avec la non-prise en compte de la variabilité spatiale de la pluviométrie. En effet, les données collectées concernent les pluies recueillies en un point précis de la ville. Pour un même événement pluviométrique, les hauteurs de pluie tombées varient en fonction des différents quartiers. Ainsi, les hauteurs identifiées dans les deux tableaux ne le sont qu'à titre indicatif. D'ailleurs, certains

articles de presse ont noté ces variations spatiales des hauteurs ayant entraîné des inondations. Par exemple, l'inondation du 24 juin 2015 à Ouagadougou a fait suite à une pluie de 67 mm avec 80 mm par endroit. À Bamako, l'inondation du 1^{er} août 2002 a été causée selon la presse par des hauteurs de pluies de 81 mm alors qu'à la station de Bamako-Sénou, une hauteur de 26,3 mm a été enregistrée. Malgré ces limites, la méthode employée reste un indicateur des facteurs intervenant dans la survenue d'une inondation en ville.

Au regard des données, nous pouvons conclure que l'intensité des pluies joue un rôle important dans la survenue des inondations. Cependant, elle n'explique pas à elle seule les inondations dans les villes de Ouagadougou et de Bamako puisque certaines inondations répertoriées n'étaient ni en lien avec l'intensité pluvieuse, ni en lien avec le cumul pluviométrique. Les facteurs physiques et environnementaux comme l'occupation du sol, les pentes (à travers l'humidité topographique abordée au chapitre 4.3.2.1), la distance au cours d'eau, les types de sols et l'occupation du sol interviennent également dans la survenue des inondations d'après la littérature. Leur influence dans la survenue des inondations et donc dans la vulnérabilité biophysique est abordée dans les sections suivantes.

5.3. Les facteurs physiques liés au territoire comme catalyseurs des inondations à Ouagadougou et à Bamako

5.3.1. Estimation de la qualité de la carte d'occupation du sol

La qualité des cartes d'occupation du sol élaborées (cf. annexe 7-c) pour évaluer la vulnérabilité biophysique a été analysée au travers de la construction de matrices de confusion et du calcul de l'indice Kappa. Ces matrices de confusion sont présentées pour chacune des villes dans le tableau II-21. En rappel, la méthode d'obtention de la matrice a été présentée en section 4.3.2.1 et l'équation II-12 a permis de calculer l'indice Kappa.

Tableau II-21 : Matrices de confusion associées à la classification de l'occupation du sol à Ouagadougou et Bamako

OUAGADOUGOU	Eau	Végétation	Zone urbaine	Sol nu	Total	Erreur de commission	Précision d'utilisation
Eau	152	0	1	0	153	0	100
Végétation	8	166	1	29	204	14,70	85,29
Zone urbaine	20	1	163	35	219	15,98	84,01
Sol nu	11	16	5	127	159	13,20	86,79
Total	191	183	170	191	735		
erreur d'omission	20,41	9,28	4,11	0,33		16,19	
précision de production	79,58	90,71	95,88	66,49			82,72

BAMAKO	Eau	Végétation	Zone urbaine	Sol nu	Total	Erreur de commission	Précision d'utilisation
Eau	37	0	0	0	37	0	100
Végétation	0	180	1	16	197	8,62	91,37
Zone urbaine	0	0	214	5	219	2,28	97,71
Sol nu	0	2	63	107	172	37,79	62,209
Total	37	182	278	128	625		
erreur d'omission	0	1,09	23,02	0,16		13,92	
précision de production	100	98,99	76,97	83,59			86,08

Pour la ville de Bamako, la précision moyenne de la classification est de 86,22 % avec une estimation du coefficient Kappa de 0,79 (79 %). Pour la ville de Ouagadougou, la précision moyenne de la classification est de 82,72 % avec un indice Kappa de 0,77 (77,01 %). Du fait de ces valeurs, nous pouvons donc considérer la classification de l'occupation du sol réalisée par méthode de classification supervisée comme valable pour les deux villes.

5.3.2. Reclassification des sous-critères des facteurs de vulnérabilité

Les facteurs de vulnérabilité identifiés dans la partie méthodologie comme participant à la vulnérabilisation du territoire sont de cinq ordres : la pédologie, l'occupation du sol, les pentes, la distance au cours d'eau et le relief. La reclassification des classes des différents facteurs en fonction de scores de vulnérabilité allant de 1 à 4 est présentée dans le tableau II-22.

Tableau II-22 : Scores et classes des différents facteurs de vulnérabilité biophysique

	Facteurs	Classes		Rang
		Bamako	Ouagadougou	
1	Type de Sols	lithosols	Sols peu évolués	1
		Luvisols	Sols hydromorphes	2
2	Occupation du sol	Plans d'eau	Plans d'eau	4
		Zones bâties	Zones bâties	3
		Terrains nus	Terrains nus	2
		Végétation	Végétation	1
3	Pente- Indice TWI	<13,9	<6,9	1
		13.9-14.7	6,9-7,7	2
		14.7-16.2	7,7-9,1	3
		>16.2	>9,1	4
4	Proximité au cours d'eau (m)	<100 m	<100 m	4
		100-200 m	100-200 m	3
		200-300 m	200-300 m	2
		>300m	>300m	1
5	Relief	<338	<297	4
		338-363	297-308	3
		363-438	308-326	2
		>438	>326	1

5.3.3. Pondération des facteurs par méthodes AHP

Afin d'estimer les poids relatifs de chaque indicateur retenu pour analyser la vulnérabilité biophysique à l'aide de la méthode AHP, la comparaison par paire des indicateurs est effectuée en première étape. Le tableau II- 23 présente les résultats de cette première étape.

Tableau II-23 : Résultats de la comparaison par paire des indicateurs de vulnérabilité

Indicateurs de vulnérabilité Ouagadougou	Pente	Altitude	Proximité cours d'eau	Sols	Occupation_sol
Pente	1	1	1/9	1	1/9
Altitude	1	1	1/9	1/3	1/9
Proximité cours d'eau	9	9	1	9	1
Sols	1	3	1/9	1	1/5
Occupation du sol	9	9	1	5	1

Indicateurs de vulnérabilité à Bamako	pente	altitude	occupation du sol	Proximité cours d'eau	Types de sol
pente	1	1/3	5	3	5
altitude	3	1	9	3	9
occupation du sol	0,20	0,11	1	1/3	1
Proximité cours d'eau	0,33	0,33	3	1	9
Types de sol	0,20	0,11	1	0,11	1

On note une différence de pondération en fonction des villes. Par exemple à Ouagadougou, les critères « pente » et « type de sol » ont été estimés au même degré d'importance (degré d'importance de 1) dans l'explication de la vulnérabilité biophysique alors qu'à Bamako, la pente était perçue comme étant plus importante (degré d'importance de 5) que le critère sol.

Les poids calculés à partir de la comparaison par paire sont présentés au tableau II-24. Ils rendent compte des décisions des experts interrogés.

Tableau II-24 : Poids des indicateurs de vulnérabilité par ville

	pente	Relief	occupation sol	Proximité cours d'eau	Sols
Bamako	0,251	0,480	0,048	0,180	0,042
Ouagadougou	0,049	0,041	0,393	0,442	0,074

Pour la ville de Bamako, l'indicateur relief vient en première position dans la vulnérabilité biophysique, suivi de la pente. À Ouagadougou par contre, c'est le critère proximité au cours d'eau qui surpasse les autres critères, suivi du critère occupation du sol.

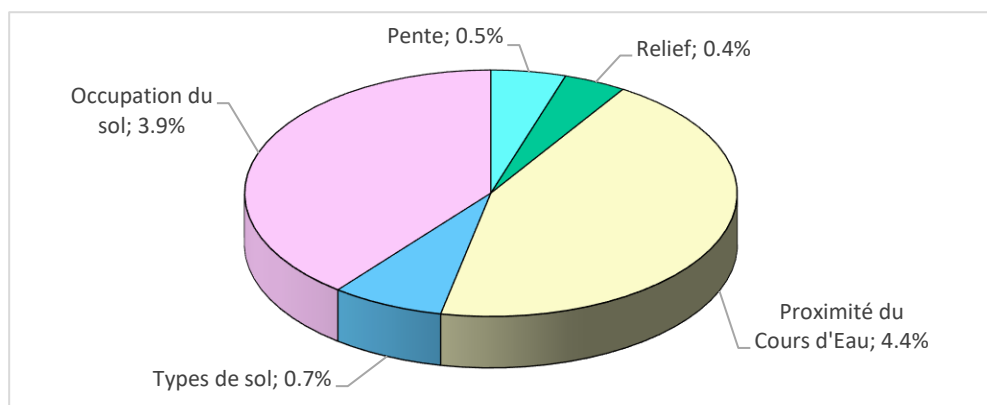
La cohérence des jugements a été analysée à l'aide du calcul d'un ratio de cohérence et d'un indice de cohérence, proposés par Saaty (1977).

L'AHP réalisée dans cette étude s'est fondée sur l'avis de deux experts par villes. Cependant, au moins un des questionnaires ne répondait pas aux critères de cohérence ($CR < 0,1$). Par conséquent, nous n'avons utilisé que l'avis d'un expert par ville.

Ces résultats (50 % de non-cohérence) révèlent la difficulté de compréhension et de mise en œuvre de l'AHP, même par des experts du territoire. Elle met en lumière la nécessité d'une amélioration par la prise en compte des réponses d'un plus grand nombre d'experts du territoire.

Pour chaque expert retenu, l'indice de cohérence estimé à 0,035 et 0,08 et le coefficient de cohérence de 0,03 et 0,07 respectivement Bamako et à Ouagadougou. Du fait de la validité de ces résultats, les poids attribués aux indicateurs de vulnérabilité biophysique ont été conservés (Figure II-21).

A



B

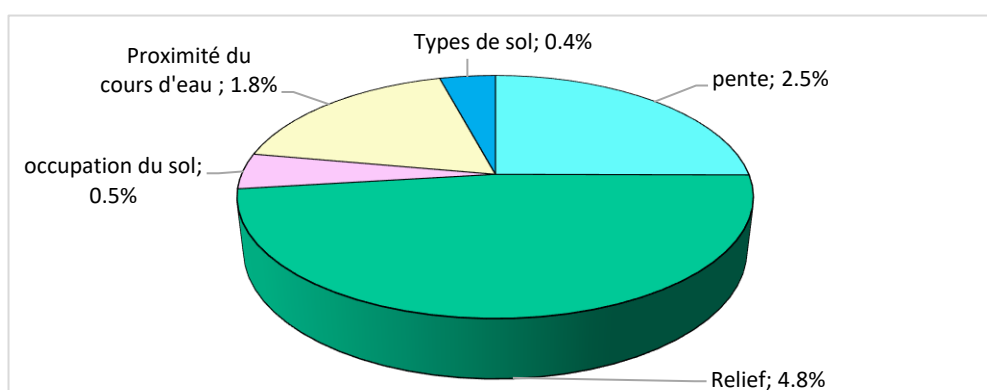


Figure II-21 : Priorités relatives contenues dans la fonction de vulnérabilité physique à Ouagadougou (A) et à Bamako (B)

Par ailleurs, les résultats de l'analyse hiérarchique révèlent une différence de pondération en fonction des villes d'étude. Les critères les plus importants selon l'analyse des experts concernent à Bamako la pente (25,1 %) et le relief (48 %) tandis qu'à Ouagadougou, ils concernent la proximité au cours d'eau (44,2 %) et l'occupation du sol (39,3 %). Ces résultats confirment les différences morphologiques au niveau des deux territoires. En effet, Ouagadougou est une ville relativement plate avec très peu de relief contrairement à Bamako. Le critère des pentes y exerce donc moins d'influence sur les inondations que l'occupation du sol ou la proximité au cours d'eau.

5.3.4. Représentation cartographique de la vulnérabilité biophysique des villes de Ouagadougou et de Bamako

Les cartes des différents facteurs retenus pour l'analyse de la vulnérabilité biophysique (pente, occupation du sol, relief, types de sol, proximité au cours d'eau) sont présentées en annexe 7. Leurs effets concomitants favorisent la stagnation des eaux pluviales en certains endroits et le ruissellement intense dans d'autres.

Les figures II-22 et II-23 montrent la spatialisation de la vulnérabilité de Bamako et de Ouagadougou sur le plan biophysique. L'analyse de ces cartes montre que pour la ville de Bamako, environ 1/3 (33,81 %) de la surface de la ville est fortement vulnérable aux inondations. Les secteurs les plus concernés se retrouvent aux alentours du fleuve Niger avec une prépondérance au niveau de la rive gauche. Au niveau de la rive droite, la vulnérabilité se diffuse plus en profondeur le long du marigot Sogoniko, ce jusqu'au quartier de Daoudabougou. Les zones situées plus en hauteur telles que le quartier de Koulouba (colline du pouvoir), de Samé et du point G ont les niveaux de vulnérabilités les plus faibles. Le même constat est fait dans la zone aéroportuaire plus aux Sud ainsi que dans le village de Sénou où l'éloignement des cours d'eau contribue à réduire les niveaux d'exposition.

À Ouagadougou, c'est 18,35 % du territoire qui se trouve fortement vulnérable sur le plan biophysique. Les zones concernées se concentrent au centre-ville (Quartiers saints, Cité an III, Zogona, Wemtenga) et à proximité des barrages et des cours d'eau (Tanghin, Somgandé). Les quartiers de la zone de Kossodo situés à l'est de la ville sont également très concernés de même que ceux de Rimkieta et Bissighin du côté ouest de la ville. Plus aux Sud, des zones comme Karpala et Balkuy au Sud-Ouest sortent du lot par rapport à d'autres secteurs de Ouaga 2000.

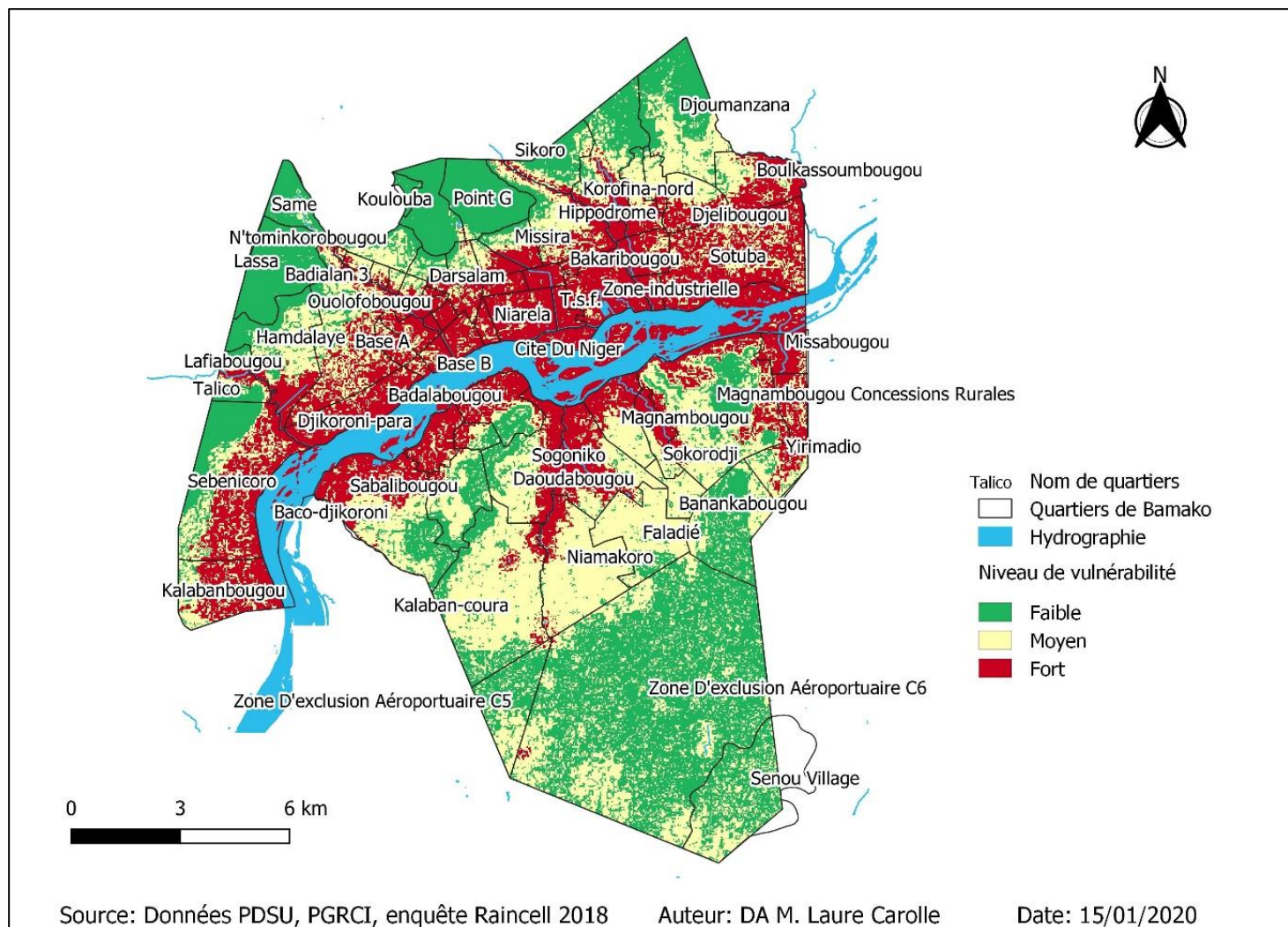


Figure II-22 : Vulnérabilité biophysique de la ville de Bamako

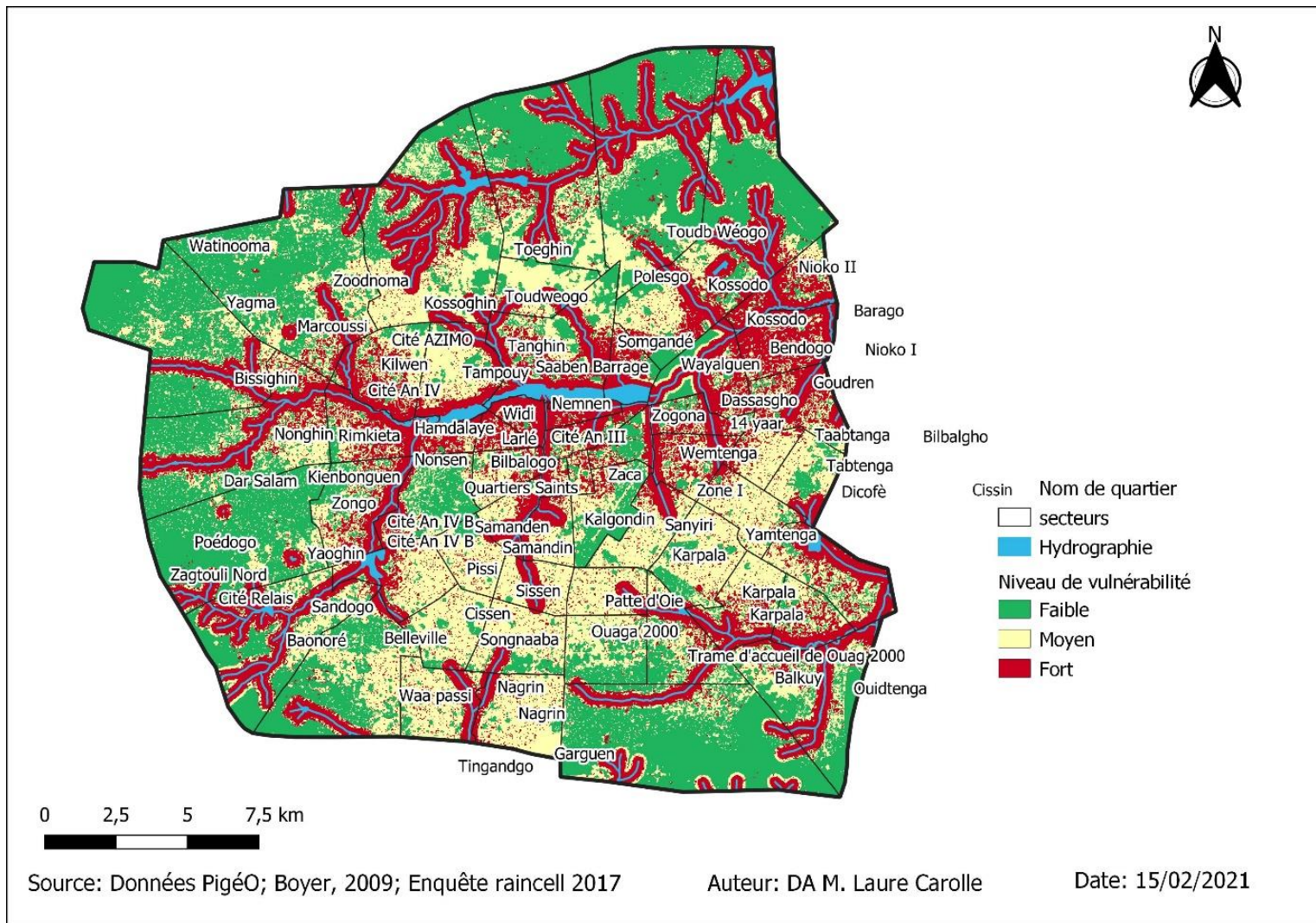


Figure II-23 : Vulnérabilité biophysique de la ville de Ouagadougou

✓ Vulnérabilité des services urbains et des infrastructures socioéconomiques

L'analyse de données cartographiques nous a permis de dénombrer 3765 infrastructures dans la ville de Bamako contre 1773 à Ouagadougou sur la base des données mentionnées dans le chapitre 4.3.2.3. Ces infrastructures concernent les établissements scolaires, les centres de santé, les commerces, les services de secours, les organisations gouvernementales et non gouvernementales et certaines infrastructures comme les châteaux d'eau et antennes de téléphonie mobile.

L'analyse de la vulnérabilité biophysique à Bamako montre que plusieurs d'entre elles sont situées dans la zone fortement vulnérable. D'ailleurs, à Bamako près de 242 infrastructures (6,43 %) ont leur centroïde à moins de 100 m des marigots principaux de la ville ou du fleuve. Pour la ville de Ouagadougou, ce sont environ 43 infrastructures (2,4 %) qui ont été dénombrées à l'intérieur de la zone fortement inondable, à moins de 100 m d'un cours d'eau (Exemples cf. images 2 et 3).

Les mêmes ordres de fréquence sont rencontrés à Ouagadougou et à Bamako pour les services liés à la santé et à l'éducation, situés à moins de 100 m de cours d'eau, dans la zone fortement vulnérable. Ces infrastructures concentrent pourtant une catégorie de personnes déjà suffisamment vulnérables du fait de leurs jeunesses (les élèves) et de leur état sanitaire (les patients de centre de santé). Au total, 219 infrastructures dénombrées à Ouagadougou, soit 12,35 % des infrastructures, se trouvent dans la zone fortement vulnérable sur le plan biophysique. À Bamako, ce chiffre s'élève à 33,65 %. Le tableau II-25 présente le nombre estimatif d'infrastructures et services urbains à proximité des cours d'eau et situés dans la zone vulnérable pour chacune des villes.

Tableau II-25 : Dénombrement des services et infrastructures selon leur implantation

		Proximité au cours d'eau			vulnérabilité	Total
		<100 m	100-200	200-300	Vulnérabilité forte	
Bamako	Santé	35	46	38	194	541
	Education	69	90	74	334	1309
	Activités commerciales	36	26	36	168	482
	Autres infrastructures	102	117	105	572	1433
	Total services	242	279	253	1267 (33,65 %)	3765
Ouagadougou	Santé	16	27	28	57	446
	Education	17	71	49	104	924
	Activités commerciales	7	15	14	33	161
	Autres infrastructures	3	12	25	25	242
	Total services	43	125	116	219 (12,35 %)	1773

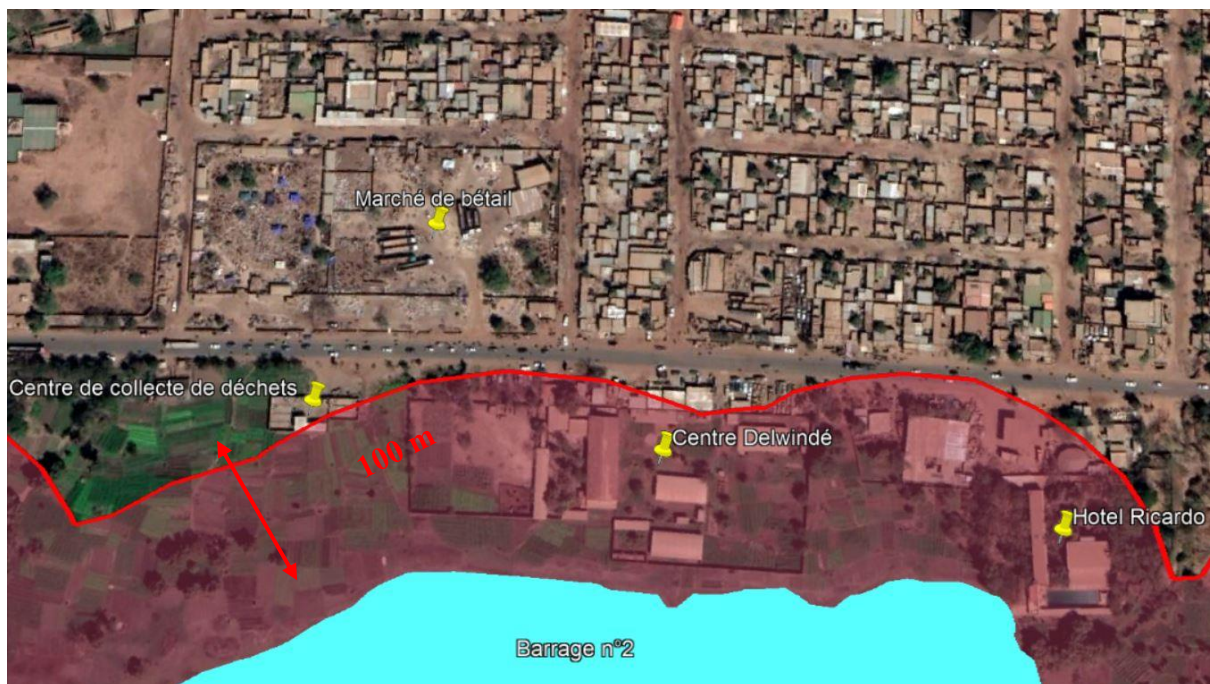


Image 2 : Exemple d'infrastructures situées à moins de 100 m du barrage n° 2 de Ouagadougou (source : auteur/google earth pro 2021)



Image 3 : Exemple d'infrastructures situées à moins de 100 m de la rive gauche du fleuve Niger (source : auteur/google earth pro)

Synthèse des résultats : Historique des inondations, événements extrêmes et cartographie des zones exposées : un triptyque pour appréhender la vulnérabilité biophysique

La vulnérabilité biophysique a été illustrée dans ce chapitre à travers la cartographie des inondations géohistoriques, l'analyse des extrêmes pluviométriques et une cartographie des zones exposées sur le plan biophysique. Les résultats de l'analyse géohistorique ont permis d'identifier les secteurs les plus touchés par les inondations qui se sont déroulés depuis plusieurs décennies dans les deux villes.

Cependant, les données disponibles n'ont pas permis de faire une analyse quantitative des dommages occasionnés par ces inondations. En effet, le nombre de personnes sinistrées par localité n'était pas toujours disponible alors que cette information se révèle importante pour l'organisation des interventions lors d'une inondation.

La cartographie de la vulnérabilité biophysique a permis une analyse de l'exposition au risque à l'échelle des deux villes. À l'issue de l'analyse à Ouagadougou et à Bamako, il ressort que les deux villes sont confrontées à des risques d'inondation fortement en lien avec la présence de cours d'eau. Près du tiers de la ville de Bamako, localisé principalement aux abords du fleuve Niger est menacé par les inondations et vulnérable sur le plan biophysique. Ces résultats sont en concordance avec les travaux de Diawara (2019) qui a trouvé que les crues du fleuve Niger pourraient provoquer la submersion temporaire de plus d'un tiers du territoire bamakois. À Ouagadougou, les résultats mentionnent une surface plus faible comparativement à la superficie totale de la ville. Ainsi, 18 % du territoire est vulnérable sur le plan biophysique avec une concentration majoritaire des zones vulnérables au niveau du centre-ville où les enjeux sont les plus nombreux. L'analyse en fonction des quartiers et des secteurs des villes montre une variation du niveau de vulnérabilité d'un quartier à un autre et même au sein d'un même quartier.

Les résultats de l'analyse de la vulnérabilité biophysique concordent avec la cartographie historique des secteurs les plus touchés par les inondations. Le Centre de Ouagadougou concentre les zones fortement vulnérables ainsi que les quartiers à l'est tel que Bissighin et à l'ouest tel que Bendogo. La localisation des zones vulnérables suit ainsi les zones de dépression de la ville. À Bamako, les zones vulnérables occupent une bande de part et d'autre du fleuve, s'étalant d'est en ouest.

L'analyse des extrêmes pluviométriques a montré que la majeure partie des inondations qui ont eu lieu à Bamako et à Ouagadougou sont dues à des pluviométries normales mesurées aux stations pluviométriques de référence de chaque ville. Il faut cependant être prudent quant à cette assertion, car l'analyse n'a concerné que les pluies mesurées en un point de la ville, sans tenir compte de la variabilité pluviométrique. Aussi, on note que l'intensité des pluies n'est étrangère à la survenue des inondations. Cependant, certaines pluies de faible intensité ont également entraîné des inondations dans les villes. Ainsi, la pluviométrie journalière même si elle est nécessaire à la survenue des inondations n'est pas le seul facteur à prendre en considération dans la vulnérabilisation biophysique. En d'autres termes, même si les données pluviométriques sont importantes pour analyser la variabilité de l'exposition, ce sont les autres facteurs physiques tels que la pente, l'occupation du sol, la proximité au cours d'eau, le relief et la typologie des sols qui vont déterminer le caractère inondable du territoire. En effet, ces facteurs influent sur les capacités de drainage urbain.

Par exemple, la proximité des espaces au cours d'eau est ressortie dans les deux villes comme étant un facteur important de vulnérabilisation. Ce facteur pose la nécessité d'une prise en compte dans l'aménagement du territoire d'espace de liberté du cours d'eau pour lui permettre d'évoluer sans être contraint dans un corridor fixé par les interventions anthropiques ou les aménagements (Fortin et al., 2020). Il s'agit de considérer des zones d'expansion des crues lors de l'aménagement du territoire pour assurer un stockage transitoire de l'eau et retarder son écoulement en cas de débit important. Le respect de ces champs d'expansion des cours d'eau offre plusieurs avantages liés entre autres aux services écosystémiques (approvisionnement de la nappe phréatique, fonctionnement des écosystèmes des zones humides), à la recharge des sédiments et à la conservation d'habitats pour la faune aux alentours de ces zones écologiques. Il offre également la possibilité au cours d'eau de sortir de son lit sans trop d'impact sur les aménagements et ainsi limite les inondations destructrices au niveau du territoire. Un bon moyen de mettre en œuvre ces solutions consiste en l'adoption de mesures structurelles adaptées. Ces mesures sont en lien avec l'aménagement raisonné de zones inondables permettant d'adapter le risque inondation au besoin de protection. Il s'agit entre autres de :

- ❖ mettre en place des ouvrages d'écêtement des crues telles que les bassins de rétention qui soient à la fois fonctionnels et intégrés dans le paysage urbain.

- ❖ promouvoir les bandes enherbées et prairies inondables à proximité des cours d'eau en profitant de l'opportunité qu'offre le développement du maraichage à proximité des points d'eau. Ces zones peuvent en effet permettre de consolider les points de rétention et empêcher l'installation des populations. Les bandes enherbées offrent ainsi des possibilités en termes d'amélioration des capacités d'infiltration qui peuvent être renforcées par des ouvrages de petites hydrauliques (tranchées drainantes, noues...).
- ❖ Adapter les habitats aux possibilités de crue en imposant par exemple aux promoteurs immobiliers d'appliquer des mesures de rétention et d'infiltration d'eau à la parcelle particulièrement dans les zones fortement vulnérables aux inondations. Une autre alternative en lien avec l'adaptation du logement serait d'installer des citernes de collecte d'eau de pluie ou impluvium dans les parcelles. Cette solution pourrait en plus fournir de l'eau pour la potabilisation dans des secteurs faiblement connectés au réseau d'eau potable des villes (zones non loties ou d'habitats spontanés par exemple). Des projets ont d'ailleurs été réalisés dans le sens de la collecte des eaux de pluie au Mali et au Burkina Faso pour l'approvisionnement en eau de populations en zone rurale (Coulibaly et al., 2012; Savadogo et al., 2011).
- ❖ Utiliser des matériaux perméables tels que les pavés perméables pour la réfection des rues et des routes ainsi que pour le pavage des bâtiments.

La délimitation de champs d'expansion de cours d'eau couplée au contrôle strict des aménagements et à l'adoption de mesures alternatives « douces » restent de bons moyens de prévenir les inondations dans la zone sahélienne, même s'ils doivent impérativement s'appuyer sur des mesures sociales.

Par ailleurs, bien que les techniques déployées dans cette partie de la thèse (analyse multicritère, superposition de cartes à travers les SIG) comportent des limites, leur caractère innovant, leur évolutivité et leur souplesse en font des outils très utiles pour les gestionnaires. Ces derniers pourront en effet au gré des situations et en cas de besoins, effectuer des compléments ou réactualiser l'arbre hiérarchique de vulnérabilité avec de nouveaux facteurs ou affiner le poids des facteurs en consultant un panel d'acteurs plus adapté.

Conclusion Partie II

Les récents évènements d'inondation qui ont impacté la zone sahélienne ont mis en lumière la vulnérabilité et l'exposition de ces localités face à des évènements déjà rencontrés dans le passé. Cette deuxième partie de notre travail avait pour objet l'analyse des espaces vulnérables sur le plan biophysique et la mise en relation avec l'aléa géohistorique. Après un premier chapitre sur la mise au point d'une méthodologie adéquate pour représenter la vulnérabilité biophysique, les espaces d'inondabilité ont été analysés selon une démarche déductive axée sur des approches cartographiques.

L'analyse de la vulnérabilité biophysique a abouti à la détermination des espaces à risque au niveau de chaque ville, octroyant à la vulnérabilité une dimension spatiale par un zonage de la menace. Pendant longtemps, la vulnérabilité était spécifiquement dédiée à ce seul aspect, ce qui explique l'existence dans la littérature de nombreuses études sur la question. Cette représentation des zones à risque montre un intérêt certain pour une bonne planification du territoire et pour l'adoption de mesures de protection appropriées.

Cependant, la démarche adoptée concernant la détermination des zones vulnérables renferme quelques limites qu'il est important de rappeler. En effet, elle n'a pas tenu compte de certains paramètres pourtant importants dans la vulnérabilisation du territoire et mis en lumière par Periyasamy et al. (2018). Il s'agit entre autres de la distribution spatiale de la pluviométrie, de la densité de drainage qui devrait tenir compte du réseau d'assainissement pluvial en plus des rivières et plans d'eau, de la géologie et de la géomorphologie des territoires. De plus, l'absence de données précises a limité les possibilités d'estimation de l'endommagement par analyse géohistorique. En effet, certains articles de presse ne mentionnaient pas par exemple certaines informations comme le nombre de sinistrés ou les localités précises touchées par les inondations ou encore la pluviométrie enregistrée le jour de l'inondation. Par ailleurs, concernant l'analyse de la vulnérabilité biophysique, des incertitudes sont relevables puisque les méthodes d'analyse reposent majoritairement sur une modélisation mathématique des interactions entre facteurs variés. Ces modélisations sont bâties sur l'adoption d'un scénario parmi plusieurs autres envisageables et sur l'avis d'experts. Ils comportent ainsi une certaine part de subjectivité (Verlynde, 2018), qui est d'autant plus importante du fait du faible nombre d'experts sélectionnés. La fixation de scénario est cependant nécessaire et admise dans le contexte scientifique, car elle permet d'aboutir à des

résultats facilitant la prise de décisions. Aussi, la flexibilité de la méthode utilisée reposant sur une modélisation par les SIG révèle tout l'intérêt de cette approche.

En somme, nos résultats ont montré que la vulnérabilité physique et environnementale pour un lieu particulier reste la même pour tous les habitants de ce lieu si les facteurs physiques et environnementaux restent constants, peu importe les populations qui y vivent. Ainsi, cette vulnérabilité ne permet pas d'expliquer pourquoi au sein d'une communauté située dans une même zone, certains ménages ont plus de capacité à faire face à la survenue d'un aléa que d'autres. Appréhender la vulnérabilité d'une localité ne saurait donc se cantonner aux espaces menacés en occultant les interactions sociales et politiques qui s'y opèrent, au risque de déconnecter la gestion des risques des territoires. Les concepts de vulnérabilité sociale et économique et de perception doivent en effet être pris en compte dans le cadre de la gestion du risque inondation. Cette vulnérabilité socioéconomique varie en fonction des populations en présence et en fonction de leur capacité adaptative (Deepak et al., 2020). Elle impacte donc la vulnérabilité globale du territoire, tout autant que les aspects biophysiques.

Depuis quelques années, un engouement est remarqué quant aux études scientifiques sur la vulnérabilité et la résilience des sociétés. Il révèle la prise en compte dans les études, de la place de l'homme et du rôle des facteurs anthropiques dans la survenue de catastrophes naturelles. On note de ce fait la remise en question du postulat aléa-centre d'une possibilité de maîtrise de la vulnérabilité par la simple application de mesures techniques. On note aussi un changement de paradigme avec la réhabilitation des sociétés comme actrices de la vulnérabilité de leur territoire aux risques naturels. L'analyse de cette vulnérabilité sociale à Ouagadougou et Bamako est ainsi l'objet de la troisième partie de notre travail de thèse.

PARTIE III. VULNÉRABILITÉ SOCIALE : OUAGALAIS ET BAMAKOIS FACE A LA FUREUR DES EAUX

« Tous les hommes ne sont pas vulnérables de la même façon ; aussi faut-il connaître son point faible pour le protéger davantage ». Sénèque.

Introduction

Les chapitres précédents de notre travail ont fourni des informations intéressantes sur les secteurs les plus souvent affectés par les inondations et ceux les plus vulnérables sur le plan biophysique. Cependant, ces secteurs ne sont pas isolés, mais abritent des enjeux socio-économiques et des habitants qui ont des caractéristiques intrinsèques qui les rendent plus ou moins sensibles en cas de catastrophe. Ces activités économiques de même que les personnes physiques et morales et leurs biens peuvent en effet être directement affectés lors des événements. Dans certaines zones d'ailleurs, la survenue d'une catastrophe est même susceptible d'entraîner une sorte de paralysie de la société.

Cette troisième partie s'intéresse à la vulnérabilité sociale de nos deux villes face aux inondations. En d'autres termes, nous analysons dans cette partie la vulnérabilité centrée sur l'humain. Il s'agit typiquement du type de vulnérabilité étudié par les sciences humaines et sociales. Notre étude est présentée dans cette partie également suivant la démarche IMReD (Introduction, Méthodes, Résultats et Discussion) que nous avons présentée dans la partie 2 (section introductive). Nous rappelons que cette démarche répond à un besoin de synthèse de nos résultats et d'efficacité dans la présentation de notre recherche.

Le premier chapitre de cette partie aborde ainsi les méthodes mises en œuvre pour l'analyse de la vulnérabilité à Ouagadougou et à Bamako (chapitre 6). Nous faisons le point de la méthode mixte (démarche quantitative et qualitative) que nous avons mis en œuvre pour mener à bien cette étude et présentons les méthodes de traitement des données. Dans un deuxième chapitre, nous présentons l'aboutissement de ces méthodes à travers une représentation cartographique de la vulnérabilité des habitants de Ouagadougou et de Bamako (chapitre 7). Une partie synthèse récapitule enfin les résultats obtenus et les discute en fonction de la littérature.

Chapitre 6. Analyser la vulnérabilité sociale : le choix d'une méthodologie mixte

Introduction

Ce chapitre expose la méthodologie visant à caractériser la vulnérabilité des populations des villes de Ouagadougou et de Bamako face aux inondations. La méthode de collecte des données sur les vulnérabilités et de traitement statistique de ces données est présentée. Elle s'inscrit dans une démarche bottom-up, centrée sur la réalisation d'enquête à grande échelle sur les deux territoires et complétée de quelques entretiens semi-directifs auprès d'acteurs du territoire (populations enquêtées et personnes ressources issues du milieu administratif).

La première section de ce chapitre (section 6.1) reprend les raisons qui expliquent le choix méthodologique adopté pour l'analyse de la vulnérabilité sociale. Cette partie s'inspire du cadre conceptuel présenté en début de thèse (Partie I, chapitre 2). Elle explique plus en détail les raisons qui ont justifié l'adoption de ce choix méthodologique. La deuxième section du chapitre (section 6.2) aborde de manière plus précise la manière dont la collecte de donnée a été réalisée sur le terrain. La troisième section (section 6.3) aborde la méthodologie de traitement statistique des données recueillies. Elle s'intéresse aux questions en lien avec la détermination d'un indicateur de bien-être économique au niveau des deux villes et la mise en œuvre d'un indice de vulnérabilité sociale.

6.1. Le couplage recherche quantitative et recherche qualitative : un mixte pour une analyse plus précise de la vulnérabilité

Notre recherche sur la vulnérabilité a pour finalité d'être un outil d'aide à la décision pour la gestion des risques au niveau du Sahel urbain notamment dans les villes de Ouagadougou et de Bamako. Elle s'inscrit dans un cadre pluridisciplinaire, mais avec comme socle le domaine géographique. Elle s'est appuyée sur une approche fondée sur des enquêtes et des entretiens auprès de populations ainsi que sur l'observation en présentiel ou à distance d'évènements d'inondation dans les deux villes. Plusieurs méthodes ont été développées dans la littérature pour estimer la vulnérabilité des populations face à un risque (cf. 1^{re} partie, chapitre 1). La méthode utilisée dans le cadre de cette thèse s'appuie sur des enquêtes, des entretiens et des observations qui tirent leur essence de l'approche d'analyse de la sensibilité à l'endommagement. Il s'agit d'identifier les facteurs qui rendent un groupe vulnérable en

recueillant un certain nombre d'informations permettant de mettre en lumière ces facteurs. Une fois cette étape réalisée, il importe d'analyser les capacités des populations à faire face à leur vulnérabilité et leur permettre de prendre conscience des insuffisances et des opportunités dont ils peuvent se servir pour être plus résilients. La combinaison de plusieurs méthodes de collecte de données a permis d'avoir une vision plus approfondie de la réalité sociale et de prendre en considération une vision plurielle du territoire. Pour atteindre notre objectif, nous avons ainsi utilisé une méthode mixte par design séquentiel explicatif associant méthodologie qualitative axée sur des entretiens et méthodologie quantitative fondée sur des enquêtes à grande échelle. Cette méthode consiste à collecter d'abord les données quantitatives et à les analyser, pour ensuite approfondir et expliquer les résultats obtenus en effectuant des entretiens auprès des mêmes populations (Condomines & Hennequin, 2013). Nous avons par ailleurs interviewé d'autres acteurs des deux territoires n'ayant pas participé aux enquêtes pour approfondir notre étude.

La réalisation d'enquête à grande échelle s'est révélée être la méthode la plus appropriée pour le recueil d'informations actualisées au niveau de nos territoires d'étude, du fait de l'ancienneté des données issues du recensement général de la population. Aussi, les données recherchées pour l'analyse de la vulnérabilité étaient soit absentes du recensement, soit collectées à une échelle inopportune pour notre travail (résultats disponibles à l'échelle communale).

La réalisation d'enquêtes extensives de type quantitatif couplée à une observation de terrain a ainsi constitué le cadre méthodologique privilégié pour analyser la vulnérabilité des habitants des villes de Ouagadougou et de Bamako. C'est une méthode très utilisée en sciences sociales, car elle apporte des informations de qualité si elle est réalisée de manière rigoureuse.

La collecte de données sur le terrain et leur traitement a suivi trois étapes : une phase de préenquête, une phase d'enquête et une phase de traitement statistique des données.

Pour ce qui est l'analyse qualitative réalisée pour approfondir les résultats de la phase d'enquête, elle a concerné :

- 22 entretiens téléphoniques auprès de populations ayant pris part à l'enquête quantitative
- 27 entretiens auprès de personnes ressources dans le cadre de leur occupation professionnelle.

La méthodologie de réalisation de ces entretiens est présentée plus précisément dans la section 6.1.2.3.

6.1.1. Phase de pré-enquête

Cette phase a consisté à la collecte et à l'analyse d'informations provenant de documents administratifs et règlementaires de natures et d'origines diverses, afin de mieux comprendre la zone du Sahel et de sélectionner les villes d'étude. L'analyse de ces données a permis de sélectionner les villes de Ouagadougou et de Bamako pour l'analyse des vulnérabilités en zone sahélienne urbaine (cf. partie 1). Toute l'emprise de la ville a été retenue pour l'étude afin de mieux percevoir les différentes dynamiques en jeu au niveau de chaque quartier du système urbain et de proposer des mesures qui soient à un niveau cohérent de mise en œuvre. Analyser la vulnérabilité à l'échelle de la ville répondait aussi au besoin de pallier des insuffisances recensées dans la littérature : en effet, la plupart des recherches réalisées sur la question des inondations urbaines en particulier à Ouagadougou ou à Bamako se sont focalisées sur les zones les plus sensibles ou les secteurs les plus vulnérables des villes du fait des moyens techniques et financiers limités (Dembélé & Ouattara, 2019; Soma, 2015). Or cette échelle ne permet pas une mise en œuvre cohérente des mesures, car la gouvernance du territoire est décentralisée au niveau communal donc au niveau urbain et non au niveau des différents quartiers. Même si une organisation par quartier existe, elle ne peut mener des actions indépendamment du niveau communal.

La recherche documentaire a été effectuée dans différentes bibliothèques de la ville de Ouagadougou et en Ile-de-France. Il s'agit notamment de la bibliothèque centrale de l'université Joseph KI-ZERBO, de la bibliothèque de l'institut de génie de l'environnement et du développement durable (IGEDD), de la bibliothèque de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) à Ouagadougou et à Bondy, de la bibliothèque de l'Institut international d'Ingénierie et de l'Eau et de l'Environnement (2IE), de la bibliothèque de l'université de Versailles Saint-Quentin en Yvelines. Ensuite, la documentation en ligne et sur papier de structures internationales et nationales telle que le Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI) de la Suède ou des structures ayant en charge le territoire a été utilisée. Il s'agit entre autres de documents du Ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme (MHU), du ministère de la Santé à travers le Centre des Opérations de réponse aux Urgences Sanitaires (CORUS), de l'institut national de la statistique et de la démographie (INSD), de la Direction Générale des Services Techniques Municipaux (DGSTM), du Conseil National de Secours d'Urgence (CONASUR), du centre de documentation du ministère de la Justice et des droits humains, de la mairie de Ouagadougou, du district de Bamako, etc. En parallèle au recueil de données

administratives, des discussions informelles avec des acteurs clés du territoire et la participation à différentes rencontres d'acteurs ont servi à enrichir la préenquête.

Toutes ces sources nous ont permis de passer en revue les problématiques liées à la récurrence des inondations, à la planification urbaine et aux questions foncières dans les villes d'étude.

La phase de préenquête s'est soldée par le choix de la méthode d'enquête pour comprendre la vulnérabilité au Sahel. Elle a aussi permis la formalisation d'un premier jet de questionnaires pouvant permettre d'appréhender la vulnérabilité des populations aux inondations dans les villes de Ouagadougou et de Bamako. Ce premier jet de questionnaire a été administré en essai préalable à un petit échantillon de populations des deux villes d'une vingtaine de personnes par ville. Cette phase de test a permis de déceler les questions peu compréhensibles, d'observer si l'ordre des questions suscitait des réactions ou entraînait des déformations de réponse, si le questionnaire n'était pas trop long et ne provoquait pas le désintérêt ou la colère des participants. L'analyse des résultats a permis de recadrer et de formuler adéquatement le questionnaire, en clarifiant les questions ambiguës ou qui entraînaient des réponses biaisées de la part des personnes pré-enquêtées.

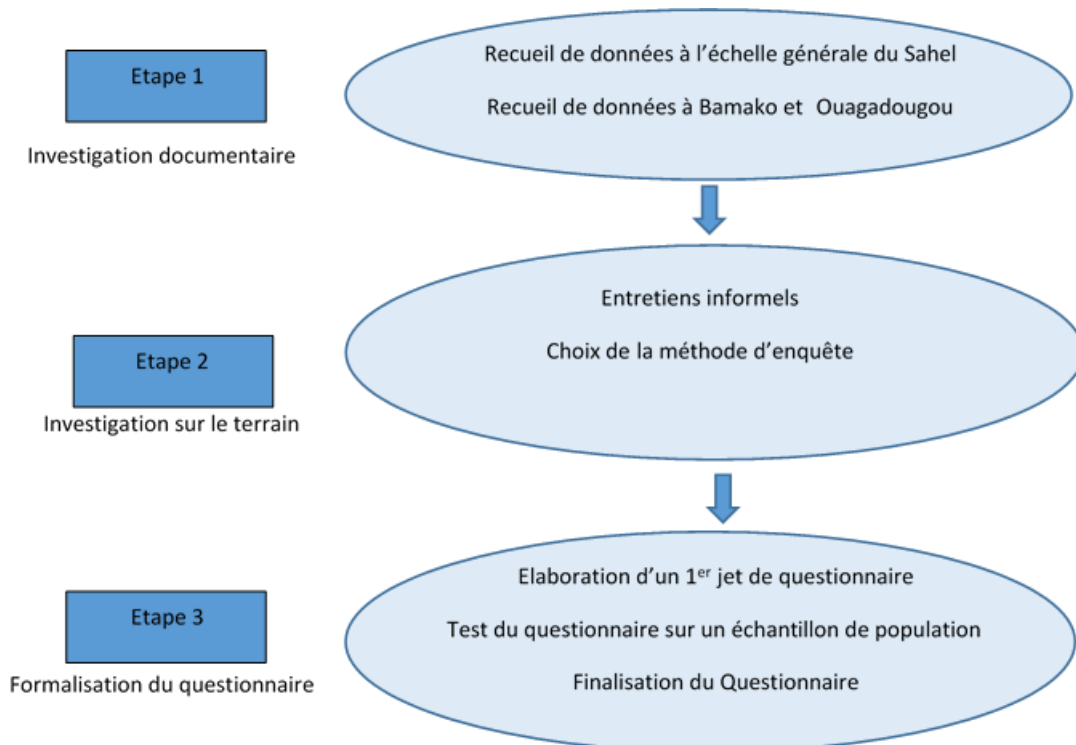


Figure III-1 : Étapes de pré-enquête et de formalisation du questionnaire

6.1.2. Phase d'enquête

Le volet sociologique des sciences environnementales et géographiques a constitué la base de l'étude de la vulnérabilité des populations. La sociologie est en effet une science mobilisable dans plusieurs disciplines pour caractériser des champs de la société en s'appuyant sur des faits sociaux, définis par Durkheim (1912) comme des manières d'agir, de penser et de sentir, extérieurs à l'individu, mais qui s'imposent à lui. La démarche de recherche en sciences sociales fait intervenir les études qualitatives, les études quantitatives encore appelées sondages et l'observation ethnographique.

La phase d'enquête a consisté à des discussions formelles avec des acteurs du territoire (entretiens semi-directifs programmés) et à l'administration de questionnaires (cf. Annexe 8) à un échantillon représentatif de la population des deux villes. Une phase d'observation de terrain a également été réalisée à Ouagadougou et à Bamako.

6.1.2.1. Enquête par observation terrain

La phase d'observation a été réalisée à la fois en présentiel (découverte du cadre physique de la zone d'étude) et à distance (analyse globale du territoire à partir de plusieurs sources telles que les photographies, images, données satellitaires) pour mieux comprendre les territoires et les risques auxquels ils sont exposés. L'état physique des aménagements, des infrastructures et des équipements, les problèmes d'occupation du sol, la structuration de l'habitat ainsi que sa configuration, le comportement des populations et des autorités en temps ordinaire et en temps de crise ont constitué la base de la grille de lecture de cette phase d'observations. C'est une étape indispensable à l'analyse des risques des territoires et constitue la première démarche à mettre en œuvre pour toute étude spatiale (Bastie et Dezert, 1980 ; Danvidé, 2015).

Par ailleurs, une observation directe a également été réalisée en combinaison avec l'enquête par questionnaire et portait sur l'observation des types et de la qualité des logements des personnes interviewées.

6.1.2.2. Enquête par questionnaires

Les enquêtes nécessitent l'utilisation de moyens appropriés pour obtenir les données. Il s'agit de l'identification des variables et indicateurs de l'étude, du codage de l'enquête, de l'administration des questionnaires, des levées de coordonnées géographiques, etc. L'utilisation de questionnaire comme source d'informations repose sur la théorie des nombres qui permet de

conclure de l'opinion de l'ensemble de la population d'étude sur la base de l'opinion d'un nombre minimum de personnes (Wahnick 2006).

Les données recherchées ont été collectées dans les deux villes d'étude dans le cadre d'une enquête sur les ménages. Le déclarant choisi était le ou la chef de ménage de préférence ou un cousin âgé de plus de 18 ans répondant au nom du ménage tout entier.

Pour la ville de Ouagadougou, 2137 personnes ont été interrogées sur la base du questionnaire. L'enquête a été réalisée entre mars à avril 2017 avant le début de la thèse, par l'équipe Raincell appuyée de 10 enquêteurs. Seul le traitement des données de l'enquête de Ouagadougou a été réalisé dans le cadre de la thèse. Pour Bamako, l'échantillon de personnes interrogées était de 2047 personnes. La campagne du questionnaire a pu être menée de bout en bout de novembre à décembre 2018, dans le cadre de la thèse. Elle s'est appuyée sur l'expérience tirée de la campagne de Ouagadougou et sur les améliorations réalisées grâce à une meilleure connaissance du terrain. Cette phase d'enquête a été supervisée par nos soins avec le concours de 10 autres enquêteurs que nous avons encadré personnellement pour la collecte des données.

L'application Kobotoolbox, implémentée sur smartphone, a permis le recueil des réponses aux questionnaires et le relevé des coordonnées géographiques des ménages des répondants.

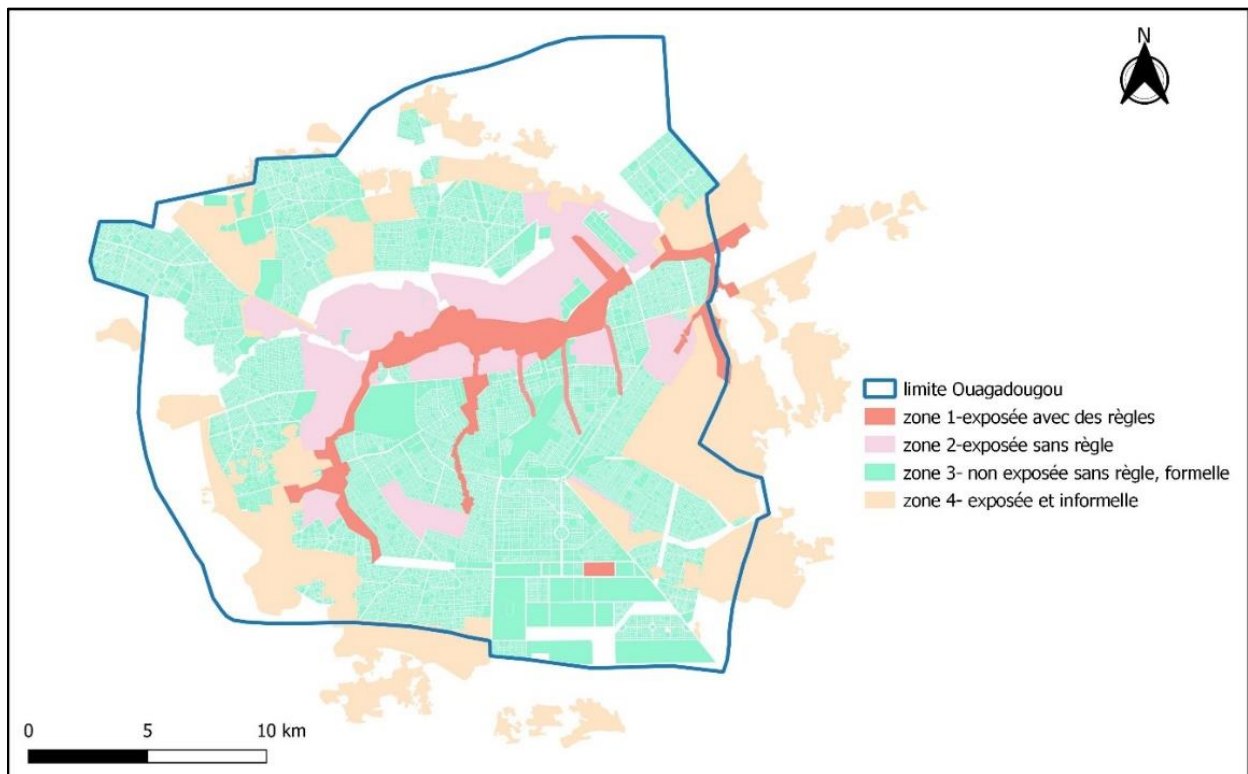
Les questionnaires ont été traduits en français et en mooré pour la ville de Ouagadougou et en français et bamanakan pour la ville de Bamako, pour tenir compte des langues majoritairement parlées dans chacune des villes.

❖ Délimitation en sous-zones des terrains d'enquête par questionnaire

Le cadre géographique de l'étude a concerné à la fois les quartiers formels et informels des deux villes. L'enquête a été menée sur la base d'un échantillonnage aléatoire stratifié en sous-zones, délimitées au niveau de chaque ville en fonction du degré d'exposition.

Pour la ville de Ouagadougou, quatre zones ont été identifiées (Figure III-2). L'exposition aux inondations dans la ville a été définie par une identification soit par la réglementation soit par la presse écrite. Pour ce qui est de l'identification par la réglementation, après les inondations du 1er septembre 2009, le décret N° 2009-793/PRES/PM/MHU/MATD/MEF/MID/MAHRH/MECV (Président du Faso 2009) portant entre autres sur la délimitation des zones inondables à Ouagadougou a été adopté. Il stipule que les zones inondables inconstructibles sont constituées des zones de servitude de 100 mètres de part et d'autre des limites des canaux primaires d'évacuation des eaux pluviales, et des zones

situées en dessous de la côte des plans d'eau des barrages et des marigots naturels principaux correspondant au passage de la crue décennale.



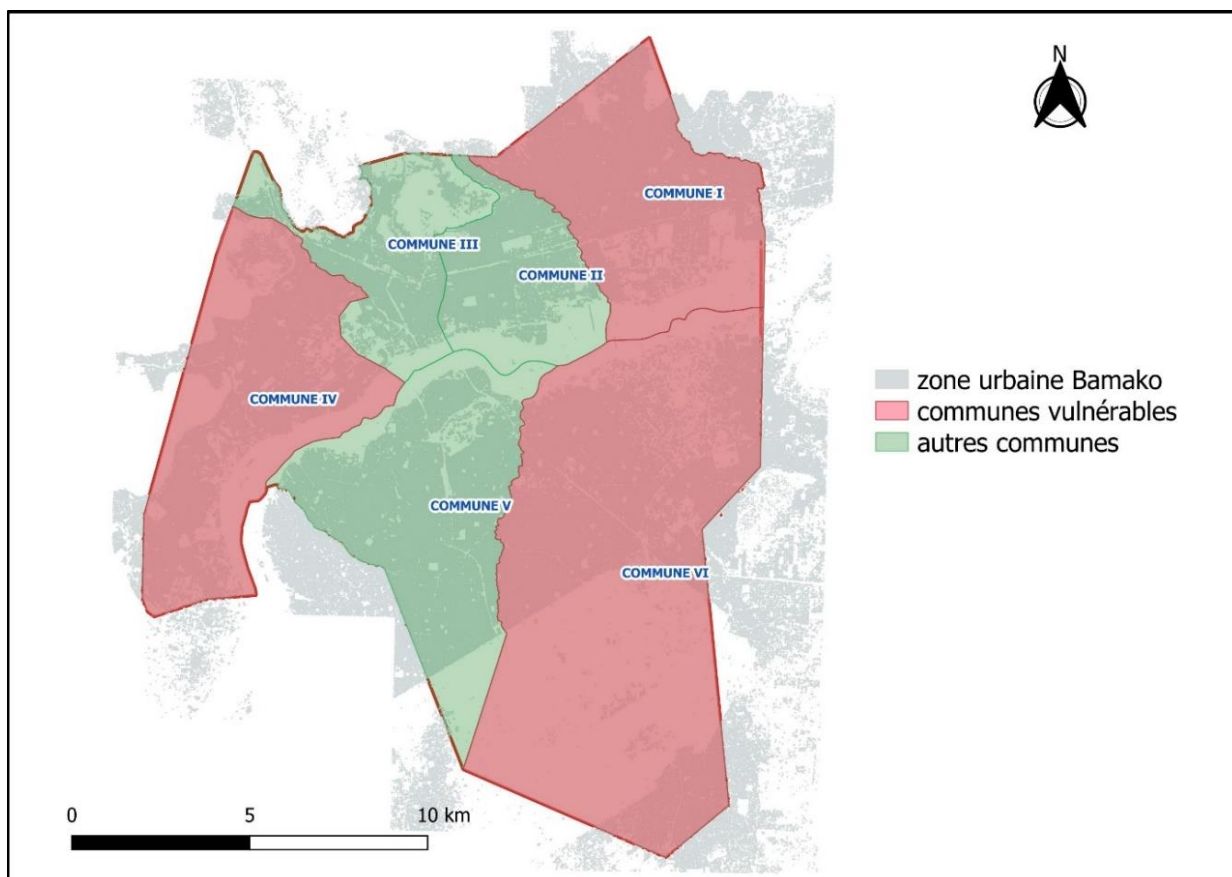
Source : Données PigéO ; Boyer, 2009

Date : 15/02/2018

DA M. Laure Carolle

Figure III-2 : Découpage de Ouagadougou en zone pour l'enquête

Pour la ville de Bamako, le découpage administratif communal a été utilisé comme base de l'échantillonnage aléatoire (Figure III-3), en l'absence d'une cartographie claire des zones inondables. Cependant, l'article 9 du code domanial et foncier du Mali stipule que « les riverains des cours d'eau non navigables ni flottables sont soumis à une servitude de passage sur une zone de dix mètres de large sur chaque rive ». L'utilisation du découpage communal vient du fait que les communes 1, 4 et 6 ont été identifiées par le projet de gestion des catastrophes et d'adaptation aux changements climatiques comme étant très exposées aux inondations (SOMAGEF, 2019).



Source : Données PDSU, PGRI

Date : 15/09/2018

Auteur : DA M. Laure Carolle

Figure III-3 : Zones d'enquête selon l'exposition à Bamako

❖ Données recherchées par l'enquête par questionnaire

L'administration d'un questionnaire à des représentants de ménage répondait au besoin d'établir et d'analyser la vulnérabilité des populations des deux villes prises dans l'environnement de leurs ménages. L'identification des variables du questionnaire est un élément capital pour la mise en place de l'indice de vulnérabilité. Elle a tenu compte des différentes dimensions de la vulnérabilité mentionnée dans la première partie à savoir :

- le volet biophysique qui considère la vulnérabilité comme un processus lié à l'endommagement d'éléments physiques et aux pertes quantifiables ;

- le volet social qui a constitué une part importante de nos enquêtes. Il aborde la vulnérabilité comme un triple processus individuel lié aux aspects sociaux économiques (revenus, biens, capital financier, taille du ménage, formation), sociaux-culturels (volonté d'accessibilité à l'information, habitudes et croyances, religion) et psycho-sociaux (conscience des dangers, perceptions des risques, mémoire, connaissance des règles et des lois, comportements face aux inondations...).

- le volet spatio-temporel qui s'intéresse à l'occupation par les ménages de zones exposées, règlementées ou considérées comme à risque, aux réseaux de transport, à la topographie, à la proximité des plans et cours d'eau, au développement urbain et à l'aménagement du territoire (absence de caniveaux d'évacuation des eaux usées, imperméabilisation du sol, dimensionnement des ouvrages...)

De manière plus détaillée, les informations recueillies pour la mise en place d'un indice de vulnérabilité sociale concernaient six aspects :

- ✓ **Les informations sur les caractéristiques socioéconomiques du représentant du ménage** : il s'agissait de recueillir des informations telles que l'âge, le sexe, la situation matrimoniale, la profession, le niveau scolaire et le nombre d'années passées dans la maison d'habitation par le représentant du ménage. L'analyse de vulnérabilité recherchée était celle de ce chef de ménage dont la vulnérabilité était considérée comme représentative sinon tout au moins influençant la vulnérabilité globale de son ménage.
- ✓ **La connaissance du phénomène des inondations** : il s'agissait d'analyser la connaissance des populations interviewées sur trois aspects :
 - la connaissance du phénomène et de ses impacts (hauteur d'eau, durée d'inondation...)
 - la connaissance des causes des inondations : causes « institutionnelles », causes « physiques »,
 - la conscience de l'exposition au risque (force de l'inondation, zonalité)
- ✓ **Le vécu de l'inondation, les dégâts subis et les capacités de récupérer** : les questions posées cherchaient à analyser l'ampleur des dégâts subis lors des inondations et la capacité des populations à revenir à un état normal de vie et à se remettre du choc (niveau de retour après les dégâts subis)
- ✓ **Les comportements en cas d'inondation** : il s'agissait de percevoir à quel point les populations pouvaient elles même se mettre en danger, en adoptant des comportements inadaptés et comment elles percevaient elles même leur exposition.
- ✓ **La réglementation et les moyens d'alerte** : il s'agissait d'explorer la réception sociale d'un outil d'alerte pas encore existant, d'analyser la connaissance des comportements à tenir au moment de l'inondation et des consignes, et d'analyser les comportements effectivement tenus au moment de l'inondation

- ✓ **Les observations de l'enquêteur** : l'enquêteur avait également pour rôle d'analyser le type d'habitation de l'enquêté, et de recueillir certaines informations d'ordre général sur la maison d'habitation (présence de caniveaux et de commerce devant la porte...).

La focalisation sur ces cinq aspects répondait à la nécessité d'avoir un questionnaire le plus digeste possible pour faciliter le recueil de données et limiter les biais liés au temps d'admission et de réponse aux questions. Les deux questionnaires sont présentés en annexe 8.

❖ Choix du répondant

Dans les enquêtes sur les ménages, le choix du déclarant revêt un caractère primordial. En effet, si le choix est porté sur des personnes mal informées, toute la validité de l'enquête peut être mise en cause. Dans notre cas de figure, nous tentions d'analyser la vulnérabilité des populations face aux inondations. Dans une démarche purement axée sur la vulnérabilité des ménages, la méthodologie nous aurait exigé le recueil d'informations sur tous les membres du ménage pour établir une vulnérabilité sociale globale par ménage. Compte tenu des coûts en termes de temps et d'investissement que cette méthodologie nécessite, nous avons plutôt opté pour l'étude de la vulnérabilité générale des populations des villes, mais en les repositionnant dans le cadre de leur ménage. Cela nous a ainsi permis de n'interviewer qu'un seul adulte par ménage, de préférence le chef ou la chef de ménage pour que les informations recueillies sur le ménage soient les plus justes possible. L'idée était d'analyser la vulnérabilité de cet individu qui traduit d'une certaine manière une part de la vulnérabilité du ménage.

❖ Critique du questionnaire

Le questionnaire est un support de collecte des données qui peut être source d'erreur dans le recueil d'informations. Ces erreurs peuvent se situer à plusieurs niveaux :

- au niveau de la conception du document :

Le questionnaire est parfois considéré comme une méthode réductrice et trop figée qui ne permet pas de cerner tous les contours dans les réponses des enquêtés. Il peut générer des réponses non valables lorsque les questions sont mal formulées ou lorsque le vocabulaire utilisé n'est pas accessible à la population ciblée. Il peut entraîner aussi le choix de réponse dont l'entendement par l'enquêté ne correspond pas à ce qui était pensé lors de l'élaboration du questionnaire. Par ailleurs, la longueur du questionnaire et la présence de nombreuses questions ouvertes peuvent entraîner une certaine lassitude des personnes enquêtées et un comportement d'évitement générant des non-réponses ou des réponses biaisées. Aussi, un biais de sélection

peut intervenir lorsque les personnes interrogées ne sont pas représentatives de la population mère.

Pour résoudre ces problèmes, les questions ouvertes ont été minimisées. De plus, l'enquête a été complétée par des entretiens pour mieux approfondir ou comprendre certaines réponses et réduire la longueur du questionnaire. Par exemple dans les deux questionnaires utilisés dans le cadre de cette thèse, des questions ont été posées sur le comportement des enquêtés lorsque survient une inondation. Cependant, aucune question n'a permis de comprendre le choix de l'enquêté sur telle ou telle réponse : est-ce consciemment ? Ou juste pour se débarrasser ? ou fait-il une sorte de loterie pour les réponses ? Ces aspects ont tenté d'être résolus avec les entretiens. Aussi, les informations sur la population mère ont été collectées en amont de l'enquête pour mieux cibler les caractéristiques des personnes à interroger. Par ailleurs, pour limiter les non-réponses et faciliter la compréhension, le questionnaire a été codé en langue française, mooré et bamanakan sur l'application Kobo Toolbox puis implémenté dans des téléphones portables Android. Le type de codage et l'utilisation de smartphone permettaient l'affichage progressif des questions empêchant de répondre à une question si la question précédente était sans réponse. L'application Kobo Toolbox est un outil gratuit et open source de collecte de données qui permet le recueil, le transfert et la visualisation de données en temps réel. La géolocalisation incorporée permet d'associer chaque répondant à une position géographique.

- au niveau de l'équipe chargée de faire passer le questionnaire : ce biais s'est matérialisé à deux niveaux dans notre phase d'enquête.

D'une part, le fait que l'enquête soit réalisée par plusieurs enquêteurs envoyés sur le terrain peut entraîner des biais liés à la subjectivité, aux préjugés et aux stéréotypes de chaque enquêteur pouvant entraîner un biais de sélection des personnes à enquêter. Plus le nombre d'enquêteurs sera élevé et plus la probabilité d'introduire des erreurs sera grande. Nous avons tenté de minimiser ce type d'erreur en procédant à la formation de tous les enquêteurs à la fois à Ouagadougou et à Bamako. Aussi, une supervision en temps réel des enquêtes a été réalisée grâce à la plateforme kobotoolbox en ligne pour permettre de recadrer l'enquête à temps et géolocaliser chaque enquêteur en temps réel. Le contact téléphonique permanent avec chaque enquêteur a permis de limiter ce biais de sélection.

D'autre part, il peut s'être mis en place un biais de confirmation d'hypothèses. Il s'agit de la tendance naturelle à considérer les informations qui confirment les idées préconçues et hypothèses de départ. Nous avons introduit dans le questionnaire des questions fermées qui

remettait en question nos hypothèses de départ, afin de pouvoir prendre en considération toutes les tendances.

- **au niveau des personnes sondées :**

Il peut intervenir au niveau des personnes sondées, un biais de désirabilité sociale. Ce biais résulte du fait que certains enquêtés recherchent à se montrer sous une facette positive lorsqu'ils sont interrogés. Ce sentiment les pousse à ne pas répondre de manière honnête aux questions qui leur sont posées et à tenter d'enjoliver leurs ressentis pour le rendre conforme à la vision qu'ils ont de la bonne réponse. Pour limiter ce type d'erreur, les enquêteurs devaient tenter de rassurer au mieux les personnes enquêtées de l'inexistence de bonnes réponses dans le questionnaire. De plus, nous avons utilisé un échantillon de population élevé en misant sur le caractère aléatoire de leur sélection afin de minimiser le nombre de réponses biaisées.

❖ **Méthode d'échantillonnage et représentativité**

Plusieurs critères influent sur la représentativité d'un échantillonnage et donc sur la qualité des conclusions issues du traitement des données d'enquête. Il s'agit de la taille de l'échantillon, des critères de choix des individus à enquêter ainsi que du déroulé de l'enquête.

• **Taille de l'échantillon**

La taille de l'échantillon de population à interviewer était de plus 2000 personnes pour chacune des villes (2137 à Ouagadougou et 2047 personnes à Bamako). Cette taille a été calculée à l'aide de la formule de Réa et Parker (1997) in Gabert (2018) pour assurer la représentativité de l'échantillon :

$$n = \frac{t_p^2 * P(1-P) * N}{t_p^2 * P(1-P) + (N-1) * y^2} \quad \text{Eq. III-1}$$

où n est la taille de l'échantillon, N est la taille de la population cible, P la proportion réelle, t_p l'intervalle de confiance et y la marge d'erreur d'échantillonnage.

La procédure de détermination des valeurs des paramètres de l'équation III-1 est précisée en annexe 9.

L'application de cette formule a permis de déterminer la taille de la population à enquêter pour avoir un échantillon représentatif des ménages de chacune des villes. Elle était de 2004 ménages pour Ouagadougou et 2002 ménages pour Bamako. Pour avoir un échantillon représentatif de toute la population sans tenir compte du nombre de ménages, un échantillon de 1948 personnes à Ouagadougou et à Bamako devait être sélectionné. Ainsi, quelle que soit la

population cible identifiée, le nombre de personnes enquêtées est représentatif pour les deux villes.

- Critères de choix des individus enquêtés et déroulement des enquêtes

Une personne a enquêté est choisie comme représentante d'un ménage dans un lieu d'habitation. Cette personne devait avoir les caractéristiques suivantes pour pouvoir répondre à l'enquête :

- habiter la ville d'étude depuis au moins deux ans
- être résidente permanente de la ville
- être âgée de 18 ans et plus au moment de l'enquête
- consentir à répondre à l'intégralité du questionnaire
- être le ou la chef de ménage ou le cas échéant son enfant ou son cousin direct et pouvoir répondre au nom du ménage.

Les ménages enquêtés devaient être bien répartis sur le territoire d'étude. Pour se faire, un tri aléatoire a été effectué sur Qgis à l'aide de la densité de population des six communes pour la ville de Bamako et en fonction des quatre sous-zones pour la ville de Ouagadougou. Les enquêteurs se sont vus octroyer un nombre de ménages minimum à enquêter dans chacune des zones délimitées, pour atteindre le quota de 2000 enquêtes par villes.

Par ailleurs, les enquêteurs ont reçu les consignes d'encourager les réponses des femmes afin que l'échantillon de population enquêtée se rapproche le plus possible des quotas de populations des deux villes et soit ainsi représentatif de la population. Le nombre total de ménages enquêtés par zone est présenté dans les tableaux III-1 et III-2.

Tableau III-1 : Répartition des ménages enquêtés par commune et zones d'exposition à Bamako

	% de densité	Exposition selon le PGRCI	Nombre de personnes à enquêter
Commune 1	16,9	exposé	338
Commune 2	8,6	non exposé	172
Commune 3	8,4	non exposé	168
Commune 4	13,9	exposé	278
Commune 5	24,2	non exposé	484
Commune 6	28	exposé	560

Tableau III-2 : Répartition des ménages enquêtés par commune et zones d'exposition à Ouagadougou

Zones	Nombre de personnes à enquêter	% de surface	Exposition		Statut urbain	
			D'après réglementation	D'après la presse écrite	Formel	Informel
Zone 1	212	9,9	X		X	X
Zone 2	783	36,6		X	X	X
Zone 3	643	30,1			X	
Zone 4	499	23,4				X

Pour obtenir des réponses pertinentes, les personnes enquêtées ont été rassurées que leur identité serait préservée. Ainsi, le processus d'enquête a été mené en anonymisant les répondants.

6.1.2.3. Enquête qualitative par entretien

Pour le volet entretien, plusieurs guides ont été réalisés et soumis à des personnes identifiées soit dans la population générale ou au sein de structures nationales, dans l'optique de mieux comprendre les contours de l'étude et renforcer la dimension qualitative des enquêtes. Les avis et opinions des personnes interviewées sur les différents aspects de la problématique ont été collectés. L'enquête par méthode qualitative s'est ainsi appuyée sur des entretiens semi-directifs réalisés sur la base de guides d'entretien. Ce type d'enquête a été envisagé afin de comprendre les représentations et les perceptions des populations et des acteurs par rapport à leur environnement, analyser les opinions et approfondir les raisons qui expliquent certaines pratiques. Plusieurs guides d'entretien ont ainsi été confectionnés en fonction des différentes cibles (services techniques, collectivités locales et territoriales, usagers...). Les principales rubriques abordées avaient traités à la perception, aux construits sociaux, au contexte territorial, à la vulnérabilité, aux outils de planification du territoire et aux capacités techniques et financières des différentes structures en charge de la gestion du territoire (cf. Annexe 10 pour les guides d'entretien).

Les entretiens étaient réalisés de manière préférentielle en face à face et enregistrés après autorisations des personnes interviewées ; cependant, pour des raisons de disponibilité certains entretiens ont dû être réalisés par appel téléphonique. Ils ont alors été enregistrés avec l'application « call recorder » après autorisation des personnes interrogées.

Lorsque pour une raison quelconque l'interviewé refusait de se faire enregistrer, nous avons procédé à des prises de notes comme méthode alternative afin de faciliter le traitement futur des données. De manière générale, nous avons remarqué que les personnes interrogées étaient plus loquaces et abordaient plus facilement leurs difficultés lorsqu'elles n'étaient pas enregistrées. Cela pourrait s'expliquer par la méfiance à cause des craintes que leur discours soit retenu contre eux ou soit utilisé dans le but de leur porter un quelconque préjudice.

Par ailleurs, certains acteurs se sont fait accompagner de manière spontanée de leurs collaborateurs les plus proches lors des entretiens. Cela a eu l'avantage de permettre d'avoir une vision plus large des opinions et des différentes problématiques abordées. Cependant, ce type d'entretien collectif présente l'inconvénient de limiter le temps de parole de chaque intervenant et de rendre le discours très orienté vers un discours dominant (Fenneteau, 2015).

En résumé, 27 personnes ont été interviewées dans des structures administratives et 22 personnes au sein de la population générale enquêtée à Ouagadougou et à Bamako.

Tableau III-3. Récapitulatif du nombre de personnes rencontrées à Ouagadougou et Bamako

	Nombre de personnes interviewées	
	Dans les structures administratives	Dans la population générale ayant pris part à l'enquête
À Bamako	14	12
À Ouagadougou	13	10

NB : un tableau récapitulatif des structures administratives ayant pris part aux entretiens est fourni en annexe 11.

6.2. les méthodes statistiques en fond de toile de la recherche sociale

Le traitement des données a été réalisé grâce à des logiciels appropriés. Il s'agissait notamment :

- des logiciels R, Excel et SPSS pour le traitement statistique
- de Qgis et ArcGis pour le traitement spatial des données :

Cette phase de traitement a été menée en quatre principales étapes, complétées de l'analyse « non systématique » des discours issus de la phase d'entretien. Il s'agissait de :

- la détermination des caractéristiques globales de la population : elle s'est fondée d'une part sur des statistiques descriptives (tri à plat et tri croisé des données) pour mettre en lumière les caractéristiques globales de la population et déterminer les corrélations entre variables.
- La détermination des variables sociales en lien avec l'endommagement structurel grâce à une régression logistique binaire : Il s'agissait d'analyser la susceptibilité des facteurs sociaux à pouvoir prédire un endommagement structurel au niveau du ménage. Cette partie répondait à la question : existe-t-il des éléments intrinsèques aux individus qui expliquent qu'ils puissent subir des dégâts au niveau de la structure de leur maison d'habitation ?
- La détermination d'un indice de bien-être économique : C'est un indicateur en lien avec le niveau économique des ménages, qui permet de rendre compte de leur degré de richesse.
- Le calcul de l'indice de vulnérabilité socio-spatiale : C'est un indice qui permet de rendre compte du niveau de vulnérabilité social d'un territoire à un moment donné. Comme tout fait social, cette vulnérabilité n'est pas figée dans le temps et est susceptible d'évoluer positivement ou négativement en fonction de plusieurs éléments. Cependant, l'estimation de cette vulnérabilité est tout de même nécessaire pour permettre de faire un état des lieux de la situation et proposer des mesures qui soient le plus près de s'adapter au terrain.

6.2.1. Caractéristiques globales de la population

6.2.1.1. Tri à plat des données

L'analyse descriptive par tri à plat a été réalisée afin d'établir les grandes tendances qui se dégagent des réponses données. Elle a été effectuée à l'aide du logiciel Excel. C'est une analyse univariée qui consiste à déterminer les fréquences des réponses obtenues pour chaque question de l'enquête et à les représenter graphiquement au besoin.

Le tri à plat des données a permis de déterminer les quotas des personnes interrogées et de vérifier la représentativité de l'échantillonnage.

6.2.1.2. Tri croisé des données

Le tri croisé de données permet de déterminer s'il existe une corrélation entre les différentes variables et de déterminer les liens existant entre les attitudes, opinions et comportements exprimés par les personnes enquêtées et leurs caractéristiques. Autrement dit, il s'agit de déterminer s'il y a une relation entre deux questions posées ou de mettre en évidence l'influence d'une variable sur une autre. L'interprétation des résultats d'un tri croisé passe nécessairement par la détermination de l'intensité de la relation (forte, moyenne ou faible) si les variables ne sont pas indépendantes.

Les variables étant pour la plupart qualitatives, une analyse par test de Khi2 a permis d'établir l'existence de relation entre variables. La significativité statistique de cette relation a été jugée par test de Fisher. Deux variables sont jugées significativement indépendantes si la p-value est inférieure au seuil α de 5 %.

La détermination du V de Cramer a permis de déterminer pour les variables corrélées entre elles, la force de la relation (Bawa, 2018 ; Ritschard, Zighed & Nicoloyannis, 2001), éliminer du dépouillement les variables inintéressantes et réduire les redondances dans les données. Le seuil de V de Cramer pour considérer deux variables fortement corrélées entre elles a été fixé à 0,20 conformément aux travaux de Akoglu (2018) et Alou (2018). Deux variables sont d'autant plus fortement corrélées que leur V de Cramer est proche de 1 (Yabi et al. 2019).

6.2.2. Statut socioéconomique des populations de Ouagadougou et de Bamako

La connaissance de la position socioéconomique des populations est un préalable nécessaire à de nombreuses études pas seulement en sciences sociales. En effet, la notion de pauvreté ou de richesse qu'elle renferme est un concept qui participe de manière complexe et en association avec d'autres facteurs, à la capacité des populations à prendre en main leur destin. Les capacités économiques sont particulièrement mises en avant dans le domaine de la gestion des risques et de la capacité des populations à surmonter ces risques. Bien que revêtant de nombreuses définitions, le bien-être économique se base presque toujours sur les ressources et le statut des individus dans une vision de hiérarchisation sociale (Howe et al., 2009). La position socioéconomique des populations peut être déterminée par plusieurs approches qui utilisent soit le revenu net des ménages, ou la dépense de consommation ou la possession de certains biens par les individus. Ces différentes approches comportent chacune des limites.

En effet, analyser la position socioéconomique sur la base du revenu net des ménages pose des difficultés notamment en ce qui concerne l'accessibilité aux données. La plupart des études économiques ont relevé la réticence des populations à parler ouvertement de leur revenu net. Il s'agit en effet d'une question sensible qui touche au sentiment de réalisation personnel des individus. Pour ce faire, il est en général recommandé de procéder à des méthodes détournées pour collecter cette donnée, bien que ces méthodes soient moins précises. Certains auteurs utilisent des échelles de revenus comme moyens palliatifs. Ces méthodes à notre avis ne règlent que partiellement le problème, car elles peuvent mettre mal à l'aise les répondants qui peuvent être contraints à donner de fausses réponses pour assurer une certaine image. Aussi, le degré de pauvreté n'est pas toujours lié au revenu net. Il doit en effet prendre en compte des aspects plus complexes qui relèvent plutôt du mode de gestion de ses revenus et des personnes à charge.

La méthode qui nous a semblé la plus appropriée pour permettre d'analyser le niveau de richesse est celle mise en œuvre par la FAO (World Food Programme, 2017) dans le cadre de l'analyse du bien-être économique ou *wealth index*. L'indice de bien-être économique est établi, d'après la méthode de la FAO, sur la base des données sur les biens matériels possédés par les ménages interrogés. Ceux-ci concernaient le statut d'occupation du logement (location ou propriété), la possession par le ménage de certains biens de consommation (télévision, réfrigérateur, poste radio et téléphone portable), le nombre de personnes dans le ménage, les moyens de transport dont le ménage dispose et certaines caractéristiques du logement (type de matériau utilisé pour la construction de la maison, disponibilité de l'électricité, type d'approvisionnement en eau potable). Dans notre étude, les informations sur les biens des ménages proviennent des enquêtes Raincell 2017 pour Ouagadougou et 2018 pour la ville de Bamako sur la vulnérabilité face aux inondations. Le *wealth index* traduit de manière fiable la situation économique en général et celle à long terme selon certains auteurs (Gwatkin et al., 2007; World Food Programme, 2017).

De manière pratique, la méthode de la FAO consiste à affecter à chacune des variables retenues un poids ou score généré grâce à une analyse en composante principale. L'analyse en composante principale permet d'établir les corrélations qui existent dans un groupe de variables quantitatives. Les scores des biens qui résultent de l'ACP sont standardisés selon une distribution normale centrée réduite. Un score est par la suite attribué à chaque ménage pour chaque bien et on fait la somme de tous les scores par ménage. Les individus sont ensuite classés

en fonction de leur score. L'échantillon est par la suite divisé en quintile de population, chaque quintile correspondant à un niveau allant de 1 (le plus bas) à 5 (le plus élevé).

Cinq étapes ont permis d'aboutir à la création de l'indice de richesse ou wealth index à Ouagadougou et à Bamako :

➤ **sélection des variables**

La sélection des variables devant intervenir dans la formation du wealth index est une étape primordiale de laquelle dépend la qualité du résultat final. Plus le nombre de variables incluses dans la formation du wealth index est élevé, moins il y a de risques de biaiser les résultats. Cependant, il était nécessaire pour nous d'inclure des données qui permettent une comparaison entre les deux villes et qui soient donc représentatives du statut socioéconomique à la fois à Ouagadougou et à Bamako. Des contraintes liées à la longueur du questionnaire ont également eu un poids non négligeable dans le nombre de variables choisies. En effet, nous ne pouvions pas inclure un nombre trop grand de variables au risque d'allonger le questionnaire, de le rendre indigeste et d'aboutir à des réponses irréfléchies, infondées ou des non-réponses de la part des enquêtés à cause du temps d'administration (Boulbry, 2006 ; Dianoux, 2007).

Sur cette base, les variables recueillies pour le calcul de l'indice de bien-être économique à Ouagadougou et à Bamako ont concerné :

⇒ **les biens non productifs : Il s'agissait en particulier**

- des biens de consommation : le nombre de téléviseurs, de réfrigérateurs, de poste radio et de téléphones portables dans chaque ménage a été comptabilisé.
- Des moyens de transport dont disposent certains ménages et leur nombre (motocyclettes, voitures, vélos)

⇒ **les équipements ménagers et services publics à disposition du ménage** : il s'agissait

- du type de matériaux utilisés pour la construction de la maison,
- de l'accès à des services urbains de base (électricité, type d'approvisionnement en eau potable, type de toilette à disposition).

⇒ **le nombre de personnes dans le ménage**³² : c'est un indice de pauvreté qui permet de distinguer les ménages pauvres des ménages riches.

³² Le seuil de pauvreté concernant la variable nombre de personne dans le ménage a été fixé à 7. En effet, l'étude de l'INSD (Sanou & Ouedraogo, 1998) mentionne qu'un ménage urbain *comprend en moyenne 6,5 personnes* et que *les ménages pauvres ont des tailles plus*

⇒ **le statut d'occupation du logement** : il s'agissait de savoir si le ménage était propriétaire du logement, locataire ou logé gratuitement.

À ces données préconisées par la FAO, nous avons ajouté la présence de bitume ou de caniveaux devant la maison d'habitation et la présence d'un commerce dans la maison d'habitation. L'hypothèse de départ qui a conduit à inclure cette variable est que la présence d'un commerce peut permettre d'améliorer le statut socioéconomique du ménage.

➤ **exploration des variables**

Cette étape permet de ne sélectionner que les variables distinguant les ménages riches des ménages pauvres. Il s'agit d'effectuer un tri à plat des données pour déterminer la fréquence de chaque modalité de variable. Si un bien ou une modalité est possédée par plus de 95 % ou moins de 5 % de l'échantillon, cette variable est exclue de l'échantillon.

Les variables bitumes et caniveaux devant la maison ont finalement été exclues de l'analyse sur la base de la règle établie à la fois à Ouagadougou et à Bamako. Il n'apparaît pas clairement comment la présence d'un commerce dans la maison d'habitation peut permettre de distinguer un ménage pauvre d'un ménage riche.

➤ **recodage en variables d'échelle**

Les variables finalement retenues comme nécessaires à la détermination du bien-être économique sont recodées en variables binaires avec pour les modalités 0 les modalités qui rendent pauvres et 1 pour celles qui rendent riches. Les normes de l'UNICEF/OMS et les classifications effectuées par des institutions étatiques dans chaque pays ainsi que celles de la FAO ont été utilisées pour coder les modalités (Cf. Annexe 12).

➤ **Analyse en composantes principales**

L'indice KMO et le test de sphéricité de Barlett ont été utilisés, complétés de la méthode varimax de rotation d'une régression. Les observations n'ont pas été pondérées en l'absence

grandes avec une moyenne de 8,5 personnes par ménage, les ménages non pauvres ont une plus petite taille avec une moyenne de 6,1 personnes (P.35).

*le fait de posséder une latrine simple ou de ne pas en posséder du tout est synonyme de pauvreté conformément aux résultats de l'enquête sur les dépenses de la ville de Ouagadougou (INSD, 1998, p. 35) où la plupart des ménages avec un niveau de vie faible avaient au mieux des latrines ordinaires.

d'une méthode justifiable (Cutter et al., 2003). À la fin de l'ACP, de nouvelles variables correspondants aux composantes principales ou facteurs de l'ACP sont déterminées.

➤ **création des quintiles d'indices de bien-être économique**

Le premier facteur qui correspond à l'indice de bien-être économique est ordonné en quintile, chaque quintile correspondant à un niveau de bien-être économique.

Malgré son intérêt certain, le wealth index n'est pas exempte de limites. En effet, le problème qui émerge est en rapport avec le lien entre l'absence d'un bien dans le ménage par choix et l'absence d'un bien dans le ménage par manque de moyen financier (exemple les populations dites « minimalistes³³ » présentent dans d'autres contrées). Cependant, cette limite peut être contournée grâce à l'utilisation d'un nombre important de variables dans l'élaboration du wealth index, qui contribuent de manière certaine à l'amélioration des conditions de vie.

6.2.3. Lien entre facteurs sociaux et endommagement structurel

6.2.3.1. Généralités sur la régression logistique

Le scoring est une technique de hiérarchisation des données qui permet d'analyser par une note ou un score la probabilité qu'un individu appartienne à une cible donnée. L'analyse de l'endommagement structurel à partir de facteurs sociaux a été faite par scoring utilisant la régression logistique binaire. C'est une méthode d'analyse multivariée inférentielle largement utilisée en sciences sociales qui permet d'identifier les effets de plusieurs variables explicatives sur une variable d'intérêt binaire de type vrai/faux ou oui/non, encore appelé variable à expliquer ou variable cible. Elle mesure pour ce faire l'association entre l'occurrence d'un évènement décrit par une variable qualitative et les facteurs susceptibles de l'influencer, résumés dans des variables qualitatives ou quantitatives. Cette méthode permet donc l'utilisation de variables explicatives quantitatives ou qualitatives dans un modèle de prédiction. Elle aide à l'élaboration d'un modèle précis et robuste et modélise directement une probabilité (Judge, 2019).

Dans notre étude, nous avons cherché à savoir quelles sont les variables sociales culturelles et cognitives qui expliquent qu'un ménage ait subi des dégâts dans les villes de Ouagadougou et de Bamako. Pour ce faire, les mêmes bases de données d'enquête

³³ Les populations minimalistes sont des populations qui ont fait le choix d'apprendre à se détacher des choses matérielles, et du pouvoir qu'elles exercent sur elles pour adopter un mode de consommation raisonnée et, si possible, responsable (source : https://www.lexpress.fr/styles/psycho/le-minimalisme-ce-nouveau-mode-de-vie-qui-a-change-leur-quotidien_2119967.html, consulté le 13/06/2021)

Raincell 2017 et 2018 utilisées jusqu'ici ont été exploitées. La variable d'intérêt correspondait à la réponse des enquêtés à la question « **avez-vous subi des dégâts au niveau de la structure de votre maison au cours d'une inondation durant ces 30 dernières années ?** » Les modalités de réponse à cette question ont été regroupées et recodées en binaires :

- une modalité « **dégâts = non** » qui regroupait les réponses « pas du tout de dégâts » et la modalité « sans objet » correspondant aux ménages n'ayant pas subi d'inondation au cours des 30 dernières années.
- une modalité « **dégâts = oui** » qui regroupait les modalités correspondant aux modalités « faible », « moyen » et « fort ».

Les facteurs de risques liés à l'expérience et aux connaissances des inondations, à la psychologie et à l'efficacité des mesures pour faire face, mais également aux aspects démographiques des chefs de ménage ont été pris en compte.

6.2.3.2. Étapes de réalisation de la prédiction

La prédiction a été effectuée dans l'optique de caractériser l'appartenance à la classe « avoir subis des dégâts structurels en 30 ans », en fonction de la possession de certains caractères sociaux de type qualitatif. La mise en œuvre de la régression logistique binaire a suivi cinq étapes principales :

❖ Analyse exploratoire des données

L'analyse exploratoire des données a été réalisée dans le but d'avoir une idée globale des données de base et de détecter la présence de valeurs manquantes ou de données aberrantes ou à recoder. L'indicateur de bien-être économique créé dans le but d'améliorer la compréhension de la vulnérabilité sociale des populations a été inclus dans l'analyse. Par ailleurs, du fait de la sensibilité de certaines observations à l'origine de variations importantes dans l'estimation des coefficients, nous avons procédé au recodage de certaines modalités et à la création d'un indice de connaissance des causes des inondations (know_cause). L'idée était de limiter l'instabilité du modèle et de le rendre plus robuste.

L'indice de connaissance des causes des inondations a été créé par analyse des correspondances multiples (ACM) et classification ascendante hiérarchique (CAH) sur la base des variables en lien avec les causes des inondations. Ces causes concernaient l'urbanisation en zone inondable, l'installation anarchique, la crue du fleuve ou du barrage, l'ensablement des cours d'eau, le mauvais aménagement des berges, les dépotoirs sauvages de déchets, le changement climatique et les fortes pluviométries. Il a permis de discriminer les personnes qui

connaissent très bien les causes des inondations, celles qui les connaissent moyennement et celles qui les connaissent faiblement.

❖ Identification des prédicteurs

La démarche élaborée pour la sélection des variables explicatives est présentée dans la figure III-4. Cette démarche est inspirée de Sanharawi et Naudet (2013). Conformément à leurs travaux, nous avons effectué une analyse univariée par test de Khi2 (en fixant le seuil de significativité à 0,2) entre chacun des facteurs identifiés et notre variable d'intérêt. Cette étape a permis de sélectionner les variables liées à notre variable d'intérêt. Une analyse bivariée entre ces variables explicatives sélectionnées a ensuite été réalisée pour éliminer les redondances dans les données. La présence de variables redondantes (trop liées entre elles) a en effet pour conséquence de rendre médiocre la qualité modèle voir d'empêcher l'estimation des différents coefficients (Sanharawi et Naudet, up.cit.).

L'analyse des liens entre variables a consisté à réaliser un test de Khi2 au seuil de significativité de 5 % et à analyser le V de cramer entre variables prises 2 à 2. Lorsque la forte corrélation entre deux variables explicatives est révélée par les tests, une des variables est éliminée pour éviter la redondance (Bawa, 2018; Ritschard, Zighed & Nicoloyannis, 2001; Yabi et al., 2019). L'inclusion de variables redondantes a en effet pour conséquence de rendre la qualité du modèle de régression logistique médiocre et réduit les possibilités d'estimation des coefficients.

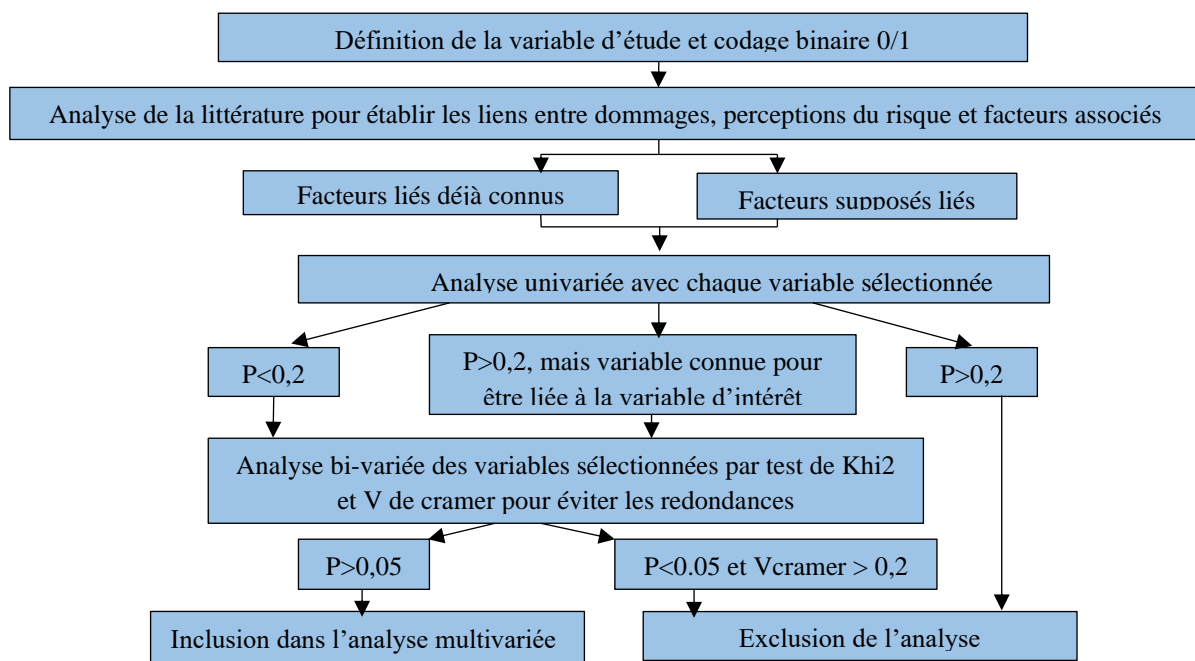


Figure III-4 : Logigramme du processus de sélection des variables explicatives à inclure dans la régression logistique binaire (inspiré de Sanharawi & Naudet (2013)) source : Da & Bonnet (2020)

À la fin de la démarche, le critère de suffisance des évènements (nombre suffisant de personnes ayant subi des dégâts) par rapport au nombre de variables explicatives retenues a été vérifié. *La règle générale est d'avoir au moins 10 fois plus d'évènements que de variables explicatives incluses dans le modèle de régression logistique* (El Sanharawi & Naudet, 2013).

En somme, une vingtaine de variables (24 à Bamako et 21 à Ouagadougou) ont été retenues comme permettant de mettre en lumière les facteurs de survenue de dégâts structurels et de faire des prédictions sur l'endommagement potentiel futur des ménages.

❖ Estimation du modèle sur un échantillon d'apprentissage

Il s'agit de caler le modèle sur un échantillon d'individus dont le comportement est connu au regard de la question posée. Dans l'optique de caler notre modèle d'apprentissage, l'effectif de la population d'étude a été randomisé en deux groupes (un groupe d'apprentissage constitué de 75 % des individus tirés de manière aléatoire et un groupe test servant à étudier les qualités prédictives du modèle). La partition du jeu de données en échantillon d'apprentissage et échantillon test a été réalisée de façon aléatoire tout en conservant un caractère représentatif des fréquences de réponse de la variable à expliquer grâce à la fonction R « set.seed ». Les variables à garder dans le modèle final ont été sélectionnées par technique de sélection ascendante et descendante (méthode la plus performante et la plus utilisée) avec comme critère de sélection la minimisation de l'AIC (Akaike Information Criterion). Cette technique permet de sélectionner un modèle fournissant le maximum d'informations sur la variable à expliquer à partir du plus petit nombre de variables explicatives possibles (principe de parcimonie).

❖ Validation sur un échantillon test et application

Une phase de test a été effectuée sur les 25 % restant du jeu de données pour permettre la validation du modèle sur des données « vierges » n'ayant pas servi à la phase d'apprentissage. Après cette phase, une matrice de confusion permettant de calculer le taux d'erreur de la modélisation a été élaborée. La sensibilité du modèle a été déterminée grâce à la construction de courbes ROC (Receiver operating characteristic). Une fois le critère de validation du modèle jugé satisfaisant, l'interprétation des odd-ratios est effectuée. Elle a permis de mettre en lumière les variables explicatives qui constituent des facteurs de risque ou des facteurs protecteurs par rapport à la survenue de dommages dus aux inondations à Bamako et à Ouagadougou.

❖ Interprétation des résultats

Pour l'interprétation des résultats, nous avons considéré la dépendance entre les variables à travers le calcul de l'Odds-Ratio (OR), paramètre toujours positif et compris entre 0 et $+\infty$. Ce dernier fournit une information sur le sens et la force de l'association entre la variable à expliquer et les variables explicatives. Le degré de significativité de l'Odd-ratio dépend de la valeur de la p-value et a été fixé à 5 %. Si p-value du log OR $< 0,05$ alors l'OR est significatif ; on peut alors interpréter l'association entre les variables explicatives et la variable à expliquer. Ainsi si l'OR est égal à 1, les deux variantes sont indépendantes. De plus, lorsque la fréquence de réalisation de la variable à expliquer est rare, l'odd-ratio est considéré comme un risque relatif et est par conséquent interprété comme tel. Par conséquent, si l'OR est significativement inférieur à 1 alors la variable explicative est un facteur protecteur. Par contre si l'OR est significativement supérieur à 1 alors la variable explicative est un facteur de risque. Sinon, seule l'association significative entre variables explicatives et variable binaire à expliquer est analysée.

La détermination de pseudo- R^2 (R^2 de Nagelkerke, de McFadden et de Cox-Snell) a permis de quantifier la contribution des descripteurs dans l'explication de la variable dépendante. Il s'agissait de vérifier que les modèles déterminés faisaient mieux que le modèle trivial c'est-à-dire présentaient une vraisemblance plus favorable. Si leur valeur est de 0, alors on ne fait pas mieux que le modèle trivial, mais plus ils se rapprochent de 1 (100 %) et plus le modèle est parfait.

L'interprétation de la liaison entre variables à expliquer et variables explicatives doit se faire avec beaucoup de prudence, car l'identification d'une relation ne signifie pas forcément qu'il existe un lien de causalité entre les variables (El Sanharawi & Naudet, 2013).

6.2.4. Indice socio-spatial de vulnérabilité

Les facteurs sociaux constituent l'une des causes les plus importantes de vulnérabilité des communautés exposées aux inondations (Fatemi et al., 2017). Depuis l'émergence de ce concept, de nombreuses approches d'analyse de la vulnérabilité sociale ont été émergées. Ces approches permettent de relever que la vulnérabilité sociale est influencée par plusieurs éléments qui conditionnent l'exposition des populations à l'aléa, leur résilience et leur susceptibilité à être impacté.

Pour l'identification de la vulnérabilité socio-spatiale, nous avons élaboré un indice fondé sur les réponses des populations des villes de Ouagadougou et de Bamako. La réalisation de cet

indice s'inspire des travaux de Cutter (2003). Cependant, n'ayant pas accès à des données de recensement à jour et comportant les variables nécessaires pour analyser la vulnérabilité sociale, notre réflexion s'est portée sur la mise en place d'un indice socio-spatial de vulnérabilité qui puisse être élaboré sur la base d'enquête. Cet indice de vulnérabilité est déterminé en utilisant deux traitements statistiques à savoir l'ACM et la classification ascendante hiérarchique, tous deux effectués sous R avec le package FactoMiner.

L'interprétation des résultats du traitement statistique des données a été faite en synchronisation avec d'autres outils utilisés dans le cadre de la thèse comme les entretiens qualitatifs formels et informels et l'analyse des écrits théoriques sur la problématique de recherche.

6.2.4.1. Analyse factorielle des correspondances multiples (AFCM ou ACM)

La méthode d'analyse factorielle permet de représenter de manière simplifiée en perdant le moins d'informations possible un ensemble de données collectées sur une population statistique déterminée. C'est une méthode qui permet de résumer l'information contenue dans un grand nombre de variables, dans un ou deux graphiques globaux de deux dimensions (appelés facteurs) et de voir les corrélations qui existent entre ces variables.

Les variables de notre enquête étaient plus d'une soixantaine par ville et principalement qualitative : les variables quantitatives ont été soit utilisées dans la détermination du *wealth index* et donc exclu de cette phase d'analyse de la vulnérabilité, soit transformé en variables qualitatives par regroupement naturel (pour la catégorie âge par exemple). L'analyse factorielle retenue est donc une ACM. L'ACM est une technique descriptive multivariée de statistique visant à résumer et visualiser un tableau de données contenant plus de deux variables qualitatives (Baccini, 2010; Husson et al., 2016; Renisio & Sinthon, 2014). L'objectif est d'identifier des groupes de personnes ayant un profil similaire en étudiant les proximités entre modalités et les associations entre variables. L'ACM permet de représenter en quelques graphiques réduits un ensemble de données, ce que ne permettent pas les séries de graphiques bivariés si les variables sont nombreuses. L'interprétation de ces graphiques permet d'avoir une idée des relations entre variables en fonction de leur position sur le graphique et d'appréhender rapidement l'ensemble des données (Meyer et al., 2004).

De manière pratique, l'ACM consiste à interpréter d'une part les axes factoriels sur la base des variables qui les forment et d'autre part les modalités des variables sur la base de l'interprétation des axes factoriels (Fort et al., 2011).

Dans notre étude, nous cherchions à obtenir d'une part une typologie de personnes interrogées en fonction de leur rapport aux inondations et de leurs caractéristiques socioéconomiques. La représentation graphique du plan factoriel constitué des axes 1 et 2 nous a permis d'identifier les regroupements de modalités et d'interpréter la typologie des individus.

La mise en œuvre de l'ACM, du fait de sa sensibilité aux effectifs faibles (modalités rares d'effectif <5 %), a nécessité après analyse du résumé du jeu de données le regroupement de certaines modalités en une seule (Cf. Annexe 13 pour un exemple). Le regroupement naturel des modalités est préconisé dans le cas de modalités ordonnées ou susceptibles d'être ordonnées (Husson et al., 2016).

L'interprétation des variables dans l'ACM permet de déterminer celles qui sont redondantes. En effet, l'ACM dans son principe de base permet de résumer une grande quantité d'informations en un nombre réduit de dimensions ou facteurs et de faire ressortir la proximité entre les modalités des variables. Ainsi, si toutes les modalités de deux variables sont proches alors « les deux variables mesurent un même aspect du phénomène et il existe une certaine redondance entre ces variables » (Meyer et al., 2004). Cependant, compte tenu du nombre important de variables à notre disposition, l'interprétation de la redondance directement par l'ACM s'est révélée délicate (graphique quasiment illisible).

Nous avons donc procédé, à l'aide du logiciel R et en amont de l'ACM, au test de Khi-2 des variables prises 2 par 2 et à l'analyse du V de Cramer pour déterminer les variables fortement corrélées. Le test de Khi2 a permis de déterminer la corrélation entre variables tandis que le V de Cramer servait à déterminer la force de cette relation (Cf chapitre 6.2.1.2 pour l'interprétation du V de Cramer). Meyer et al. (2004) ont noté que si deux variables sont redondantes et mesurent un même aspect d'un phénomène, « on peut en supprimer une des deux et refaire l'analyse avec un nombre plus petit de variables ». Lorsque deux variables étaient fortement corrélées entre elles, une des variables a été supprimée.

D'autres études ont déjà utilisé une procédure similaire à la nôtre afin d'éliminer des variables fortement corrélées avant de réaliser une analyse factorielle. Par exemple, Guillard-Gonçalves et al. (2015) ont calculé un coefficient de corrélation pour supprimer les variables redondantes avant d'effectuer une ACP pour déterminer un indice de vulnérabilité sociale. Le bénéfice de cette technique est de retenir un maximum d'informations pour un minimum de variables et ainsi de rendre l'interprétation de l'ACM plus robuste tout en la facilitant.

En outre, la variable « religion » n'a été utilisée que pour la vérification des catégories sociodémographiques. Elle n'est pas utilisée dans la détermination de la vulnérabilité du fait de son caractère sensible.

Pour l'interprétation de l'ACM, seuls les deux premiers axes factoriels ont été utilisés conformément aux travaux de (Fort et al., 2011).

Une fois les variables d'intérêts identifiées et l'interprétation de l'ACM effectuée, la deuxième étape consiste à répartir les populations en différentes classes. L'analyse factorielle s'avère en effet être une technique exploratoire utile pour la structuration des données ; cependant elle ne facilite pas la délimitation de groupes d'individus ; d'où l'intérêt d'un recours aux méthodes de classification. La méthode de classification que nous avons adoptée est la classification ascendante hiérarchique.

6.2.4.2. Classification ascendante hiérarchique

La classification ascendante hiérarchique consiste à répartir les populations en différentes classes (cluster). La réalisation de l'ACM en amont de la CAH permet au-delà des questions d'interprétation d'éliminer les redondances. En effet, lorsqu'il est utilisé dans la classification des variables très corrélées entre elles, des pondérations indésirables apparaissent faussant l'égalité de poids des différents critères (Kah et Pruvot, 2002).

L'avantage de cette technique est qu'elle permet de regrouper le plus grand nombre possible d'individus similaires au sein d'une même classe (homogénéité interclasses) et de définir les classes les plus dissemblables (hétérogénéité interclasses) (Aribi & Sghaier, 2021; Rérolle et al., 2015). Les critères de proximité ont été définis dans notre travail au travers de la méthode de Ward (1963). Il s'agit d'une des méthodes les plus courantes utilisées, dont le principe est fondé sur l'agrégation successive des individus jusqu'à réunion en une seule classe constituant la dernière partition. On réalise ainsi un arbre hiérarchique ou dendrogramme à partir de l'algorithme de classification utilisant le critère de Ward dont le découpage en groupe homogène permet de définir les différentes classes. Le critère du coude appliqué au diagramme des inerties de l'arbre hiérarchique ou dendrogramme, a permis de choisir le nombre de classes (figure III-5). Il se base sur le décrochement dans la décroissance des valeurs propres et implique de retenir les axes situés avant le décrochement. L'interprétation des classes est fondée sur les modalités corrélées à chaque cluster.

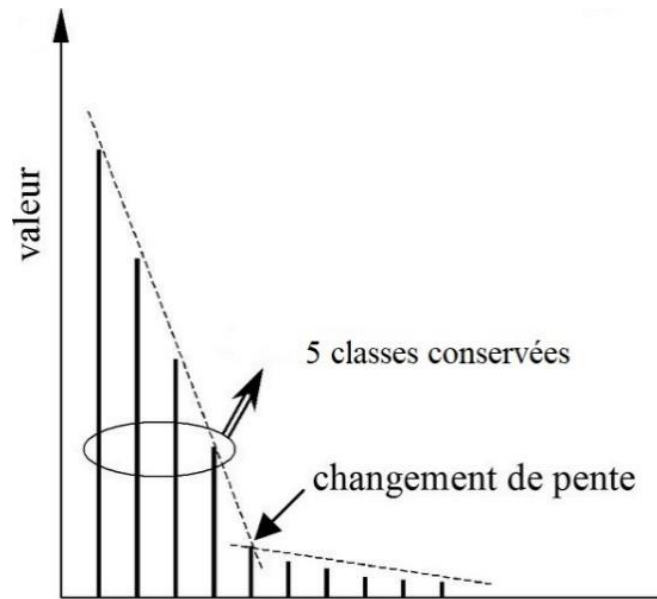


Figure III-5 : Exemple d'application du critère du coude pour le choix du nombre de classes

Dans notre étude, la CAH a été réalisée à l'aide du logiciel R et du package FactoMineR. Une fois la classification des différents individus réalisée, l'interprétation des différentes classes a permis d'établir un indice de vulnérabilité que nous représentons spatialement au niveau de chaque ville.

Synthèse : Intérêt de l'étude de la vulnérabilité axée sur les données d'enquête et les entretiens

Le chapitre 6 a permis d'aborder les questions méthodologiques d'analyse de la vulnérabilité sociale face aux inondations dans les villes de Ouagadougou et de Bamako. Il présente ainsi les différentes approches mobilisées pour analyser la sensibilité des populations à l'endommagement du fait des inondations. Les techniques employées font intervenir plusieurs domaines scientifiques et créent des passerelles entre l'économie, la sociologie et la statistique. Ce type d'étude permet ainsi un enrichissement des connaissances dans le domaine des sciences cindyniques et se révèle fortement utile pour les gestionnaires des risques.

Différents outils ont été employés dans le cadre de ce travail. Tout d'abord, la tenue d'un carnet de bord s'est révélée nécessaire. Ce carnet de bord a permis durant la phase d'analyse d'extraire un certain nombre d'informations quantitatives et qualitatives, qui ont servi à appuyer notre méthodologie et nos interprétations.

L'enquête par questionnaire standardisé nous a permis de cibler des populations dont nous avons pu analyser la vulnérabilité à travers un traitement statistique. Le questionnaire a été conçu avec des questions regroupées par thématiques pour assurer une certaine logique dans son administration et faciliter les réponses et le traitement des données. Ces enquêtes par questionnaires offrent la possibilité d'obtenir un grand nombre d'informations pertinentes et d'indicateurs sur un sujet. En termes d'échantillonnage, notre choix s'est porté sur la constitution d'un échantillon représentatif de la population de nos deux villes d'étude. Cela a consisté à interroger des individus dans des sous-zones identifiées comme exposées ou non aux inondations. Ainsi plus de 2000 personnes ont été interrogées dans chacune des villes. Dans le cadre de ce travail, les entretiens réalisés ont servi à alimenter la phase d'enquête et à construire le questionnaire (entretiens informels) et ont été utilisés en appui à l'interprétation des données (entretiens formels). De plus, l'expertise des responsables de structures en charge du territoire et les remarques issues de la littérature ont guidé tout le processus des choix méthodologiques.

Tous ces outils mobilisés sont adaptés à fournir des informations sur nos hypothèses sur la vulnérabilité sociale, qui résulterait d'une mauvaise prise en compte du risque dans les pratiques sociales des populations. Le chapitre qui suit aborde les résultats obtenus après l'application de la démarche présentée.

Chapitre 7. Vulnérabilité sociale de Ouagadougou et de Bamako : deux sociétés menacées par les inondations

Introduction

Le niveau de vulnérabilité des sociétés face aux risques dans les pays en développement s'est récemment accru du fait des changements climatiques et des activités humaines (carence en termes de planification urbaine, occupation anarchique des zones inondables...). Plusieurs études ont en effet montré que les comportements des populations peuvent favoriser l'augmentation de la fréquence des inondations et leur dangerosité. La dimension sociale constitue donc un niveau important à prendre en considération dans une étude sur le risque inondation, car elle permet de mieux appréhender la probabilité de survenue d'une crise et de déterminer les populations les plus vulnérables.

Ce chapitre a pour objectif d'identifier les caractéristiques sociodémographiques, cognitives et comportementales des populations de Ouagadougou et de Bamako, qui les rendent vulnérables face aux inondations. Il aborde les résultats de l'enquête réalisée dans les deux villes sur la vulnérabilité des populations face aux inondations.

Dans une première section (section 7.1) nous présentons les caractéristiques sociodémographiques et économiques des populations enquêtées, leurs connaissances de la réglementation et des consignes et leurs comportements et habitudes lors des inondations. Ces éléments sont analysés au regard de leurs capacités à aggraver la vulnérabilité des populations face aux inondations.

Dans une deuxième section (section 7.2), nous évoquons par une modélisation les facteurs sociaux qui peuvent expliquer un endommagement structurel au niveau de l'habitat des ménages.

Enfin, une dernière partie permet d'analyser l'exposition des populations aux inondations par la construction d'un indice de vulnérabilité en plusieurs niveaux. L'interprétation des différents résultats permet d'émettre un certain nombre de propositions de gestion dans les villes d'études et au Sahel en général.

7.1. Le profil social des populations vulnérables à Ouagadougou et Bamako

7.1.1. Représentativité sociodémographique et spatiale de l'échantillonnage

Au total, plus de 4000 personnes ont été enquêtées sur toute l'étendue des territoires de Ouagadougou et de Bamako (Tableau III-4). Les deux échantillons de populations enquêtées (2046 personnes pour Bamako et 2137 personnes pour Bamako) étaient composés pour la ville de Ouagadougou de 51,15 % de femmes et 48,85 % d'hommes avec pratiquement le même effectif pour la ville de Bamako. L'âge moyen des personnes enquêtées représentant le chef de ménage tournait autour de 37 ans à Bamako et 38 ans à Ouagadougou.

En ce qui concerne la profession, les commerçants étaient majoritaires dans la population enquêtée des deux villes, suivis à Bamako des ménagères et à Ouagadougou des personnes sans activité professionnelle. Pour le niveau d'étude, la population « jamais scolarisée » était plus élevée et majoritaire à Ouagadougou (41 %) comparativement à Bamako (19 %) où le niveau du secondaire était majoritaire.

Les ménages étaient à 71,36 % propriétaires de leur habitation à Bamako avec un pourcentage relativement plus élevé (86,66 %) à Ouagadougou. Les autres ménages étaient soit locataires soit hébergés gratuitement. Les musulmans étaient majoritaires dans les deux villes avec 54,05 % à Ouagadougou et 93,54 % à Bamako.

Tableau III-4 : Caractéristiques sociodémographiques des personnes enquêtées

Âge	Ouagadougou	Bamako
Médiane	37	38
Moyenne	40	40
Écart-type	14,39	14,01

	Fréquence % Bamako (N= 2046)	Fréquence % Ouagadougou (N=2137)
Genre		
Féminin	50,68	51,15
Masculin	49,32	48,85

Activités professionnelles	%	%
Agriculteur/Maraîcher	1,56	2,57
Artisan/Ouvrier	8,21	8,75
Cadre	1,86	1,40
Commerçant	24,19	22,23
Profession libérale	2,98	9,97
Ménagère	21,75	3,27
Privé	8,16	6,83
Public	5,03	5,94
Pêcheur/Éleveur	0,78	0,37
Retraité	6,30	4,82
Étudiant/élève	11,43	10,06
Autre	3,57	1,83
Sans activité professionnelle	4,15	21,99

Niveau d'étude	%	%
Jamais scolarisé	18,87	41,32
Alphabétisé	4,15	1,22
Médorsa	11,43	6,74
Primaire	14,90	14,55
Secondaire	26,91	20,40
Supérieur	24,19	12,77

Statut du logement	%	%
Propriété	71,36	86,66
Location	23,56	9,97
Hébergement gratuit	5,08	3,37

Les caractéristiques sociodémographiques des populations enquêtées jouent un rôle important dans la validation de l'échantillonnage et dans l'interprétation des résultats. Ils permettent de confirmer d'une part la représentativité d'un sondage et d'autre part de se faire une première idée de la population à analyser. Aussi, ils donnent une première idée des modalités susceptibles d'influer sur la vulnérabilité et de leur répartition dans la population d'étude.

En ce qui concerne l'aspect genre, l'échantillon de Ouagadougou a montré une légère surreprésentation des femmes par rapport aux hommes dans les deux villes. Cela s'explique par les consignes données aux enquêteurs concernant la nécessité d'encourager les femmes à répondre aux questionnaires. En effet, dans certaines études au Sahel (Alou, 2018), une surreprésentation du sexe masculin est constatée du fait des pesanteurs sociales qui tendent à réduire les libertés des femmes par rapport aux hommes (les femmes ne peuvent répondre dans bien des cas qu'après avoir reçu l'aval de leur conjoint).

En outre, les chiffres obtenus au cours des deux enquêtes ne sont pas éloignés des statistiques nationales. Pour la région du centre dans laquelle se situe la ville de Ouagadougou, elle comptait en 2017, 49,78 % de femmes presque la moitié de la population totale³⁴. Les données étaient sensiblement les mêmes à Bamako, avec un pourcentage de femme de 49,90 % presque égale à celui des hommes³⁵.

Concernant les activités professionnelles, le taux de commerçant retrouvé dans notre échantillonnage se rapproche des taux de 28 à 32 % mentionnés par Mesplé-Somps et al. (2018) dans leur étude sur l'urbanisation et la croissance dans les villes du Mali.

Concernant le niveau d'étude, la répartition dans notre échantillon se rapproche des statistiques retrouvées dans chaque ville. À Ouagadougou par exemple, 45,4 % de la population n'avait aucun niveau en 2009 ce qui se rapproche des 41 % retrouvé dans notre échantillon. 18 % de la population avait le niveau primaire, près de 24 % le niveau secondaire et 11 % le niveau supérieur. Toujours selon le RGPH 2009³⁶, 83 % des ménages étaient propriétaires de leurs logements et près de 9 % en location à Ouagadougou, ce qui confirme la représentativité de notre échantillonnage. Nous retenons globalement que le tirage aléatoire géographique réalisé dans les deux villes a permis d'avoir un échantillon satisfaisant aux conditions de représentativité pour les facteurs sociodémographiques de base tels que le genre, l'activité professionnelle, le niveau d'étude et le statut d'occupation du logement.

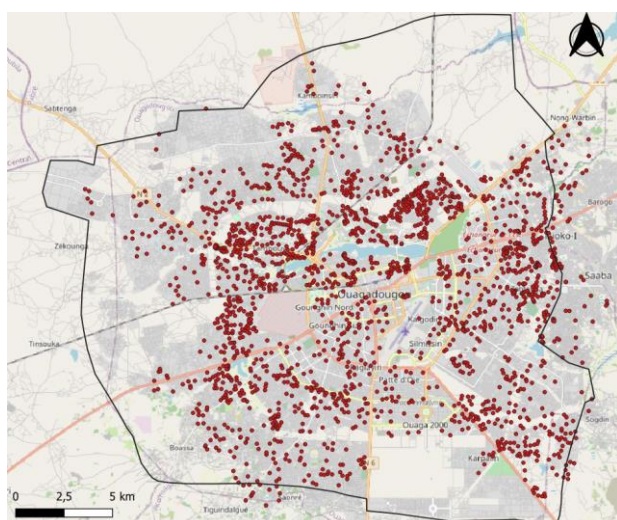
Par ailleurs, d'une manière générale, les populations enquêtées dans les deux villes étaient spatialement bien réparties au niveau des deux territoires (figure III-6). En effet, toutes les zones habitables des deux villes ont été sillonnées et incluses dans l'enquête.

³⁴ https://www.insd.bf/contenu/pub_periodiques/annuaires_stat/Annuaire_stat_nationaux_BF/Annuaire_Statistique_National_2017.pdf

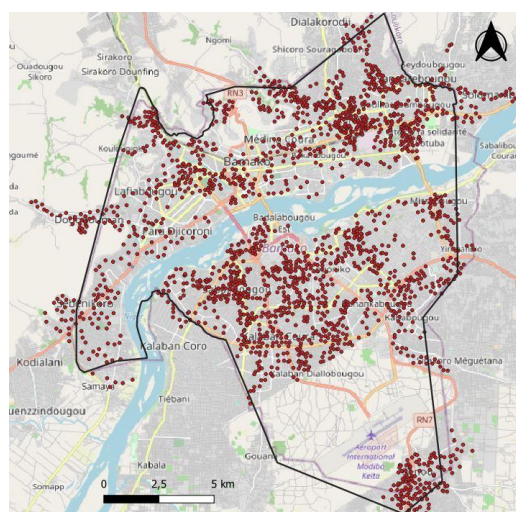
³⁵ https://www.instat-mali.org/laravel-filemanager/files/shares/pub/anuaire18_pub.pdf

³⁶ http://cns.bf/IMG/pdf/th_10_menage_et_habitations_fin_f.pdf

A. Ouagadougou



B. Bamako



• Points enquêtés

Figure III-6 : Répartition spatiale des ménages enquêtés à Ouagadougou (A) et Bamako (B)

Du fait de la bonne répartition spatiale des habitants enquêtés, et du fort rapprochement entre quotas réalisés et quotas prévisionnels, nous pouvons considérer que les deux échantillons de population sont globalement représentatifs des populations des villes de Ouagadougou et de Bamako et de qualité suffisante pour permettre une exploitation fiable des données. D'après Verlynde (2018), le manque de correspondance strict entre quotas réalisés et quotas prévisionnels n'est d'ailleurs pas un frein à la représentativité d'un échantillon ce qui nous conforte dans notre méthodologie. Cela est d'autant plus vrai si les données ne correspondent pas exactement à la zone d'étude et comportent des imperfections du fait du recensement (ce qui est le cas pour les données issues des RGPH de chacune des villes).

Cette représentativité des caractéristiques sociales des populations enquêtées au niveau des deux villes était un élément primordial à vérifier dans notre travail. Elle permettait de mieux appréhender les caractéristiques sociales globales des territoires et leur lien avec la vulnérabilisation face aux inondations. Les caractéristiques sociales des populations peuvent en effet influencer sur les comportements en cas d'inondation et ainsi avoir un impact sur le degré de vulnérabilisation.

7.1.2. Le bien-être socioéconomique comme base de la vulnérabilité

La vulnérabilité des populations aux risques inclut l'aspect économique lié aux revenus des individus et à leur capacité à faire face aux aléas. C'est une composante essentielle à prendre à compte dans l'analyse des risques, car de nombreuses personnes expérimentant durement les

effets des catastrophes naturelles sont issues de la classe pauvre. Elle n'est cependant pas à réduire à la simple notion de pauvreté puisque tous les pauvres ne subissent pas automatiquement les effets des catastrophes. Les sections qui suivent présentent les résultats de l'analyse des moyens de subsistance des populations à Ouagadougou et à Bamako à travers un indice de bien-être économique. Cette notion de bien-être économique est intrinsèquement liée aux notions de capacités traduisant l'aptitude des individus à utiliser leurs ressources pour fonctionner. Le bien-être économique constitue en effet une potentialité au même titre que le capital physique, humain ou social qui peut être valorisé par les individus pour faire face aux effets d'une catastrophe. Nous analysons ce bien-être économique à travers un indice élaboré sur la base des biens possédés par les ménages et au regard des capacités des populations à faire face aux effets des inondations. L'analyse de la pauvreté dans les deux villes permet de mieux comprendre l'impact d'un choc exogène sur la vulnérabilité des populations et leur résilience, en soulignant le rôle de la dynamique du bien-être des individus.

7.1.2.1. Répartition spatiale des couches socioéconomique à Ouagadougou

La détermination de l'indice de bien-être économique à Ouagadougou confirme la présence majoritaire des populations les moins aisées dans la périphérie de la ville (Figure III-7), principalement au niveau des quartiers non lotis, notamment à l'ouest et à l'est de la ville. Ces résultats sont confirmés par les travaux de Boyer et Delaunay (2009) qui avaient constaté également un « *gradient décroissant de centre vers la périphérie* » du niveau de vie des populations.

La présence des populations pauvres dans la zone périphérique (zone non lotie) s'explique entre autres par le niveau de spéculation du foncier à Ouagadougou, et la difficulté pour les ménages, du fait des coûts élevés, d'avoir accès à des parcelles et des maisons d'habitation en centre-ville.

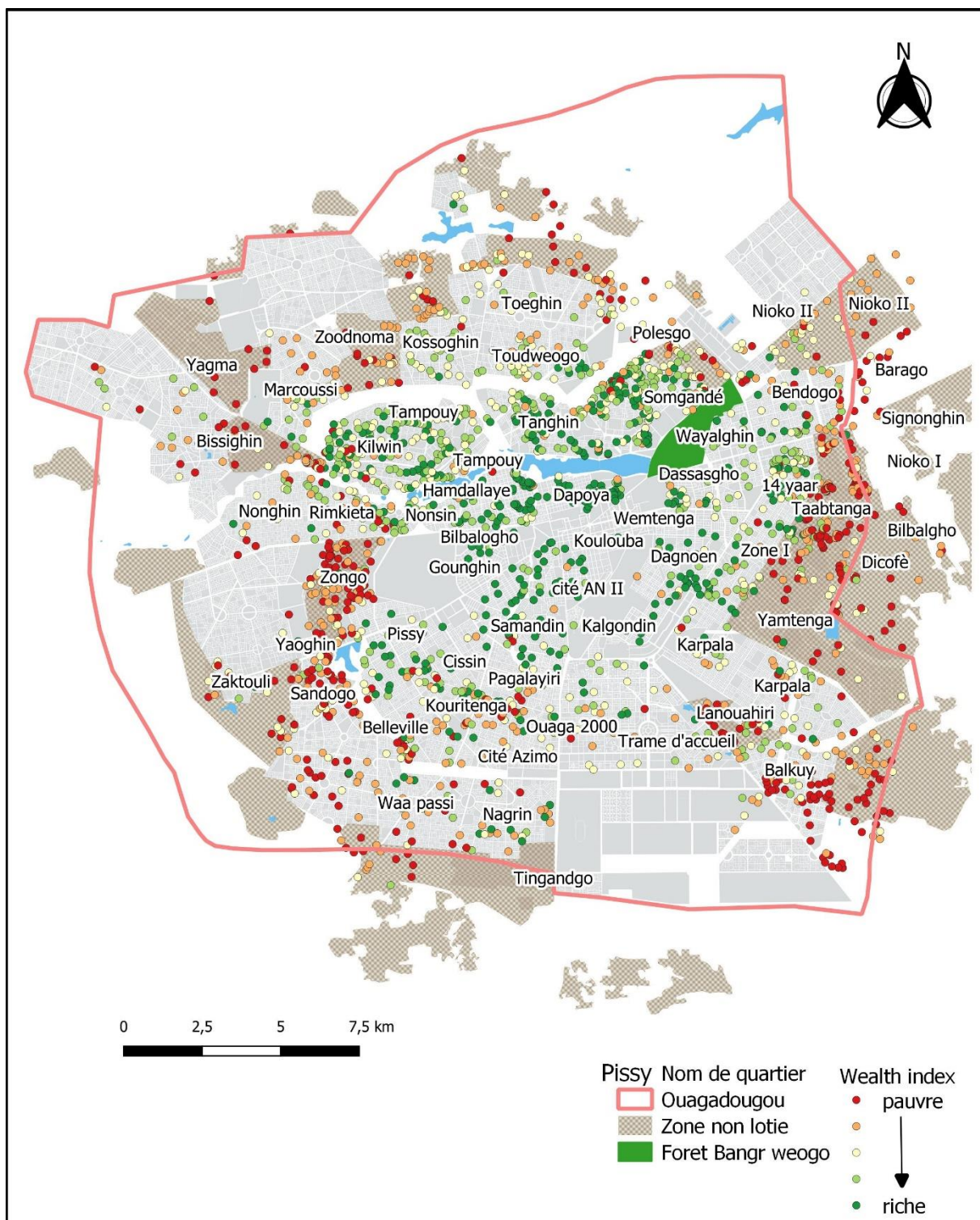


Figure III-7 : Niveau de pauvreté dans la ville de Ouagadougou selon l'indice de bien-être économique ou wealth index

Deux types de propriétaires se côtoient dans les zones non loties (Robineau, 2014). Il s'agit d'une part de familles en situation financière précaire qui s'installent en zone non lotie,

car il est plus facile d'y acquérir une parcelle à moindre coût et que ces zones offrent les avantages d'un accès aux commodités de la ville (travail...). D'autre part, des familles de classes moyennes y acquièrent souvent une « parcelle-alibi » dans l'espoir de pouvoir bénéficier un jour d'une parcelle en zone lotie. Beaucoup de ménages « pauvres » s'installent ainsi en périphérie en espérant pouvoir bénéficier d'une parcelle au moment des lotissements (Boyer & Delaunay, 2009). Ils sont conscients de l'intérêt de passer d'une zone non lotie à une propriété en zone lotie, car la valeur de la parcelle lors des lotissements augmente considérablement, selon les quartiers, avec une multiplication par deux voir par trois du prix du mètre carré. Du fait de la spéculation foncière, il n'est pas rare de voir des ménages vendre les parcelles qui leur sont attribuées au sortir des lotissements, et passer de non loties à non loties dans l'espoir de gagner de l'argent (Delaunay & Boyer, 2017). Par ailleurs, les zones informelles dites non loties de Zongo (à l'ouest) et de Taabtenga (à l'est) sont des quartiers qui ont plus de vingt ans d'existence. Dans ces quartiers peu pourvus en équipement de base et en manque d'infrastructures d'assainissement pluvial, on note une densité élevée de populations vivant dans la précarité. Le « déguerpissement³⁷ » pour raison de prévention des risques dans ces zones est rendu difficile du fait de l'ancienneté de l'installation des ménages.

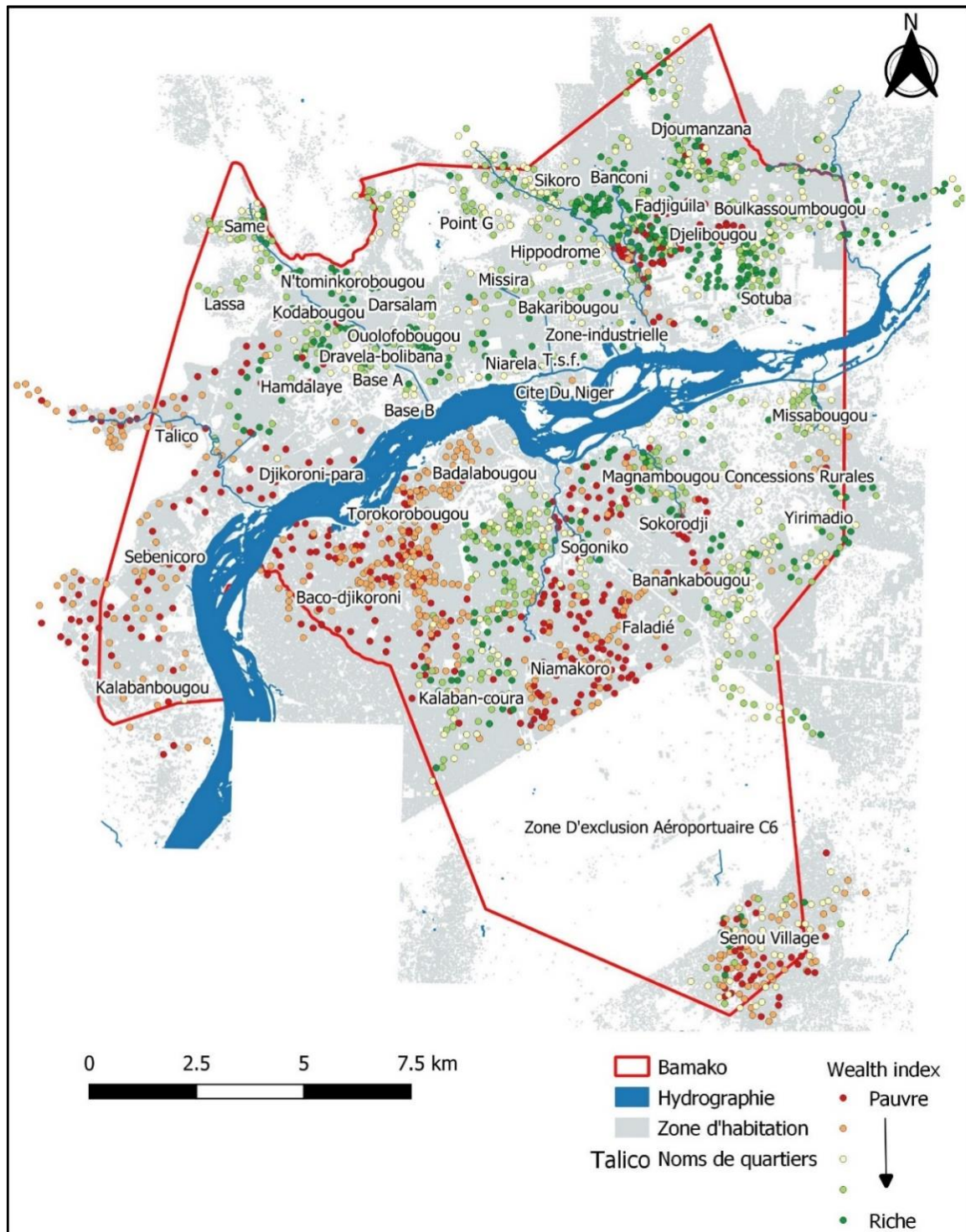
7.1.2.2. Répartition spatiale des couches socioéconomique à Bamako

La répartition de l'indice de pauvreté à Bamako fait ressortir la présence majoritaire des populations les moins bien nanties dans les quartiers de la rive droite. Ainsi, la figure III-8 permet d'observer que les quartiers populaires de Niamakoro, Faladié, Sogoniko, Baco Djikoroni, Sokorodji, Fadjiguila, Kalabanbougu et Sénou Village concentrent les populations les plus pauvres.

Ces quartiers, situés en zone urbaine inférieure ou en zone périurbaine, sont caractérisés d'après le zonage des moyens d'existence à Bamako (Cf. Annexe 14) par leur précarité et leur niveau d'infrastructure faible. L'analyse du niveau économique montre également que la plupart des quartiers situés en zone urbaine supérieure regroupent une population nantie. Cette concentration de populations riches s'explique par le caractère résidentiel de ces quartiers et la

³⁷ Déguerpissement : il s'agit d'un terme employé à Ouagadougou et qui fait référence à l'expropriation et à la relocalisation des populations par les autorités locales pour l'application de politiques urbaines ou par nécessité de gestion (protection des populations face aux risques...)

disponibilité d'infrastructures et d'aménagements adaptés au processus d'urbanisation. Il s'agit des quartiers tels que Boulkassoumbougou, Sotuba, Djélibougou et Hippodrome.



Source : Données PDSU, Données enquêtes

Date : 14/06/2019

Auteur : DA M. Laure Carolle

Figure III-8 : Répartition spatiale du bien-être économique à Bamako

Paradoxalement, quelques quartiers résidentiels comme Torokorobougou et Badalabougou ont mis en lumière une forte concentration de populations pauvres alors qu'ils sont situés en zone urbaine intermédiaire, dans des quartiers centraux abritant les principales infrastructures économiques. L'analyse de ces quartiers fait ressortir que la zone de Badalabougou accueille la zone universitaire et est d'ailleurs baptisée « colline du savoir » (S. Dembélé, 2017). La zone de Torokorobougou est elle aussi riche en infrastructures notamment sanitaires avec la présence du centre de santé communautaire de Torokorobougou. Au Quartier-Mali, on note la présence du Centre de santé de référence de la commune 5. C'est donc des zones attractives même pour les populations pauvres, qui peuvent y trouver facilement des sources de revenus du fait de la proximité de certains centres économiques et de la situation des quartiers en bordure de fleuve, favorisant les activités telles que la pêche, le commerce et l'agriculture. L'analyse croisée des données sur la profession des populations enquêtées dans ces quartiers et leur indice de bien-être économique (figure III-9) fait ressortir que les chefs de famille les moins riches occupant ces quartiers sont en majorité des commerçants, des artisans-ouvriers, des étudiants et des ménagères. Il y a une relation statistiquement significative entre la profession et le niveau économique dans ces quartiers ($p\text{-value} = 0,0004 < 0,05$). Ces résultats confirment donc la présence de populations moins nanties dans ces quartiers résidentiels du fait de leur attractivité.

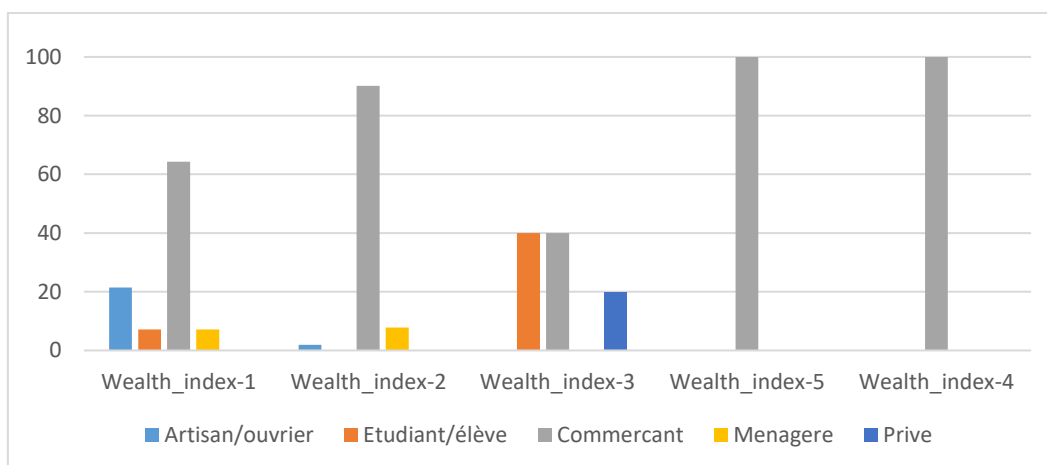


Figure III-9 : Répartition de l'activité professionnelle en fonction du wealth index dans les quartiers de Torokorobougou, Badalabougou et Quartier Mali de Bamako

7.1.2.3. Relation entre bien-être économique et capacité à faire face aux inondations et à se relever

Le bien-être économique tel qu'analysé dans cette étude est en lien avec la possession de biens matériels. Il permet d'appréhender le niveau de richesse des individus. Cette section tente

de faire le lien entre ce niveau économique et les capacités des communautés à faire face à une inondation. Elle permet de prendre en compte la différence de capacité des pauvres et des personnes plus nanties à faire face aux pertes matérielles et aux chocs de la survenue d'une inondation. L'impact des catastrophes naturelles dépend en effet des possibilités qui s'offrent aux individus de les affronter et de s'y adapter. Les capacités des populations à faire face à une inondation sont en lien avec leurs caractéristiques sociodémographiques (niveau d'étude, niveau économique), leur connaissance sur les inondations et leur comportement, la mise en œuvre effective de mesures à la suite d'inondation déjà survenue, leur fatalisme et leur exposition aux risques et aux dégâts du fait des inondations.

L'analyse statistique des données par tri croisé et la validation des résultats par test de Khi 2 et test de Cramer a permis d'établir ce lien et sa force pour certaines variables. Elle a montré par exemple à Bamako une relation forte et significative entre le niveau économique et des variables telles que l'avis sur l'exposition, la connaissance des consignes de la protection civile et de la loi, la connaissance de certaines causes des inondations, certains comportements adoptés à la maison et le fatalisme vis-à-vis des inondations (Tableau III-5).

Tableau III-5 : Variables fortement liées au bien-être économique à Bamako

Variables	Khi2*	V de Cramer**
Comportements		
Nettoyer	<0,000 1	0,38
Creuser	<0,000 1	0,37
Boucher les ouvertures	<0,000 1	0,21
Mettre les biens en hauteur	<0,000 1	0,21
Ne rien faire	<0,000 1	0,27
Fatalisme		
Avis sur l'évitabilité de l'inondation	<0,000 1	0,26
Causes		
Crue du fleuve	<0,000 1	0,3
Changement climatique	<0,000 1	0,2
Connaissance		
Loi	<0,000 1	0,23
Consignes de la protection civile	<0,000 1	0,22
Cause : mauvais aménagement	<0,000 1	0,25
Cause : changement climatique	<0,000 1	0,2

*relation significative si Khi2 inférieur à alpha (0,05)

**Relation forte si Vcramer <0,2

Au-delà du lien entre comportement à la maison en cas d'inondation et niveau économique, les entretiens réalisés auprès des populations ont montré une influence du niveau

économique dans la manière de faire face en général aux inondations. Plus le niveau économique s'améliore et plus les populations bamakoises adoptent des mesures pour réduire leur vulnérabilité face au risque.

À Ouagadougou, les variables significativement et fortement en lien avec le niveau économique étaient moins importantes qu'à Bamako et ne concernaient que les aspects liés à la survenue de dégâts des suites d'une inondation, aux avis sur les responsabilités et à la connaissance du rôle des dépôts sauvages dans la survenue des inondations (Tableau III-6).

Tableau III-6 : Variables fortement liées au bien-être économique à Ouagadougou

Variables		Khi2*	V de Cramers**
Fatalisme	Avis sur la responsabilité divine	<0,000 1	0,23
/Responsabilité	Avis sur la responsabilité de l'État	<0,000 1	0,2
Causes	Dépotoirs	<0,000 1	0,28
Endommagement	Inondation de la parcelle	<0,000 1	0,2
	Dégâts subis	<0,000 1	0,21

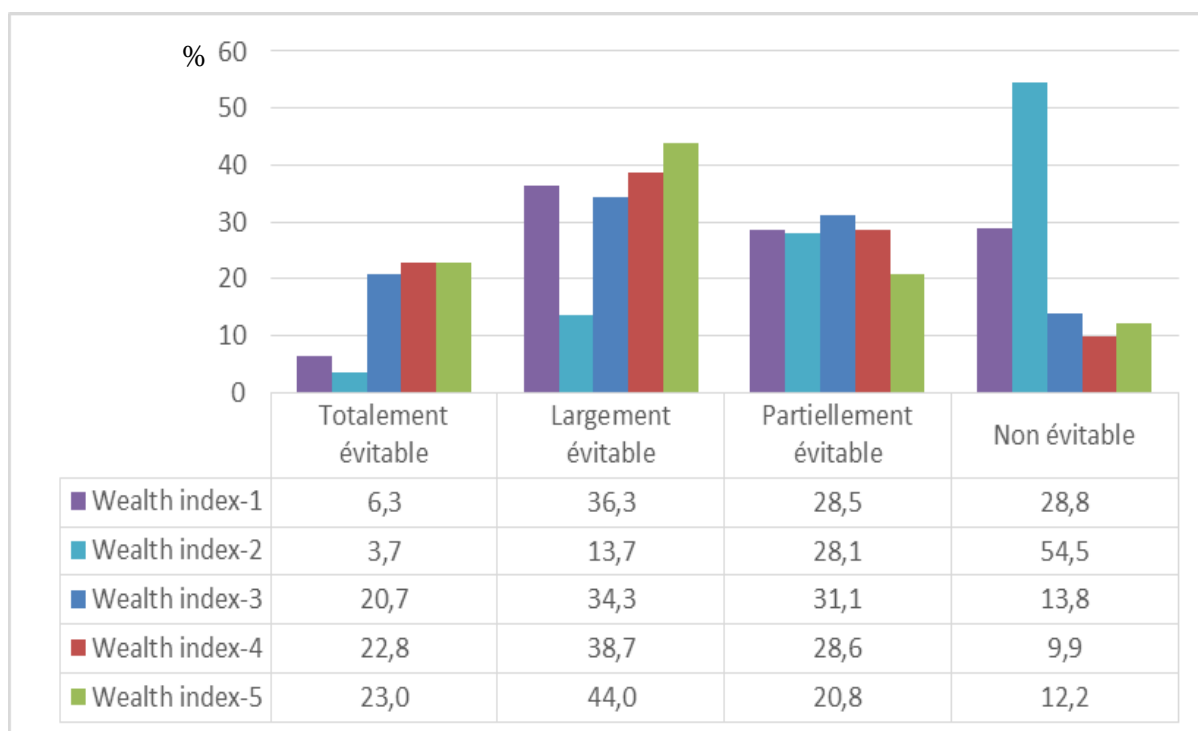
*relation significative si Khi2 inférieur à alpha (0,05)

**Relation forte si Vcramer <0,2

Concernant le fatalisme des populations et l'association des inondations à la responsabilité divine, il ressort de notre analyse (figure III-10-a) que plus le niveau de richesse augmente et moins les inondations sont associées au divin ou perçues comme un événement non évitable. En effet, par exemple à Bamako, plus de 65 % (20,7 % +22,8 % +23 %) de la population riche à moyennement riche (Wealth index de 5, 4 et 3) considèrent une inondation comme totalement évitable contrairement à la population pauvre (wealth index de 1 et 2) qui a une vision plus fataliste des inondations. Aussi, plus de 80 % de cette population pauvre considère les inondations comme non évitables.

Pour la ville de Ouagadougou, l'association des inondations au divin augmente avec la baisse des revenus (Figure III-10-b). Plus de 65 % des personnes moyennement riches (wealth index =3) à riche (wealth index = 4 ou 5) ne considèrent pas le divin comme responsable des inondations. En d'autres termes, plus une population est pauvre et plus elle aura tendance à être fataliste ou à considérer que les inondations ont une origine divine.

A. Bamako : Considération du caractère évitable des inondations



B. Ouagadougou : responsabilité divine dans la survenue d'une inondation

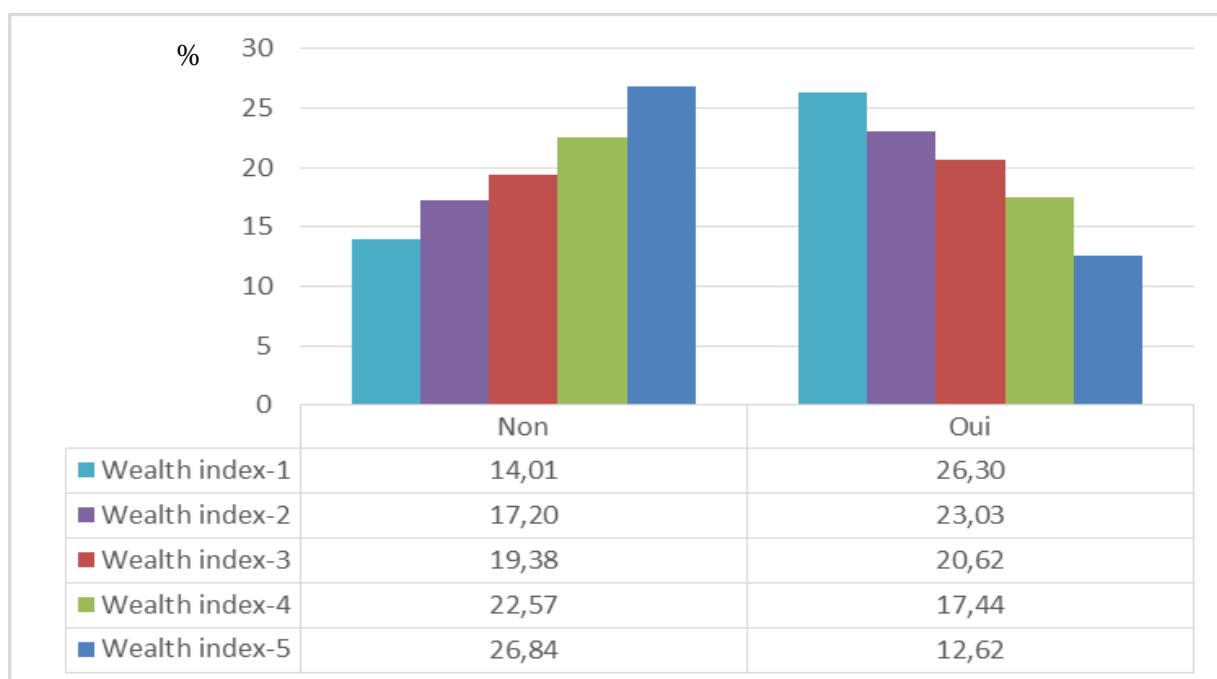


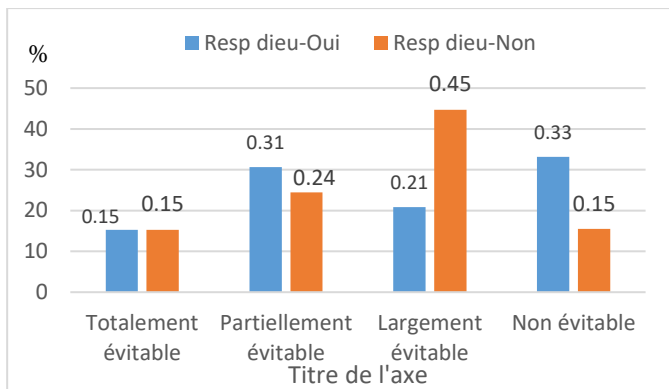
Figure III-10 : Relation entre bien-être économique et vision des inondations à Bamako (A) et Ouagadougou (B) (en %)

L'analyse de la corrélation entre fatalisme et responsabilisation divine a été effectuée dans les deux villes. La littérature mentionne en effet que l'imputation de la responsabilité des catastrophes naturelles à une force divine est un aspect impactant négativement sur la

vulnérabilité, car le fatalisme ne permet pas en général l'adoption de mesures de protection idoines (Picon & Allard, 2006; Soma, Bonnet, & Compaoré, 2014; Nolet, 2018). En effet, lorsque le divin est jugé responsable d'un risque par les populations, celles-ci sont plus portées vers la prière et les sacrifices fait à Dieu, considérant les capacités humaines à faire face vaines.

Il ressort de notre analyse que l'association au divin à Ouagadougou a un lien avec le fatalisme ($\chi^2 < 0,0001$). Cependant, la force de cette relation est faible à modérée. Par contre à Bamako, le fatalisme est fortement en lien avec la responsabilité divine ($\chi^2 < 0,0001$ et V de Cramer = 0,28). L'analyse du tri croisé montre que même si le lien est fort à Bamako, il peut difficilement se dégager une tendance à l'augmentation ou à la diminution du fatalisme en fonction de la croyance (Figure III-11). Pour certaines considérations sur le caractère évitable des inondations, on retrouve d'ailleurs le même pourcentage de populations chez ceux qui accusent le divin que chez ceux qui ne le mentionnent pas. On ne peut ainsi pas conclure que le fatalisme évoque une responsabilité divine dans la ville. D'ailleurs, seuls 23 % de la population de Bamako considère les inondations comme non évitables, beaucoup plus qu'à Ouagadougou où les taux tombent à 6,8 %.

A. Bamako



B. Ouagadougou

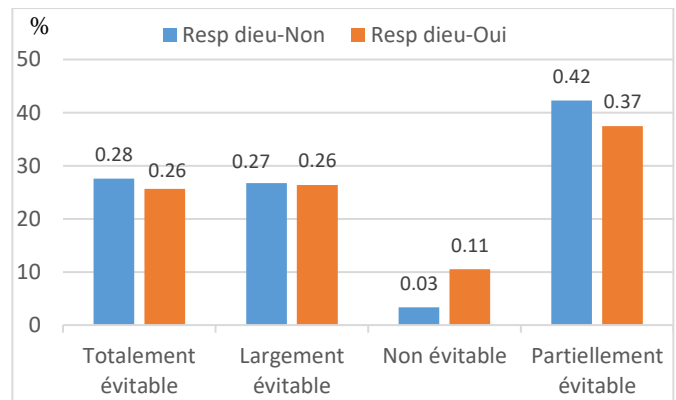


Figure III-11 : Fatalisme et association des inondations au divin à Bamako (A) et Ouagadougou (B) (en %)

Au regard de ces résultats, nous abondons dans le même sens que Picon et al. (2006) pour qui la réponse aux catastrophes naturelles en termes de recherche de responsable est à la fois un concept socioculturel, politique et technique de la gestion des risques. La religion occupe en effet une place de choix au Sahel et dans les villes d'étude en particulier, et entraîne un positionnement du divin au-devant de tout sans que l'on ne bascule forcément dans le fatalisme ou l'absence d'actions (Sadia, 2014).

Pour ce qui est des comportements adoptés à la maison en cas d'inondation, il ressort de notre analyse que l'adoption d'un comportement est fortement dépendante du niveau de richesse à Bamako et statistiquement significative. Ainsi, les populations riches ont moins tendance à réagir que les pauvres en cas de survenue d'une inondation dans leur maison d'habitation (Figure III-12). Cela traduit en effet la non-nécessité pour ces populations de mettre en œuvre des mesures de protection puisqu'en général elles habitent des secteurs viabilisés et moins sensibles aux inondations que les populations les moins bien nanties.

Cette situation a été confirmée par les propos d'une habitante d'un quartier très souvent impacté par les inondations, le quartier Sabalibougou en commune 5.

Dans le quartier, tout le temps, il y a des maisons qui tombent. Si ce n'est pas ces dernières années, tout était en banco. Les gens ont commencé à construire en dur parce que ça tombe. Si dans une famille quelqu'un a les moyens, il commence à construire en dur pour éviter que la maison ne tombe. MT, habitante de Sabalibougou, commune 5

L'amélioration du niveau économique des populations pauvres a tendance donc à induire un comportement de protection face aux inondations à Bamako.

À Ouagadougou, aucune tendance n'est remarquable et le lien, même s'il est significatif entre les comportements et le bien-être économique ($<0,0001$), reste faible.

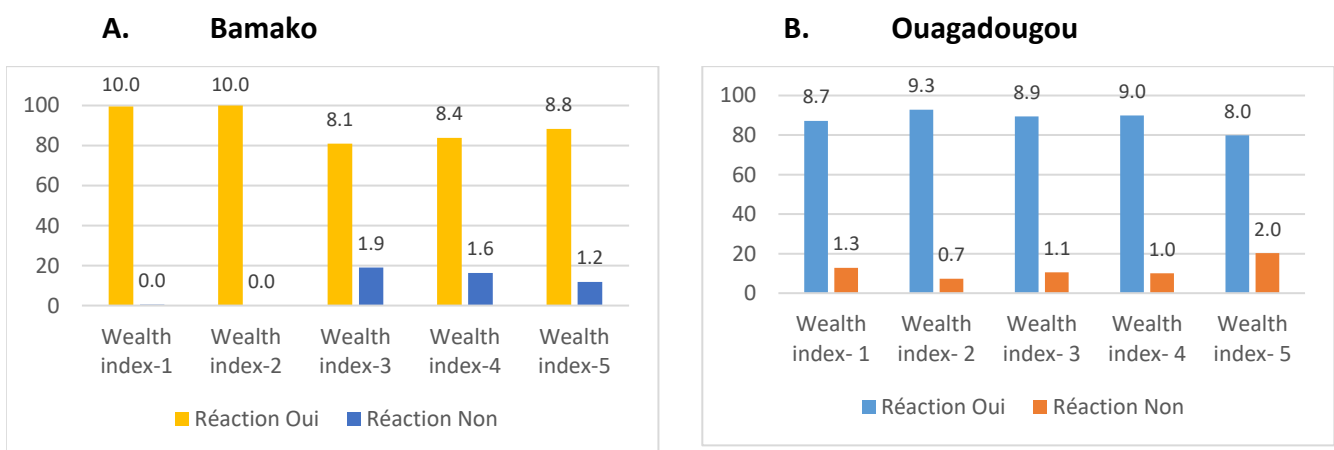


Figure III-12 : Bien-être économique et comportements à domicile en cas d'inondation à Bamako et Ouagadougou

Ces résultats variés selon les villes et l'état économique initial confirment les dires de Becerra (2013) pour qui *la variable économique n'est qu'une dimension parmi d'autres de*

l'agir face aux risques. Elle ne semble pas en effet primordiale dans l'explication de l'adoption d'action pour mitiger l'impact d'une inondation en cours sauf pour les populations déjà pauvres et déjà impactées à plusieurs reprises par les inondations. D'autres processus cognitifs sont à prendre en considération pour comprendre les comportements adoptés face aux risques, notamment une trop grande certitude en la capacité du bâti à protéger les ménages face aux inondations. C'est bien lorsque la certitude d'être protégé dans sa maison disparaît (à cause par exemple d'effondrement répétitif du bâti chez les populations pauvres) que la volonté d'agir dès l'amélioration des conditions économiques prend de l'ampleur. Ainsi, le fatalisme ou croyance en son impuissance face aux risques ne semble pas occuper dans les deux villes une place de choix. Cependant, nous n'avons pas trouvé de lien significativement fort entre le niveau économique des chefs de ménages et leur capacité à mettre en œuvre des mesures de reconstruction à la suite d'une inondation, que l'on soit à Ouagadougou ou à Bamako.

Par ailleurs, les comportements à la maison en cas de survenue d'une inondation diffèrent en fonction des villes. À Ouagadougou, ils concernent majoritairement le fait d'élever les biens pour éviter qu'ils ne soient détruits par les eaux et le fait de creuser des rigoles pour permettre l'évacuation de l'eau tandis qu'à Bamako les fréquences de toutes les actions ont quasiment le même ordre de grandeur (Tableau III-7).

Tableau III-7 : Fréquence des réponses en fonction des actions posées en cas d'inondation

Actions à la maison	Fréquence (%)	
	Bamako	Ouagadougou
Creuser	33,7	24,7
Boucher les ouvertures	15,6	22,4
Nettoyer les caniveaux	8,8	27,2
Surélever les biens	34,8	22,5
Ne rien faire	7	3,2

7.1.3. Niveau de connaissance des inondations, perceptions et comportements à risque

L'information sur les causes et les manifestations d'un risque naturel peut jouer un rôle protecteur puisqu'elle offre aux populations l'opportunité d'adopter des comportements en toute conscience des risques encourus. Dans cette section, nous avons abordé les notions de représentation du risque, de connaissance des consignes, de la réglementation et du risque et

plus généralement les notions de culture du risque que nous avons mis en relation avec les comportements des populations. Il s'agit de voir si une meilleure connaissance des inondations dans les deux villes d'étude est une condition suffisante pour la réduction de l'impact des catastrophes.

Il ressort de notre analyse que globalement, les populations des deux villes ont une connaissance relativement bonne des inondations du fait de leur expérience du phénomène quasiment à chaque hivernage. À Ouagadougou, 95,22 % de la population a déjà connu une inondation dans la ville contre 80,79 % des populations de Bamako. Aussi, jusqu'à 36,27 % et 39,68 % des populations de Bamako et de Ouagadougou respectivement ont déjà personnellement fait l'expérience d'une inondation dans leur parcelle d'habitation. Par ailleurs, les causes des inondations sont également bien appréhendées par les populations des deux villes. Ainsi, l'absence de caniveaux, la mauvaise gestion des déchets et l'urbanisation ressortent comme les causes principales des inondations pour les populations (Figure III-13).

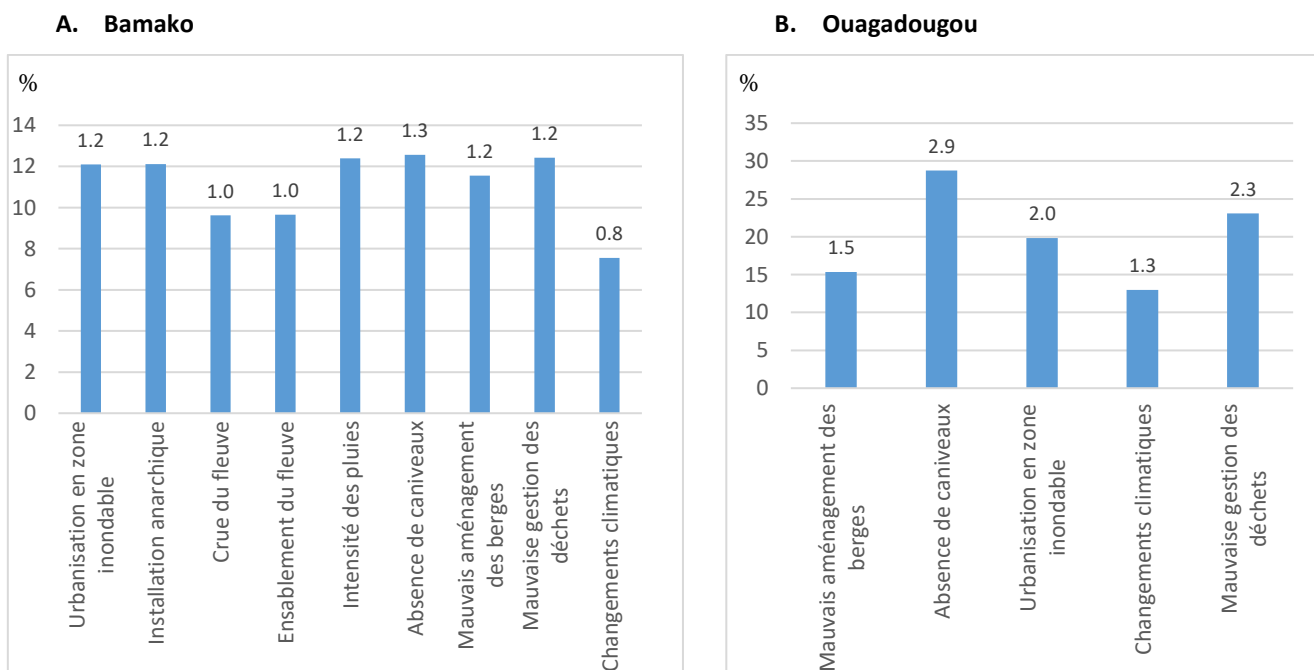


Figure III-13 : Causes des inondations d'après les populations de Bamako (A) et de Ouagadougou (B)

Concernant la connaissance des consignes de la protection civile en cas d'inondation et la connaissance de la loi, il ressort qu'il y a des différences notables entre les deux villes. Ainsi, jusqu'à 64,76 % de la population de Ouagadougou ne connaît pas les consignes de la protection civile avec près de 20,3 % de personnes qui ne savent même pas de quoi il s'agit. À Bamako pourtant, 55,62 % de la population affirme connaître ces consignes, mais près de 12,46 % ne

savent pas de quoi il s'agit. Concernant la connaissance de la loi, seulement la moitié de la population bamakoise assure la connaître. Ce chiffre tombe à 21,57 % à Ouagadougou.

Cette méconnaissance de la réglementation et des consignes est susceptible de réduire les avantages d'une connaissance globale des inondations. On note en effet que malgré la bonne connaissance des inondations et de ces causes, des paradoxes subsistent au niveau des deux villes en termes de comportements et d'installation. Cela est confirmé par Fortin et al. (2020) pour qui la bonne connaissance des inondations et une perception réaliste du risque ne se traduit pas nécessairement par l'adoption de mesures de préparation adéquate face aux risques. Ainsi, jusqu'à 68,28 % des populations interrogées à Ouagadougou admettent vouloir rentrer chez elles si une inondation les surprend à l'extérieur de leur domicile. À Bamako, ces chiffres tombent à 38,32 % et confortent l'hypothèse qu'une bonne connaissance des consignes permet l'adoption de comportements adéquats. Aussi, plus de 44 % de la population de Bamako considèrent habiter dans une zone inondable ou interdite à la construction selon la réglementation. Il y a ainsi une prise de conscience de l'existence du risque selon la réglementation sans que cela remette en cause l'installation de ses populations dans ces localités. Ainsi, 43,46 % des populations qui se disent habiter une zone interdite à la construction d'après la réglementation pensent être en réalité très faiblement exposés. Près de la moitié des personnes (48,76 %) estimant être dans une zone reconnue inondable d'après la réglementation, pense être faiblement exposée. Le même constat est fait à Bamako où près du tiers des populations qui considèrent leur zone interdite (32,07 %) ou inondable d'après la réglementation (33,62 %) pense être faiblement exposé. Le lien entre les variables exposition et perception de la zone est statistiquement significatif (pvalue $\chi^2 < 0,05$) à Bamako comme à Ouagadougou. Sur ces aspects, Weiss et al., (2011) ont mentionné l'existence d'un décalage entre connaissance du risque et analyse par les populations de sa probabilité d'occurrence. Il existe une sorte de surestimation de la confiance des populations en leur capacité à faire face aux risques et à pouvoir contrôler la situation, qui aboutit à la croyance en leur invulnérabilité.

7.2. Des facteurs sociaux porteurs de dommages structurels aux ménages

7.2.1. Variables sociales prédictives de l'endommagement structurel

La construction de l'indice de connaissance a permis de déterminer le niveau de connaissance des causes des inondations dans chaque ville (Figure III-14). On note une assez

bonne connaissance des causes des inondations par les populations de Bamako (65,44 %) et de Ouagadougou (53,16 %).

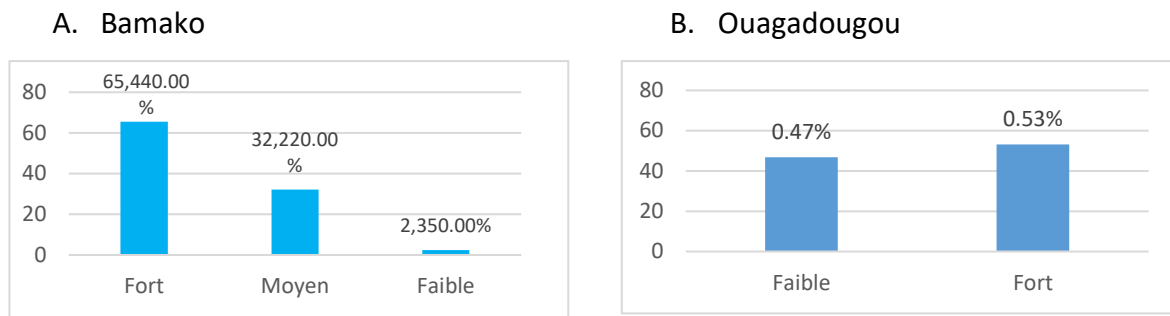


Figure III-14 : Niveau de connaissance des inondations

Il ressort cependant de l'analyse par régression logistique que cette connaissance n'intervient pas dans la prédiction de l'endommagement structurel. En d'autres termes, le fait qu'un individu connaisse les causes des inondations n'agit pas sur sa probabilité à subir des dommages structurels lors d'une inondation.

7.2.2. Rôle des caractéristiques sociales dans la survenue de l'endommagement structurel

7.2.2.1. Présentation des résultats

L'analyse des données d'enquête a montré que 18,35 % des répondants ont été victimes de dommages au niveau de la structure de leur maison d'habitation (murs, toitures...) au cours des 30 dernières années à Bamako contre 39,67 % à Ouagadougou.

En rappel, pour déterminer le lien entre les facteurs sociaux et l'endommagement structurel, une modélisation par régression logistique a été réalisée (cf. section 6.2.3). La qualité du modèle d'apprentissage estimé par régression logistique a été jugée satisfaisante à Bamako et non concluante à Ouagadougou au regard des différents tests réalisés notamment au travers du calcul des pseudos- R^2 sur R.

Ainsi, pour la ville de Bamako, le R^2 de McFadden montre que 72,69 % de la variance de l'endommagement des structures (murs, toitures...) est expliquée par les variables retenues. De son côté, le R^2 de Cox & Snell indique que 44,64 % de la variance est expliquée par le modèle, tandis que le R^2 de Nagelkerke a donné un pourcentage de 88,87 %. Il semble donc que notre modèle pour la ville de Bamako se démarque du modèle trivial. À Ouagadougou, les pseudo- R^2 obtenus (R^2 de McFadden, de Cox & Snell et de Nagelkerke) se rapprochent de la valeur nulle (<25 %) ce qui indique une faible capacité des variables du modèle à prédire

l'endommagement structurel. Par conséquent, nous pouvons conclure qu'il n'est pas possible de prédire la survenue d'un dégât structurel à Ouagadougou sur la base de facteurs sociaux identifiés dans notre étude. Le pourcentage d'erreur de classement s'est d'ailleurs révélé grand avec une valeur de 27,15 %. Le reste des interprétations a donc été effectué uniquement pour la ville de Bamako.

Une confrontation entre valeurs prédites et valeurs vraies dans la phase de test montre que le modèle permet de prédire correctement 88,87 % des cas de dégâts structurels au niveau de la maison d'habitation à Bamako. Ainsi, le taux d'erreur ou de mauvaise classification était autour de 11 %. L'analyse de la sensibilité du modèle à travers la construction des courbes ROC (receiver operating characteristic) montre que la prédiction faite par le modèle est bonne et se rapproche du modèle idéal avec des taux proches de 90 % (Figure III-15).

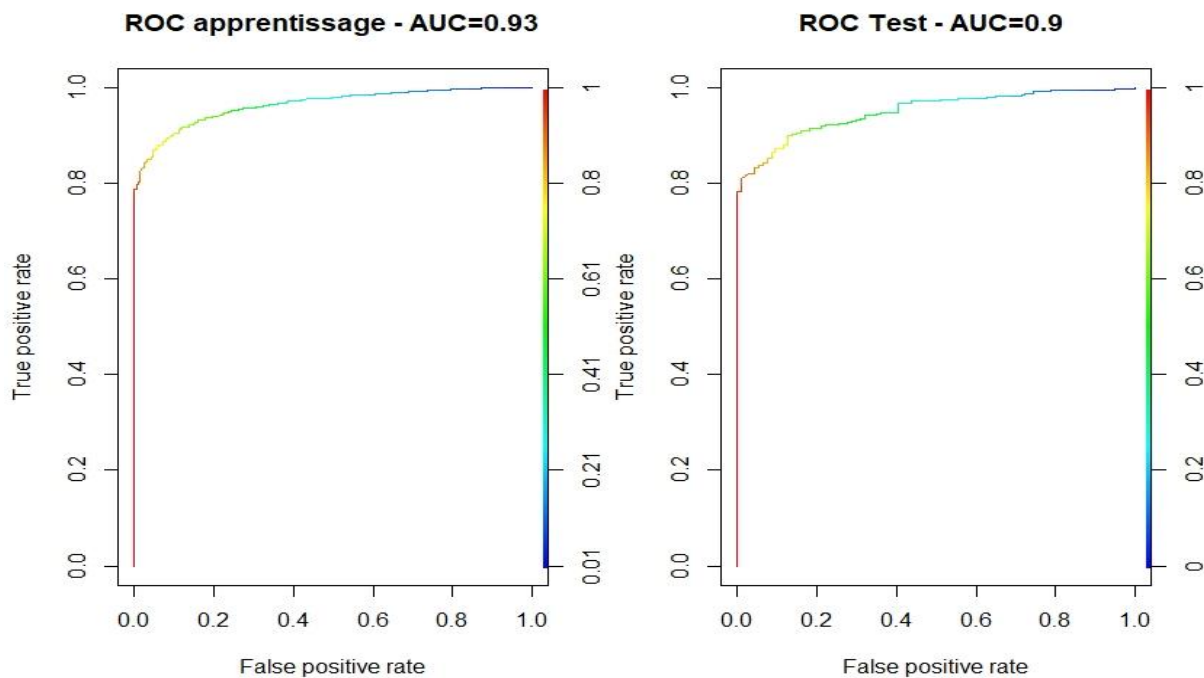


Figure III-15 : Mesure de la sensibilité de la modélisation par régression logistique binaire (Source de données : Bamako Enquête Raincell, 2018)

Le critère d'information de l'AIC a permis d'améliorer le modèle à Bamako en retenant 12 variables dans la modélisation au niveau des ménages. Il s'agit des variables liées au bien-être économique, à l'âge du chef de ménage, à l'ancienneté du ménage dans la maison d'habitation, à la perception des inondations et de leur inéluctabilité par le chef de ménages, au comportement en cas d'inondation et au niveau d'eau dans la cour lors de la survenue de l'inondation. Ces variables à Bamako ne sont pas seulement liées à l'intensité de l'inondation, mais aussi à certaines caractéristiques sociales et économiques du ménage. Les résultats établis

à partir de l'analyse statistique à Bamako permettent ainsi de dégager le rôle des caractéristiques personnelles des chefs de ménage et du contexte organisationnel dans la survenue de dégâts structurels du fait des inondations (Tableau III-8).

Tableau III-8 : Odd-ratios et significativité des variables explicatives à Bamako

Variables	Modalités	OR	2,5 %	97,5 %	p	Significativité ²
Wealth_index	1	-	-	-	-	-
<i>(indicateur de bien-être économique)</i>	2	1,40	0,75	2,62	0,293	ns ³
	3	0,28	0,14	0,54	0,000	***
	4	0,32	0,17	0,62	0,001	***
	5	0,15	0,08	0,31	0,000	***
Âge	[18,25)	-	-	-	-	-
	[25,60)	0,49	0,27	0,87	0,017	**
	[60,99]	0,22	0,10	0,49	0,000	***
Duree_vie <i>(nombre d'années passées par le chef de ménage dans la cour)</i>	Ancien	-	-	-	-	-
	Récent	0,54	0,37	0,78	0,001	***
Inond <i>(expérience des inondations à Bamako)</i>	Non	-	-	-	-	-
	Oui	0,64	0,33	1,26	0,198	ns
Normal_in <i>(qualification des inondations)</i>	Anormal	-	-	-	-	-
	Normal	2,15	1,43	3,24	0,000	***
Catast <i>(qualification de l'inexorabilité de la catastrophe)</i>	Non_évitable	-	-	-	-	-
	Large_évité	0,19	0,10	0,33	0,000	***
	Partie_évité	0,19	0,11	0,34	0,000	***
	Total_évité	0,21	0,12	0,39	0,000	***
Resp_dieu <i>(responsabilité divine dans la survenue des inondations)</i>	Non	-	-	-	-	-
	Oui	0,32	0,22	0,47	0,000	***
cpt_ext <i>(comportements à l'extérieur en cas d'inondation)</i>	Rentrer	-	-	-	-	-
	Rester	1,32	0,88	1,98	0,178	ns
	se_déplacer	0,42	0,23	0,74	0,003	*
percep_zone <i>(perception de la zone)</i>	Inondable/interdite	-	-	-	-	-
	NSP	1,30	0,76	2,24	0,344	ns
	Rien	0,40	0,25	0,61	0,000	***

c_canivo_rue	Non	-	-	-	-	-
(présence de caniveaux devant la cour)	Oui	0,78	0,52	1,18	0,239	ns
cpt_home_creuse	Non	-	-	-	-	-
(creuser pour laisser évacuer l'eau)	Oui	0,32	0,20	0,50	0,000	***
Haut_eau_cour	>cheville	-	-	-	-	-
(hauteur d'eau dans la cour à la suite de la dernière inondation)	cheville	0,53	0,34	0,81	0,004	**
	non_inondé	2,38	2,83	2,73	0,961	ns
		E+09	E+132	E+132		

¹OR = Odds Ratio

² Codes significativité : « *** » 0,001 ; « ** » 0,01 ; « * » 0,05

³ ns= non significatif

Source de données : Bamako Enquête Raincell, 2018

L'interprétation des odd-ratios montre que les personnes moyennement riches à riches (bien-être économique de 3, 4 ou 5) ont moins de chance de voir la structure de leur maison impactée par les inondations par rapport aux personnes pauvres. Un âge élevé du répondant du ménage et une présence récente du ménage dans la maison d'habitation ont également un effet protecteur par rapport à la survenue de dégâts structurels. En s'attardant sur les perceptions sur les inondations, il s'avère qu'il y a un effet significatif des dimensions liées à la perception de l'inexorabilité et de la normalité de la survenue de l'évènement. Ainsi, un chef de ménage considérant les inondations comme une catastrophe évitable partiellement, largement ou totalement a moins de chance de voir la structure de sa maison dégradée par les inondations qu'un répondant qui considère les inondations comme une fatalité non évitable. Une part non négligeable de la population de Bamako considère les inondations comme non évitables (23,85 %) avec plus de la moitié de la population qui est convaincue que les inondations sont un phénomène normal (Figure III-16).

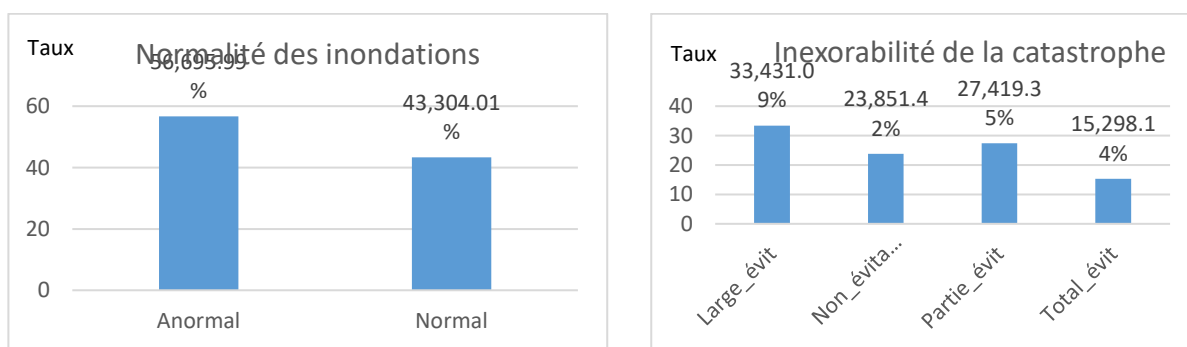


Figure III-16 : Perception de la population de Bamako vis-à-vis des inondations (Source de données : Bamako Enquête Raincell, 2018)

La perception de la zone d'habitation comme étant inondable ou interdite à la construction, a également un impact sur l'endommagement. Les ménages considérant qu'ils ne sont pas dans une zone inondable ou interdite ont moins de chance d'être endommagés que les autres. En revanche, le fait d'avoir déjà fait l'expérience d'inondation de manière générale à Bamako ou d'avoir un caniveau en face de sa maison d'habitation ne contribue pas de manière significative à la survenue de dégâts structurels. Par ailleurs, une part non négligeable de Bamakois (47,31 %) croit en la responsabilité divine dans la survenue d'une inondation. Mais cette croyance a paradoxalement un effet protecteur vis-à-vis de l'apparition de dégât structurel.

7.2.2.2. Discussion des résultats

Les inondations à Bamako et à Ouagadougou ont une origine pluviométrique ou liée à la perturbation des régimes hydrologiques. Ses impacts sont exacerbés par l'occupation des zones inondables, les activités anthropiques, mais également par les représentations aussi bien individuelles que collectives du risque (Laganier, 2006).

Les pratiques des populations à Bamako lors de la survenue d'inondations reflètent les problèmes vécus lors des inondations. Ainsi, pour faire face aux dégâts liés aux inondations, les populations ont mis en place un certain nombre de mesures qui ne se révèlent pas toujours appropriées pour se prémunir de manière générale du risque, mais qui peuvent avoir un intérêt ponctuel. Par exemple, le fait de creuser des rigoles pour laisser passer l'eau en cas d'inondation (modalité `cpt_home_creuse`) est une stratégie qui s'est révélée positive d'après nos résultats (Tableau III-8) pour la protection contre les dégâts structurels. Cependant, cette stratégie bien que pouvant présenter un intérêt sur le court terme peut ne pas être viable dans le temps, car si le niveau atteint par les eaux dépasse un certain seuil, la réalisation de rigoles de fortune sera quasiment sans effet. Cette situation est d'autant plus vraie que les caniveaux déjà existants et dimensionnés pour l'évacuation des eaux pluviales sont considérés comme étant en nombre insuffisant pour canaliser la quantité d'eaux de pluie qui se déversent dans la ville pendant l'hivernage. Aussi, ceux-ci sont très souvent utilisés par la population comme dépotoirs sauvages. Il y a alors un paradoxe au niveau des populations qui se plaignent du manque d'infrastructures d'assainissement, mais qui n'hésitent pas à bafouer celles déjà existantes alors qu'elles sont elles-mêmes prêtes à réaliser ce même type d'infrastructures à l'échelle de la parcelle pour se protéger.

Aussi, nous notons un autre paradoxe dans les résultats obtenus relatifs aux comportements du chef de ménage s'il est à l'extérieur de la maison d'habitation lors de la survenue de l'inondation (modalité `cpt_ext`). Les résultats de la régression logistique indiquent

que le fait de se déplacer est un facteur protecteur vis-à-vis de la survenue de dégâts structurels contrairement au fait de rester statique en attendant la fin de l'inondation. Cela pourrait s'expliquer par l'objectif du déplacement qui peut être en lien avec la curiosité ou la volonté de se mettre à l'abri ou de mettre les siens en sécurité. Le déplacement, bien que non recommandé pour la protection individuelle, peut dans certains cas permettre de sauver des biens et même de mettre en œuvre des mesures pour éviter le pire au niveau du ménage. Les différentes expériences de sauvetage déjà vécues par les populations pourraient expliquer cette prise de risque parfois au détriment de tout bon sens.

En outre, le niveau de richesse élevé s'est révélé être un facteur de protection vis-à-vis de l'endommagement structurel tout comme la maturité du chef de ménage en termes d'âge et la jeunesse de l'installation du ménage dans la parcelle d'habitation. Cela pourrait s'expliquer par le fait que les populations les plus riches ont moins tendance à s'installer dans des maisons en matériaux précaires. De même, plus le chef de ménage est avancé en âge, plus il aura à cœur de vouloir mettre sa famille dans les conditions requises et il évitera plus les maisons précaires par rapport à un jeune chef de famille qui n'a peut-être pas encore suffisamment les moyens ou qui est la seule personne de son ménage.

Par ailleurs, la modélisation logistique n'a pas donné de résultats satisfaisants pour la ville de Ouagadougou. Ainsi, il est serait hasardeux de vouloir prédire la survenue d'un dégât au niveau structurel sur la base des caractéristiques sociales détenues par les chefs de ménage. Par ailleurs, le tri croisé des données de Ouagadougou a montré une forte relation entre le niveau d'eau dans la cour et l'endommagement ($Khi^2 < 0,05$ et $V_{cramer} = 1$). Par conséquent, à Ouagadougou, l'endommagement est plus en lien avec l'intensité de l'aléa physique alors qu'à Bamako, en plus de cette intensité d'autres facteurs sociaux interviennent tels que le niveau économique et certains aspects cognitifs (perception du caractère évitable de la catastrophe) et comportementaux (creuser pour laisser écouler les eaux).

L'étude a aussi révélé que la présence de caniveaux devant la maison d'habitation n'est pas un paramètre significatif dans l'explication de l'endommagement structurel en un point donné. Cependant, la présence et l'état du réseau de drainage influent de manière certaine sur l'occurrence des inondations à l'échelle de la ville et ainsi sur l'endommagement. Ainsi, pour certains acteurs du territoire, le réseau de drainage joue un rôle prépondérant dans l'occurrence des inondations et est intrinsèquement lié au mode de gestion des déchets à l'échelle de la ville :

Les inondations sont dues d'abord au fait que les ouvrages qui doivent drainer les eaux pluviales sont bouchés par endroit par des déchets entre autres. Les

collecteurs sont faits pour drainer les eaux pluviales à travers la ville. Tous les caniveaux débouchent aux collecteurs qui drainent toutes les eaux pluviales de la ville vers l'exutoire qui est le fleuve. Donc s'il y a des anomalies au niveau des collecteurs qui sont remplis et qu'on n'arrive pas à curer, cela va provoquer des inondations.

Elu, commune 3, Bamako

7.3. Des classes de vulnérabilité sociale mises en lumière par la statistique

7.3.1. Typologie des ménages en fonction de l'ACM

La phase de l'étude des corrélations à travers le Khi2 et le V de cramer a permis de réduire les variables à prendre en compte dans l'ACM à une vingtaine par ville (Tableau III-9 et III-10).

Tableau III-9 : Liste des variables retenues pour la conduite de l'ACM à Ouagadougou

Variables	Description
Wealth_index	Indice de bien-être économique
Niv_etud	Niveau d'instruction
Duree_in	Durée pendant laquelle l'eau reste au minimum pour parler d'inondation
Normal_in	Qualificatif d'une inondation : normale ? Pas normale ?
Resp_etat	Responsabilité de l'État
c_urba_inon	Urbanisation en zone inondable cause des inondations
percep_zone	Perception de la zone
precau	Connaissance des précautions à prendre en cas d'inondation
consign_pc	Connaissance des consignes de la protection civile
cpt_home_creuse	Creuse pour laisser passer l'eau
cpt_home_nettoie	Nettoie les caniveaux pour laisser passer l'eau
ext_cpt_reste	Reste à l'extérieur si une inondation le surprend hors du domicile
ext_cpt_voir	Va voir l'inondation

Tableau III-10 : Liste des variables retenues pour la conduite de l'ACM à Bamako

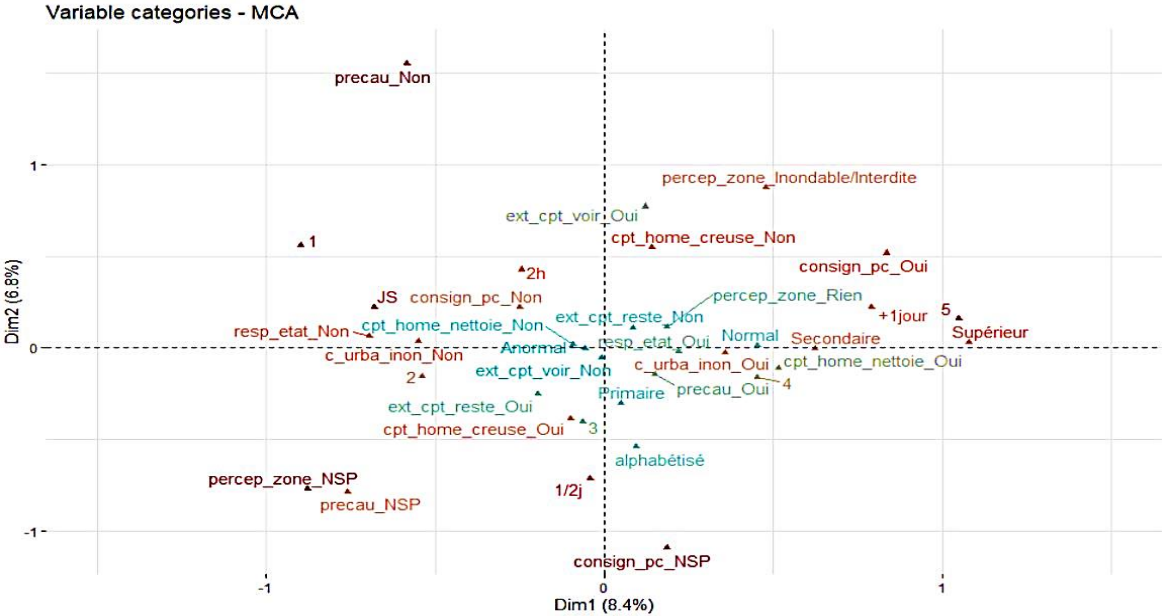
Variables	Description
Wealth_index	Indice de bien-être économique
niv_etud	Niveau d'instruction
gest_dechet	Mode de gestion des déchets par le ménage
cpt_ext	Comportement si l'inondation surprend à l'extérieur
Percep_zone	Perception de la zone d'habitation par le répondant
Resp_com	Responsabilité de la commune face à la survenue des inondations
Consign_pc	Connaissance des consignes de la protection civile
Cpt_home_creuse	creuser pour laisser passer l'eau
Catast	Vision sur évitabilité des inondations
Normal_in	Vision sur la normalité des inondations
C_urba_inon	L'urbanisation en zone inondable cause les inondations
C_insta_anarch	L'installation anarchique cause les inondations
C_crue_fleuve	La crue du fleuve cause les inondations
Alert	Volonté d'être alerté en cas d'inondation imminente

Ces variables sont pertinentes pour la classification de la vulnérabilité des ménages dans chacune des villes. Elles reflètent en effet la possibilité que des individus subissent les effets d'une inondation du fait de certaines de leurs caractéristiques sociales : leur niveau économique à travers le *wealth_index*, leur connaissance des consignes en cas d'inondation et de la réglementation, leur degré de fatalisme vis-à-vis des inondations, leur comportement à l'extérieur et à l'intérieur de leur habitation en cas de survenue d'inondations, certaines de leurs caractéristiques démographiques comme le niveau scolaire, la situation matrimoniale et l'ancienneté dans le ménage, leur gestion des déchets et leur connaissance sur les inondations.

Les variables dont l'impact sur la vulnérabilité n'était pas clairement appréhendé ont été utilisées comme variables supplémentaires dans l'ACM. Il s'agit entre autres des variables *duree_vie*, *matrimo*, *c_canivo_rue* et *expo*. La variable *expo* est considérée en variables supplémentaires, car l'avis des personnes sur leur exposition peut être avéré ou pas. Elle renvoie, tout comme la présence de caniveaux devant la maison d'habitation, à une vulnérabilité beaucoup plus physique que sociale. De plus, les variables binaires ayant les effectifs d'une modalité faible ont été utilisées comme variables illustratives dans l'ACM puisque celle-ci est très sensible aux faibles effectifs et qu'aucun regroupement naturel n'était envisageable.

Au total, 13 variables actives ont été retenues à Ouagadougou pour réaliser l'ACM contre 14 variables actives à Bamako. L'inertie totale expliquée était de 1,76 pour la ville de Ouagadougou et de 2,09 pour la ville de Bamako, avec les deux premiers axes expliquant respectivement 15,18 % et 19,97 % de la variance. La figure III-17 permet de représenter de façon globale les modalités actives, avec les contributions les plus importantes pour chacun des quadrants.

A. Ouagadougou



B. Bamako

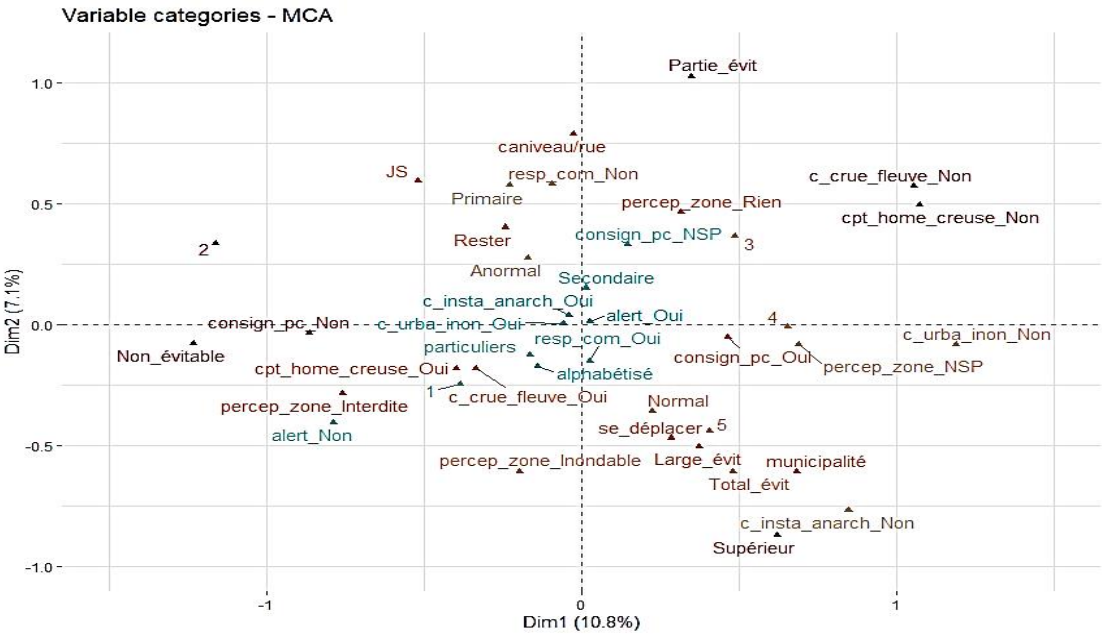


Figure III-17 : Représentation graphique des modalités actives sur le plan factoriel [1,2]

Cette figure III-17 permet de discriminer les modalités qui contribuent le plus à la définition des axes factoriels et permet ainsi de regrouper les individus en fonction des modalités de réponses. Les modalités contribuant le plus aux différents axes factoriels sont représentées en rouge.

Pour la ville de Ouagadougou, le premier axe dégagé par l'analyse structure la population en reliant entre autres le bien-être économique et le niveau d'étude. Il permet de distinguer ainsi :

-à gauche les individus pauvres ($wealth_index = 1$), qui n'ont jamais été scolarisés (JS=Jamais scolarisé), qui par ailleurs ne savent pas s'ils habitent une zone inondable et qui ne pensent pas que l'État ait une part de responsabilité dans les inondations. Ces individus ne connaissent pas les causes des inondations et cela se traduit par le fait qu'ils pensent que l'urbanisation en zone inondable n'en est pas une cause.

-des individus riches ($wealth_index = 5$), qui ont un niveau scolaire élevé (supérieur). L'urbanisation en zone inondable pour ces individus est une cause des inondations. Les modalités présentées par ces individus se situent à droite du graphique. L'axe 1 peut ainsi être considéré comme l'axe du niveau social et des perceptions.

Le deuxième axe va permettre d'interpréter chaque quadrant en identifiant les groupes de modalités qui se sont formés sur le plan factoriel. Il peut ainsi être considéré comme l'axe des comportements et des connaissances.

Pour la ville de Bamako, le premier axe permet de discriminer :

-à droite les variables sur la pauvreté et l'absence de connaissances des consignes de la protection civile ainsi que l'adoption de certain comportement en cas d'inondation (creuser pour laisser l'eau s'écouler). Des considérations fatalistes des inondations (phénomènes non évitables) et une perception négative de la zone d'habitation (interdite à l'occupation du fait des inondations) caractérisent également cet axe.

-et à gauche les variables sur la richesse, la non-adoption de certains comportements en cas d'inondation (ne pas creuser) et la connaissance des consignes de la protection civile et de certaines causes des inondations (crue du fleuve) caractérisent les valeurs négatives de l'axe.

On peut retenir que le premier axe est un axe sur la connaissance et le niveau économique.

Le deuxième axe tout comme à Bamako va permettre l'interprétation des différents quadrants. Il discrimine des modalités en lien avec le rejet de déchet dans la rue ou les caniveaux, la perception que la zone n'est pas inondable ni interdite, le fait de rester sur place en cas d'inondation et de ne pas considérer les inondations comme partiellement évitables ni la

crue du fleuve comme cause des inondations de leurs modalités contraires. Celles-ci sont en lien avec la gestion des déchets par les services de la municipalité, la perception de la zone d'habitation comme interdite ou inondable, le fait de se déplacer en cas d'inondation et de considérer les inondations comme totalement ou largement évitables et la crue du fleuve comme une cause des inondations.

Pour Ouagadougou, le cadran nord-est est caractérisé par des conditions sociales, des niveaux de connaissances et des comportements positifs vis-à-vis des inondations. Les individus situés dans ce cadran possèdent un niveau scolaire élevé et sont pour la plupart aisés. Ils sont moins à même de creuser des rigoles pour évacuer l'eau en cas d'inondation et perçoivent leur zone d'habitation comme inondable ou interdite à la construction d'après la réglementation sur les inondations. Le cadran nord-ouest permet de distinguer les individus aux conditions sociales et niveaux de connaissance sur les inondations négatives. Les individus de ce cadran sont pour la plupart pauvres avec un faible niveau scolaire et une mauvaise connaissance des consignes de la protection civile, des précautions à prendre et des causes des inondations. Pour eux, l'urbanisation en zone inondable n'est pas une cause des inondations. Le cadran sud-ouest est caractérisé par des modalités en lien avec l'indécision vis-à-vis de certaines perceptions. Ainsi, les individus de ce cadran ne savent pas s'ils connaissent ou non les précautions à prendre en cas d'inondation ni si leur zone est située ou non dans une localité inondable ou interdite. Ils peuvent adopter certains comportements à risque comme aller voir l'inondation ou être plus raisonnable et rester là où ils sont. Ils sont plus à même de creuser des rigoles pour laisser l'eau s'évacuer en cas d'inondation. Le cadran sud-est discrimine les variables en lien avec l'indécision vis-à-vis de la connaissance des consignes de la protection civile. Les individus de ce cadran considèrent l'urbanisation en zone inondable comme une cause des inondations.

Pour la ville de Bamako, le cadran nord-ouest est caractérisé par des conditions sociales et des niveaux de connaissance négatifs vis-à-vis des inondations. Ils adoptent dans un degré moindre des comportements opportuns en cas d'inondation à l'extérieur (rester là où on est en cas d'inondation). Le cadran nord-est est caractérisé par des contraintes de connaissance vis-à-vis des inondations (la crue du fleuve n'est pas perçue comme une cause des inondations). Les individus de ce cadran pensent de plus que les inondations sont partiellement évitables et que leur zone n'est ni inondable ni interdite. Le cadran sud-est est caractérisé par des variables plutôt positives sur la connaissance des consignes. De plus, un niveau scolaire élevé et une richesse des individus caractérisent ce côté. Cependant, les individus peuvent adopter des

comportements à risque comme se déplacer pendant l'inondation pour changer de quartiers ou aller voir l'inondation. Le niveau scolaire élevé explique le faible niveau de fatalisme des individus de cette catégorie qui peut expliquer une bonne gestion des déchets par le canal de la municipalité. Cependant ce faible niveau de fatalisme peut accroître le sentiment de sécurité et expliquer les déplacements en cas de survenue d'inondation. Le cadran sud-ouest est caractérisé par des modalités en lien avec une bonne connaissance des causes des inondations. La perception que la zone d'habitation est interdite à la construction est la cause de l'adoption par les sujets de mesure de protection vis-à-vis des inondations.

Les résultats de l'ACM ont été utilisés pour la conduite et l'interprétation de la classification ascendante hiérarchique. Les différentes classes de vulnérabilité individualisées grâce à cette démarche sont présentées dans la section suivante.

7.3.2. Clusters spécifiques de vulnérabilité à Ouagadougou et Bamako

7.3.2.1. Typologie des ménages en fonction de la CAH

L'allure de l'arbre hiérarchique, de même que le diagramme des inerties associées aux nœuds, montre un optimum de segmentation pour cinq classes à Bamako et huit classes à Ouagadougou réparties selon les quatre quadrants du plan factoriel (1,2) (cf. Annexe 15). Chaque classe décrit un modèle d'individus types désigné d'après les caractéristiques saillantes de la classe. Ces caractéristiques sont mises en relation avec un niveau de vulnérabilité selon que chaque caractéristique identifiée ait tendance à augmenter ou à réduire la vulnérabilité face aux inondations. La proportion d'individus concernés au sein de nos différents échantillons permet d'établir un pourcentage associé à chacune des classes. Ainsi chaque classe est décrite par les modalités dans l'ordre décroissant de leur contribution à la classe. Nous identifions ainsi plusieurs profils de vulnérabilité, chacun correspondant à un groupe déterminé dans la classification.

En résumé, la vulnérabilité a été classée en huit classes pour la ville de Ouagadougou et en cinq classes pour la ville de Bamako conformément à l'analyse des différents arbres hiérarchiques. Les tableaux en annexe 16 résument les résultats mentionnés ci-dessus. En rappel, le critère du coude a été utilisé pour l'interprétation de ces arbres hiérarchiques.

❖ Les classes de vulnérabilité des ménages à Ouagadougou

Le premier groupe avec le niveau de vulnérabilité le plus bas (classe 1) concerne des ménages riches, avec des représentants ménages qui connaissent les précautions et ne pensent pas que leur zone habitée soit inondable ni interdite à la construction. En cas d'inondation, ils ne pensent pas qu'ils creuseront des digues pour laisser l'eau s'écouler. Ce groupe regroupe les individus les moins vulnérables selon les caractéristiques.

Le deuxième groupe avec un niveau de vulnérabilité 2 concerne en majorité des ménages de classe moyenne. Leurs représentants ménages connaissent les précautions à prendre, n'ont pas de comportement à risque, mais ne connaissent pas les causes des inondations.

Le troisième groupe concerne les ménages avec des représentants qui pensent qu'ils habitent dans une zone inondable ou interdite, qui connaissent les consignes de protection civile³⁸ et les précautions à prendre³⁹ et qui connaissent bien les causes des inondations. Ils n'ont pas de comportement à risque (aller voir l'inondation). Ce groupe correspond au niveau de vulnérabilité 3 d'après leur caractéristique.

Le quatrième groupe concerne les représentants ménages qui disent connaître les précautions à prendre, mais ne connaissent pas les consignes de la protection civile. Ils ont des comportements à risque (vouloir rentrer chez eux pendant l'inondation), mais ils connaissent les causes des inondations. Ils pensent par ailleurs que l'État est responsable des inondations. Ils appartiennent au niveau 4 de vulnérabilité selon leurs caractéristiques.

Le cinquième groupe concerne principalement les ménages pauvres avec des représentants ménages dotés d'un faible niveau d'étude. Ils connaissent les précautions à prendre, mais pas les consignes de la protection civile ni les causes des inondations. La plupart d'entre eux n'ont pas de comportements à risque. Au contraire, la plupart des ménages de ce groupe posent des actes louables pour se protéger des inondations (comme creuser des rigoles pour laisser l'eau s'écouler) [cf. annexe 15 et photographie III-1]. Ce groupe a cependant un niveau de vulnérabilité assez élevé (niveau 5) d'après leur caractéristique.

³⁸ Les consignes de la protection civile : concernant les conseils diffusés par les services de la protection civile sur ce qu'il faut faire en cas de risque d'inondation. Certaines populations ont reçu des prospectus à la suite des inondations du 1^{er} septembre 2009, qui ont par ailleurs été diffusées dans la presse écrite (Lefaso.net, 2011).

³⁹ Les précautions à prendre : concernant les comportements et les actes à adopter pour se prémunir des inondations. Il s'agit de connaissances personnelles et/ou collectives qui peuvent regrouper ou non les consignes de la protection civile. Par exemple, le fait de curer les caniveaux est une précaution à prendre qui n'est pas mentionnée dans les consignes diffusées par la protection civile.



Photographie III-1 : Canalisation de fortune réalisée par les populations pour permettre les écoulements vers le barrage n° 2 de Ouagagadougou (source : auteur)

Le sixième groupe concerne les ménages avec des représentants majoritairement illettrés et indécis sur certaines questions (connaissance des précautions et des consignes de la protection civile, perception de la zone). Ils n'ont des comportements à risque (aller voir l'inondation), mais ne pensent pas à nettoyer les caniveaux pour laisser s'écouler l'eau. Il s'agit du groupe de niveau de vulnérabilité égal à 6.

Le septième groupe concerne les représentants ménages avec un faible niveau d'étude qui ne connaissent pas les consignes de la protection civile ni les précautions à prendre et ont certains comportements à risque, mais ne vont pas voir l'inondation si elle survient. Il s'agit du groupe de niveau de vulnérabilité 7, très vulnérable.

Le huitième groupe concerne les représentants ménages avec un faible niveau scolaire, qui ont plusieurs comportements à risque (aller voir l'inondation, ne pas rester où l'inondation les surprend) malgré une connaissance des causes des inondations. Ils ne connaissent pas de plus les consignes de la protection civile. Ce groupe correspond au niveau de vulnérabilité 8 d'après leur caractéristique.

❖ Les classes de vulnérabilité des ménages à Bamako

Le premier groupe est discriminé par un niveau d'étude supérieure, une bonne connaissance des consignes de la protection civile et la perception que les inondations sont une catastrophe largement sinon au moins partiellement évitable. Les individus de cette classe connaissent les causes des inondations. En majorité ils perçoivent les inondations comme des phénomènes anormaux. Toutes ces caractéristiques justifient que ce groupe soit considéré comme étant très faiblement vulnérable (vulnérabilité =1) sur le plan social aux inondations.

Le deuxième groupe est caractérisé par des individus qui connaissent en majorité les consignes de la protection civile et pensent que les inondations sont des catastrophes largement sinon totalement évitables. Ils ont des niveaux de bien-être économique et d'instruction élevés, et connaissent les causes des inondations. Ils adoptent cependant quelques comportements à risque comme se déplacer pour aller voir l'inondation, rentrer chez soi ou changer de quartier. Par ailleurs, ils ont une perception négative de leur zone d'habitation qu'ils considèrent comme inondable ou interdite lorsqu'ils ne sont pas indécis sur la question. Au regard de ces caractéristiques, leur niveau de vulnérabilité a été fixé à 2.

Le troisième groupe est discriminé par une connaissance limitée des causes des inondations et l'adoption de comportement à risque comme se déplacer en cas d'inondation ainsi que la non-volonté de creuser pour laisser l'eau s'échapper en cas d'inondation. Les individus de ce groupe restent indécis par rapport au fait de considérer leur zone d'habitation comme inondable, interdite selon la réglementation ou non. Le bien-être économique ne permet pas de bien discriminer cette classe, mais on note cependant qu'une part non négligeable d'individus de la classe (30,61 %) sont pauvres ($wealth_index=1$). Ce groupe est considéré comme étant moyennement vulnérable (niveau de vulnérabilité = 3) du fait de ses caractéristiques.

Le quatrième groupe est caractérisé majoritairement par des individus qui envisagent de creuser pour laisser l'eau s'échapper en cas d'inondation de leur parcelle. Ils connaissent de plus en majorité les causes des inondations (crue du fleuve, installation anarchique, urbanisation en zone inondable). Cependant, les individus de ce groupe pensent que les inondations sont une catastrophe non évitable. Ils ne connaissent pas en général les consignes de la protection civile et sont majoritairement pauvres. De plus, ils pensent habiter une zone interdite à la construction d'après la réglementation. Ce groupe est identifié comme étant fortement vulnérable (niveau de vulnérabilité = 4) du fait des caractéristiques principales.

Le cinquième groupe est discriminé par le fait de se déplacer en cas d'inondation et de considérer les inondations comme une catastrophe non évitable. La majeure partie des individus de cette classe considère que leur zone d'habitation est soit interdite à la construction ou inondable d'après la réglementation sur les inondations. Par ailleurs, on note une bonne connaissance des causes des inondations avec une méconnaissance des consignes de la protection civile par la majeure partie des individus de cette classe. La variable $wealth_index$ ne permet pas de discriminer les individus de cette classe, mais on note une part considérable de

pauvre dans ce groupe (40,61 %). Les individus de cette classe sont considérés comme étant faiblement vulnérables (vulnérabilité = 5) au regard de leur caractéristique.

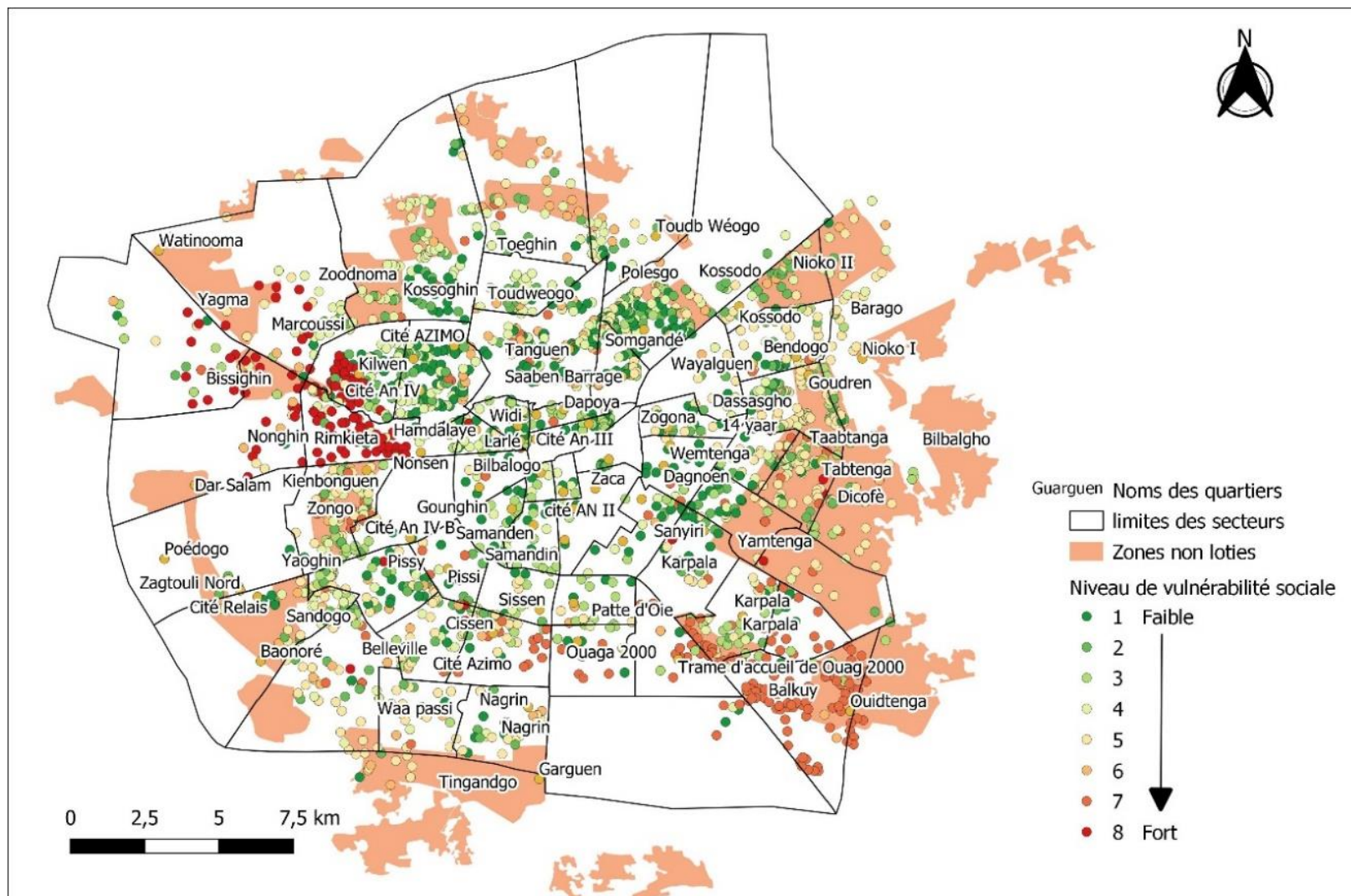
7.3.2.2. Représentation spatiale de la vulnérabilité sociale à Ouagadougou et Bamako

Sur la base de la classification effectuée dans le paragraphe précédent, une cartographie de la vulnérabilité est proposée par ville. Les figures III-18 et III-19 montrent la localisation spatiale des personnes interviewées en fonction de leur profil de vulnérabilité.

Pour la ville de Ouagadougou, la figure III-18 permet d'identifier l'installation des populations les moins vulnérables dans la zone centrale notamment dans les quartiers de Koulouba, Larlé, Ouidi, Gounghin, Zogona-Wemtenga et 1200 logements. Un bon indice de bien-être économique et un niveau scolaire élevé ainsi qu'une bonne connaissance des consignes de la protection civile contribuent à la faible vulnérabilité dans cette partie de la ville. Les secteurs à proximité des barrages intra-urbains (Dapoya, Paspanga, Somgandé) ont eux aussi un indice de vulnérabilité socio-spatiale faible. Cela s'explique par les mesures de relocalisation des sinistrés engagées par la municipalité. L'efficacité de la sensibilisation effectuée par les services de la protection civile dans ces quartiers, et l'acquisition d'une certaine culture du risque peuvent avoir contribué également à l'amélioration du profil des populations dans cette zone. La zone la plus vulnérable est localisée dans la périphérie de Ouagadougou, principalement dans la zone Ouest au niveau des quartiers de Rimkieta, Bassinko, Marcoussi, Nonghin et Bissighin. Un faible niveau scolaire, des comportements à risque ainsi qu'une méconnaissance des consignes de sécurité caractérisent les individus de ce groupe. Par ailleurs, les zones de Rimkieta-ouest et Balkuy sont des zones où aucune réglementation liée aux inondations n'est appliquée, malgré une vulnérabilité sociale forte. Pourtant, ces secteurs ont été fortement touchés par les inondations ces 20 dernières années d'après les articles de presse (voir Fig. III-16). Ce sont des zones situées à proximité de basfonds avec une forte vulnérabilité biophysique. Il y a ainsi une certaine discordance entre la vulnérabilité effective et la réglementation sur les inondations dans ces zones, car la topographie et le social ne sont pas des critères pris en compte dans la délimitation des zones à risque. La vulnérabilité des populations dans le secteur de Rimkieta est d'autant plus grande qu'ils constituent avec les quartiers Marcoussi et Zongo les localités avec le wealth index le plus faible. Leurs habitants auront par conséquent beaucoup plus de mal à se remettre des conséquences d'une inondation puisque les moyens dont ils disposent ne sont pas assez conséquents. Bassenko et Yagma constituent une zone de lotissement nouvelle datant des

années 2000 (Boyer & Delaunay, 2009) et des sites d'accueil de déplacés de l'inondation de 2009 (Essone Nkoghe, 2012). En se déplaçant, les populations n'ont pas forcément été sensibilisées par rapport aux précautions et aux comportements à adopter, d'où la forte vulnérabilité.

Pour la ville de Bamako, les fortes vulnérabilités sociales se concentrent au niveau des communes 6, 4 et 1 (Figure III-19) dans les quartiers situés à l'Est (Magnambougou, Yirimadio et Banankabougou), à l'Ouest (au niveau de Talico, Kalabanougou) et dans une moindre mesure au Nord (Banconi, Djélibougou). La zone à proximité des cours d'eau et du fleuve est marquée par la présence de populations très vulnérables sur le plan social.

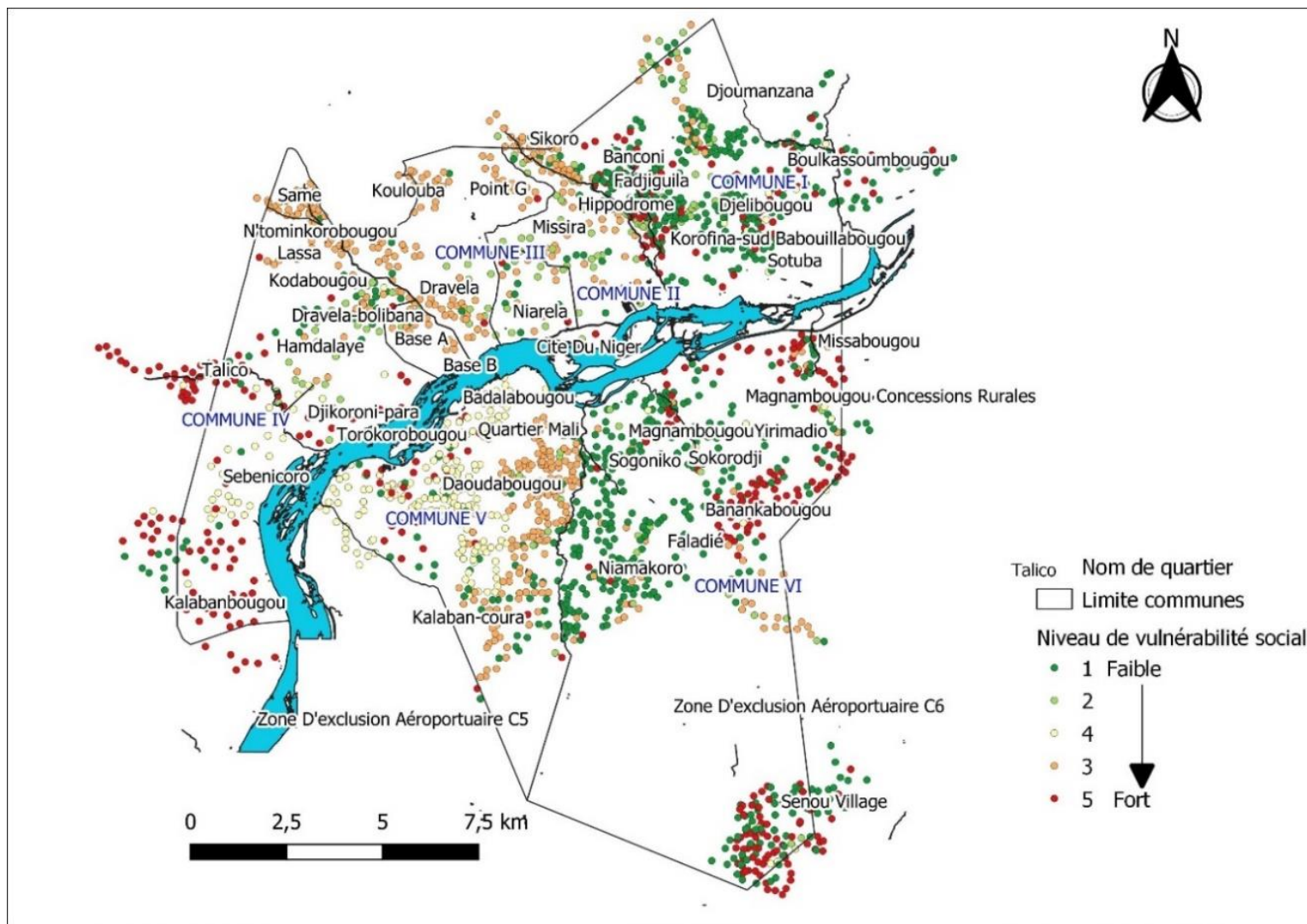


Source : Données Boyer (2009) , enquête

Date: 12/ Date : 12/10/2020

Auteur : DA M. Laure Carolle

Figure III-18 : Évolution spatiale de la vulnérabilité de Bamako selon les données de l'enquête Raincell 2017



Source : Données PGRCI

Date : 12/10/2020

Auteur : DA M. Laure Carolle

Figure III-19 : Évolution spatiale de la vulnérabilité de Bamako selon les données de l'enquête Raincell 2018

7.4. Une vulnérabilité socio-spatiale différentielle des populations face aux inondations : notice d'analyse

Les résultats de ce chapitre peuvent être résumés en trois aspects thématiques importants intervenant dans la compréhension de la vulnérabilité des deux territoires. Il s'agit du fait que :

- le profil sociodémographique des populations de Ouagadougou et Bamako est un facteur de vulnérabilité sociale,
- les facteurs sociaux peuvent représenter des déterminants importants de l'endommagement et
- la spatialisation de la vulnérabilité peut être un outil d'aide à la décision pour la gestion des inondations.

7.4.1. Le profil sociodémographique et comportemental des populations comme facteur de vulnérabilité

Le premier aspect est en lien avec le profil sociodémographique des populations de Ouagadougou et de Bamako. Il ressort de l'analyse spatiale des niveaux de pauvreté à Bamako et à Ouagadougou que les populations les plus pauvres sont plus susceptibles d'occuper les espaces périurbains des villes plutôt que les quartiers centraux. Aussi, la différenciation entre quartiers réguliers et irréguliers en termes de niveau économique est beaucoup plus prononcée à Ouagadougou qu'à Bamako. Keïta (2018) était également parvenu à des résultats similaires concernant la répartition des infrastructures urbaines ce qui permet d'établir une corrélation entre ces deux aspects. Il ressort en effet que les zones périurbaines renferment les secteurs non lotis à Ouagadougou qui sont caractérisés par un manque d'infrastructures sociales de base. Par ailleurs, globalement, il ressort que les personnes disposant de ressources matérielles et lettrées connaissent mieux les consignes de sécurité et ont des avis plus tranchés sur le risque de leur zone. Les personnes très pauvres connaissent moins les consignes et n'ont pas un avis clair par rapport à leur zone. Ils sont ainsi plus aptes à avoir des comportements à risque. Ces résultats montrent l'influence du niveau économique dans la vulnérabilisation du territoire même s'il faut rappeler que faible niveau économique ne rime pas toujours avec forte vulnérabilité. En effet, ces personnes sont également celles qui ont le plus tendance à creuser pour laisser l'eau s'écouler ce qui montre qu'elles mettent en œuvre des actions de résilience même lorsque les localités qu'elles habitent sont dépourvues d'infrastructures adéquates.

Le non-respect des consignes établies et la prise de risque ont été observés dans notre étude à travers les comportements des Ouagalais et des Bamakois. Ils pourraient se justifier par

la minimisation des impacts de la catastrophe et la croyance en l'efficacité de stratégies pour faire face. Ainsi, les populations les plus vulnérables révélées par notre analyse sont des populations qui ont tendance à adopter des comportements à risque en allant voir l'inondation ou à ne pas rester où elles sont lorsque celle-ci survient. Ces comportements peuvent trouver leur explication dans *l'excitation au spectacle d'inondations* (Wilson, 2006, p. 59), la volonté de venir en aide aux éventuelles personnes en difficulté ou la volonté de ne pas laisser les biens sans surveillance en cas de catastrophe. Wilson (2006) parle de « biais de la normalité », car la perte des biens est souvent interprétée par les victimes en termes de conséquences connues alors que le risque de perte en vie du fait d'une inondation est inconnu, difficile à prévoir et souvent minimisé. Les comportements à risque entrent donc en droite ligne avec les stratégies mises en œuvre par les populations pour « faire face » aux risques. Colbeau (2002) révèle que ces stratégies tiennent compte d'aspects cognitifs et sociaux en lien avec la perception du risque, la relativisation de la situation, la volonté de retrouver un certain contrôle et le niveau de stress induit par le danger.

D'un autre côté, l'expérience de petites inondations récurrentes, sans pertes en vies humaines, mais avec des dégâts matériels ainsi que la pauvreté peut expliquer la minimisation des risques de pertes en vie et la volonté de vouloir sauver ses biens, coûte que coûte. Dans notre cas, les populations avaient déjà une certaine expérience du risque (95 % des enquêtés à Bamako et 80,79 % à Ouagadougou) avec pour une part d'entre elles l'expérience de pertes matérielles notables. Elles possédaient de plus une certaine culture de l'inondation (connaissance des inondations et de leur cause). Sur cet aspect, l'absence de caniveau, le dysfonctionnement des caniveaux lié à la présence des déchets et l'urbanisation illégale des zones inondables ont été relevés par les populations comme étant les causes principales des inondations (Bonnet et al., 2017b, 2017a; Da & Bonnet, 2020).

7.4.2. Les facteurs sociaux comme déterminants de l'endommagement

Le deuxième aspect abordé par ce chapitre concerne l'influence des facteurs sociaux sur l'endommagement du territoire et de ce fait sur une forme de vulnérabilité physique. Ces aspects ont été clairement mis en évidence au niveau de la ville de Bamako. Cette partie de notre travail a en effet permis de montrer l'importance des facteurs sociaux dans la survenue de dégâts au niveau des habitations des ménages de la ville de Bamako. Il en ressort la place prépondérante de facteurs comme le niveau de richesse et les perceptions sociales des inondations dans l'endommagement structurel. Ainsi, nous avons pu montrer par une régression

logistique binaire que les facteurs intervenant dans la destruction partielle ou totale de maisons d'habitation à Bamako ne sont pas seulement en lien avec les éléments physiques tels que la hauteur de l'inondation, mais que les aspects psychosociaux, socioéconomiques et socioculturels y contribuent également. Aussi, avons-nous confirmé que la connaissance des causes des inondations n'est pas un facteur explicatif de la survenue de dégâts structurels. En effet, ce n'est pas parce qu'un individu connaît les causes des inondations qu'il adopte des comportements à même de le protéger ou de protéger son ménage. Cependant, les comportements des individus semblent influencés par bien plus qu'une connaissance sommaire des causes d'un phénomène ou qu'une expérience générale à l'échelle de la ville d'un risque. Il serait ainsi opportun pour les pouvoirs publics de tenir compte de ces aspects dans la mise en œuvre de mécanismes de protection des populations et dans la planification de la gestion des inondations. Nous préconisons ainsi que l'accent soit mis sur l'information des populations d'une part du risque auquel leur maison d'habitation est exposée et d'autre part des mesures à mettre en place pour se protéger tout en ne mettant pas en danger son entourage. Il est aussi nécessaire de rappeler aux populations que toute inondation aussi insignifiante qu'elle soit de prime à bord, peut être la cause de décès si les comportements adoptés sont posés en occultant le risque encouru.

Pour la ville de Ouagadougou, une relation aussi claire entre facteurs sociaux et endommagement structurel a été plus délicate à mettre en œuvre par régression logistique même si des hypothèses peuvent être formulées dans ce sens.

De manière plus générale, notre étude a révélé des carences dans la circulation de l'information aux populations, entraînant une mauvaise perception des zones à risques. Ce résultat est beaucoup plus marqué à Ouagadougou où 64,76 % de la population estimait ne pas connaître les consignes de la protection civile contre 44,38 % à Bamako. Cependant à Bamako l'enquête a également révélé des problèmes de perception : la majorité des habitants considère les inondations comme un phénomène normal et non évitable pour près d'un tiers d'entre eux.

7.4.3. La spatialisation de la vulnérabilité comme outil d'aide à la décision des gestionnaires

Le troisième aspect abordé dans le chapitre 7 a concerné la spatialisation à proprement parler de la vulnérabilité sociale au niveau des deux villes. La vulnérabilité sociale est un processus complexe et dynamique qui varie dans l'espace et dans le temps. Les indices de vulnérabilité sont un moyen de décrire simplement cette réalité complexe et de permettre des comparaisons inter et intralocalité. Depuis une vingtaine d'années, on note l'émergence de

l'utilisation d'indicateurs composites dans la gestion des risques, ce qui dénote de la volonté des acteurs et décideurs d'avoir une base objective pour diriger leurs actions. Ainsi, plusieurs auteurs en géographie ont travaillé à mettre sur pied des indices pour quantifier la probabilité d'une société à subir les conséquences dommageables d'un aléa et prédire sa capacité à pouvoir se relever. Ces indices variés permettent entre autres d'appréhender la vulnérabilité de diverses localités d'un même pays ou d'un continent et d'établir des comparaisons (indice SoVI⁴⁰, World Risk Index...) ou de prédire la résilience des sociétés (indice BRIC³⁴...) (Cutter et al., 2003, 2010; Hugon, 2017). Il existe en outre un certain nombre d'indices (comme l'indice de développement humain, l'indice de vulnérabilité économique ou l'indice de vulnérabilité physique aux changements climatiques) mis en place dans des disciplines connexes pour mieux comprendre les sociétés (Cutter et al., 2010). Devant cette pléthore d'indices et de travaux, qu'elle peut donc être l'intérêt de la mise en place un nouvel indice socio-spatial de vulnérabilité dans les villes de Ouagadougou et de Bamako ?

Les indices de vulnérabilité existants permettent la comparaison entre plusieurs localités en se basant par exemple pour ce qui est de l'indice SoVI³⁴ sur les données de recensement de différentes localités à un même moment donné. Cependant, ces indicateurs nécessitent soit un nombre élevé d'unités de comparaison et ne peuvent pas être construits pour une seule zone particulière, soit des données qui ne tiennent pas compte des diversités psychosociales des populations étudiées. Cutter et Emrich (2017) le mentionnaient par exemple pour la région du Delaware aux États-Unis. En effet, du fait du faible nombre de comtés (3 comtés), le SoVI⁸ de cette région ne pouvait être déterminé.

Par ailleurs, les représentations sociales sont des aspects primordiaux à prendre en considération pour comprendre comment un risque est susceptible d'avoir des conséquences sur un territoire. En effet, l'étendue des pertes, bien que liée aux caractéristiques socioéconomiques quantifiables, ne sera pas le même en fonction de l'attitude des populations touchées par un risque. Il était donc nécessaire de mettre en place un indice qui prend en considération les spécificités de chaque zone en conciliant à la fois les caractéristiques socioéconomiques quantifiables, mais aussi les aspects psychosociaux non détectables par les

⁴⁰ SoVI : Indice de Vulnérabilité social. Mis en place par Cutter permet de comparer la vulnérabilité de plusieurs localités en se basant sur des données issues du recensement de la population.

BRIC: Baseline Resilience Index for Community. Cet indice mis en place aux États-Unis par Cutter permet de déterminer et comparer la résilience des communautés de plusieurs zones en s'appuyant sur les facteurs sociaux, économiques, institutionnels, communautaires et les infrastructures.

données de recensement. Bien que l'indice que nous mettons en place possède des limites notamment en termes de répliquabilité du fait des coûts des enquêtes, il n'en demeure pas moins qu'il permet de pallier les insuffisances d'indicateurs uniquement fondés sur des aspects quantifiables (données de recensement). Ainsi, l'exposition au risque est pris en compte dans cet indice à travers l'analyse de risque comme l'occupation de bâtis inadaptés (Jonkman & Kelman, 2005; Vinet et al., 2011) et du sol (Ruin, 2007), les comportements des populations avant, pendant et après l'inondation (Ruin, 2007; Wilson, 2006), les conditions socioéconomiques ou le non-respect des consignes de sécurité.

En résumé, on peut retenir que les zones les plus vulnérables sur le plan social se concentrent spatialement dans les zones précaires dans lesquels divers déterminants sociaux défavorables entrent en complexe interaction. Cette information est un préalable pour conduire des réflexions afin de mieux protéger les populations contre l'impact des inondations.

Synthèse : la statistique au service de la gestion des inondations : mise en lumière des facteurs sociaux de vulnérabilisation

Le chapitre 7, destiné à analyser la vulnérabilité des populations résidentes des villes de Ouagadougou et de Bamako aux inondations, a permis de révéler plusieurs éléments intéressants en termes de facteurs de vulnérabilité et de risque. À l'issue de l'analyse statistique univariée et bivariée, nous avons mené une régression logistique binaire, une analyse factorielle et une classification ascendante hiérarchique qui ont permis de déterminer des profils de vulnérabilité sociale face aux inondations au niveau des deux villes. Les analyses effectuées montrent que la vulnérabilité sociale est fonction de la zone du territoire et des caractéristiques sociales des populations. Elle s'observe à travers les comportements et les représentations cognitives ainsi que les connaissances sur les inondations et sur les mesures de protection.

Les deux enquêtes réalisées à Ouagadougou et à Bamako ont montré que la vulnérabilité sociale des populations présente une différenciation spatiale en fonction des quartiers. On note ainsi une variabilité de la vulnérabilité selon la présence des ménages dans des quartiers marginaux ou non, lotis ou non, situés en zone inondable ou non. En somme, l'appartenance à une zone non lotie constitue un handicap pour les ménages. En effet, le fait d'habiter ces zones les prive d'infrastructures urbaines indispensables pour faire face au mieux aux catastrophes. Par ailleurs, la vulnérabilité est également impactée par les niveaux socio-économiques notamment le niveau d'instruction et le niveau de vie. Ils peuvent ainsi influencer sur l'accès à l'information sur les mesures de protection et aggraver la vulnérabilité d'un ménage.

Globalement, on note une bonne connaissance des inondations par les populations des deux villes, en partie due à l'expérience quasiment à chaque hivernage de ces phénomènes. Cette connaissance peut se révéler contre-productive comme nous l'avons vu, dans la mesure où elle peut favoriser la prise de risque démesuré et la minimisation des dangers. Cependant, une mauvaise connaissance des inondations et de ses causes est source de vulnérabilité pour les populations qui peuvent adopter des comportements sans discernement. C'est le cas pour l'installation anarchique ou l'urbanisation en zone inondable.

En somme, la responsabilité de la vulnérabilité sociale face aux inondations est partagée entre autorités politiques, gestionnaires du territoire et populations. Les deux premiers acteurs sus-cités sont impliqués du fait de l'inefficacité des mesures de prévention des inondations et des insuffisantes notables en termes d'informations et de sensibilisation du public. La population a également sa part de responsabilité du fait de l'adoption de comportements à risque parfois en connaissance de cause, juste pour des intérêts à court terme.

Conclusion partie III

La troisième partie de notre thèse a permis d'analyser la vulnérabilité sociale à Ouagadougou et à Bamako du fait des inondations. Après un premier chapitre abordant les aspects méthodologiques employés pour analyser la vulnérabilité, l'analyse et l'interprétation des résultats ont été réalisées. Il ressort de nos travaux que le niveau de vulnérabilité est fonction des villes, mais également des zones d'enquête, qui se différencient sur le plan socioéconomique et spatial. La vulnérabilité a pu être analysée à travers les connaissances et les comportements adoptés avant et au cours des inondations. On note une concentration des niveaux de vulnérabilité les plus élevés dans les zones périphériques ou en zones non loties, moins bien équipées en termes d'infrastructures et regroupant un plus grand nombre de populations pauvres. Ainsi, les individus accusant un niveau de vulnérabilité sociale élevé s'observent particulièrement sur les marges urbaines. Il s'agit pour l'essentiel de zones d'habitats non loties.

La ville de Ouagadougou se démarque de Bamako sur ces aspects du fait de la présence des zones non loties dans les parties extrêmes de la ville (en périphérie), tout autour de la zone lotie. Plusieurs études sur les inondations dans des villes d'Afrique de l'Ouest ont déjà confirmé la vulnérabilité plus accrue des populations habitant les périphéries (Diongue, 2014 ; Ould Sidi Cheikh, Ozer, Ozer, 2007). Ces espaces, construits à Ouagadougou en matériaux précaires hors de toute règle d'urbanisme, témoignent des difficultés de mise en œuvre par les pouvoirs publics d'une planification capable d'anticiper la croissance urbaine. Ainsi, malgré une politique urbanistique volontaire sous le régime révolutionnaire censée résorber définitivement les poches d'habitats et de populations souvent précaires (Fournet, Meunier-Nikiema, Salem, 2008), ces formes d'occupation de l'espace se sont maintenues, voir développées dans les communes rurales environnantes. Aussi, l'extension spatiale urbaine a contribué à l'absorption de territoires ruraux peu à peu gagnés par la ville, sans qu'aucun document d'urbanisme ne définisse les lieux et les espaces d'implantation d'équipements d'assainissement pluvial pour contrer les effets du ruissellement. Il faut noter que la situation particulière de la ville de Ouagadougou s'explique par les choix politiques en matière d'urbanisme adoptés autour des années 2000. À la faveur du projet ZACA (Zone d'Aménagement Commerciale et Administrative) lancé en 2001 à Ouagadougou, plusieurs vieux quartiers du centre-ville (Zangouetin, Peuloghin, Tiedpalogo, Camp fonctionnaire et une partie de Koulouba et de Kamsaoghin) constitués en majorité de cours traditionnelles avec

un bâti en banco ont été détruits. Les populations de ces anciens quartiers se sont réinstallées sur la trame d'accueil construite à cet effet en marge de la capitale, ou dans d'autres quartiers de la ville et dans les zones non loties. Les résultats de nos travaux ont montré que ces quartiers de réinstallation sont parmi les plus vulnérables de la ville sur le plan social, ce qui nous conduit à conclure que les habitants de ces quartiers ont gardé sinon accru leur marginalité. Ils étaient à l'époque privilégiés d'une certaine manière par leur position en centre-ville, qui leur permettait un accès à certaines facilités. L'objectif atteint par le projet ZACA a été d'effacer la marginalité du centre-ville sans pour autant toucher au cœur du problème.

À Bamako en revanche, on remarque la présence de quartiers d'habitats spontanés en centre-ville comme dans le quartier TSF et à Koulouba, ce qui rend la répartition de la vulnérabilité plus disparate qu'à Ouagadougou. Ainsi, la ville de Bamako ne s'inscrit pas dans le contexte de clivage strict entre centre-ville et périphérie, ce qui rend encore plus complexe la prise de mesures. En effet, les zones de marginalité sont aussi bien localisées en périphérie qu'en plein centre-ville.

Il est certes vrai que le concept de vulnérabilité sociale, tout comme celui de vulnérabilité biophysique, permet de mieux comprendre les catastrophes et leurs impacts. Mais la gestion optimale des inondations ne peut se faire que si elle est considérée au regard des politiques censées prendre en considération ces vulnérabilités dans l'organisation du territoire. Nous avons par exemple déjà mentionné l'influence des politiques adoptées dans l'état actuel du territoire de Ouagadougou. De ce fait, pour Reghezza (2006, p. 37), *le problème* [de la vulnérabilité face aux inondations] *reste un problème politique qui dépend des capacités financières, techniques, humaines, juridiques des acteurs concernés*. Ces aspects politiques constituent l'objet de la quatrième partie de notre thèse qui porte sur les éléments de gestion des inondations en lien avec les volets politiques et juridiques mis en œuvre sur les deux territoires d'étude.

PARTIE IV. GESTION DU RISQUE A OUAGADOUGOU ET A BAMAKO : ENTRE FAIBLESSES ET OPPORTUNITÉS

« Toutes les batailles de la vie nous enseignent quelque chose, même celles que nous perdons » Paulo Coelho

Introduction

La gestion des inondations repose sur deux stratégies complémentaires. La première démarche consiste à mettre en œuvre des mesures de protection « structurelles » afin d’agir directement sur l’aléa. Ces mesures passent entre autres par les tentatives d’infiltration, de stockage des eaux pluviales et d’endiguement. Cette démarche, privilégiée par les sciences de l’ingénieur, a montré ses limites sur le plan technique et financier. En effet, face aux aléas de très grande ampleur, une protection uniquement par les structures n’est pas envisageable, ni sur le plan technique encore moins sur le plan financier. La deuxième démarche privilégiée à l’heure actuelle par les sciences sociales et environnementales consiste à agir sur les vulnérabilités et les capacités des sociétés à affronter et à surmonter les catastrophes, à travers un renforcement de leur résilience. Cette capacité des sociétés à faire face aux catastrophes est fortement liée au processus de gouvernance mis en œuvre au niveau territorial. Pour ce faire, la gestion des risques liés aux inondations implique dans une perspective de développement socialement durable que les vulnérabilités des territoires exposés aux inondations soient également appréhendées par le droit et les différentes politiques en vigueur.

La mise en œuvre de ces politiques nécessite l’intervention d’acteurs aux rôles et prérogatives diversifiées, dont les actions peuvent influencer positivement ou négativement sur la vulnérabilité. Aussi, le déclenchement de l’action des différentes parties prenantes et la mise en œuvre de politiques en lien direct avec la gestion des risques sont fonction du stade dans lequel se situe la gestion. Les différentes stratégies mises en œuvre dépendent en effet de ces étapes (phase d’avant la crise ou fonctionnement courant, phase pendant la crise, phase post-crise), que nous avons présentées dans le cadre théorique (cf. chapitre 1.1.2.3).

Cette 4^e partie de notre thèse est l’occasion de faire un état des lieux des cadres juridiques et organisationnels qui intègrent les problématiques liées à la gestion des inondations dans nos deux

villes d'étude. Elle met en lumière les obstacles relatifs à une mauvaise application des outils juridiques ou aux blocages juridico-institutionnels en présence à la fois à Ouagadougou et à Bamako. Pour mener à bien l'analyse, la présente partie s'organise autour de deux chapitres essentiels :

- Le premier chapitre se penche sur la prise en compte des risques d'inondation dans les différentes politiques urbaines et environnementales. Il analyse le cadre stratégique de la gestion urbaine ainsi que les différents aspects réglementaires liés au risque d'inondation dans les deux villes. Il se fonde pour ce faire sur une analyse documentaire.
- Le deuxième chapitre s'intéresse aux interactions entre acteurs. Il aborde le cadre institutionnel, les interactions entre les différents acteurs dans les deux villes et leurs postures vis-à-vis des politiques en rapport avec la gestion des inondations sur le territoire. Il se base sur les résultats des entretiens réalisés auprès des acteurs et personnes ressources identifiées sur le territoire.

L'objectif *in fine* de cette partie est d'analyser la capacité de coordination, de prévention et de riposte des autorités institutionnelles, chargées de la gestion des catastrophes au niveau des deux territoires.

Chapitre 8. Un cadre de référence international et des politiques nationales au service de la gestion des inondations

Introduction

La réponse des territoires à une crise est fonction de l'ampleur de la catastrophe et de son ancrage aux instruments de référence déjà existants. Plusieurs types de politiques entrent en ligne de compte de manière directe ou indirecte dans la gestion des crises au niveau territorial. Il s'agit de documents de planification sectorielle en lien entre autres avec la santé, la sécurité alimentaire et l'hygiène, ou directement en lien avec la réduction des risques de catastrophes dans leur généralité. Ces documents, élaborés sous forme de politiques, de stratégies* ou de plans, doivent s'articuler convenablement pour permettre une gestion idoine du territoire. Ils abordent les risques en général, mais permettent une planification ciblée de la gestion des inondations. Cette dernière nécessite en effet la mise en œuvre de politiques sectorielles liées au risque et fait intervenir des politiques plus générales en lien avec l'aménagement urbain et l'assainissement. La cohérence de ces politiques entre elles et avec les différents paramètres environnementaux et sociaux est la condition *sine qua non* pour faire face aux chocs et parvenir à un relèvement efficace.

Ce chapitre aborde les questions de cohérences des textes en vigueur et leur application dans les villes d'étude. Il s'agit de faire le point des politiques environnementales et d'aménagement urbain en lien avec les inondations au niveau des villes de Ouagadougou et de Bamako. Ces politiques sont de divers ordres et s'articulent du niveau international, au niveau local communal, en passant par le niveau national, que l'on soit dans le cadre malien ou dans le contexte burkinabè. Nous les rappelons de manière succincte pour appréhender le degré auquel ils intègrent les préoccupations de prévention et de gestion des catastrophes, puis les analysons au travers de leur prise en compte dans les projets urbains des deux villes.

8.1. Le cadre politique international

8.1.1. Les principales politiques internationales en lien avec la réduction des risques

8.1.1.1. Conventions et Cadres internationaux

❖ Le Cadre d'action de Sendai (CAS) pour la réduction des risques de catastrophe 2015-2030

Succédant au cadre d'action de Hyogo (2005-2015) intitulé « pour des nations et des collectivités résilientes face aux catastrophes », le cadre d'action de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe 2015-2030 vise à réduire considérablement d'ici 2030 les risques de catastrophes et de pertes. Sur la base de l'expérience acquise dans le cadre de la mise en œuvre du cadre d'action de Hyogo, quatre actions prioritaires ont été définies :

- comprendre les risques de catastrophe par la collecte et l'analyse de données utiles ;
- renforcer la gouvernance des risques de catastrophe pour mieux les gérer ;
- investir dans la réduction des risques de catastrophe aux fins de la résilience en allouant les ressources nécessaires à la gestion des risques ;
- renforcer l'état de préparation aux catastrophes pour intervenir de manière efficace et pour « mieux reconstruire » durant la phase de relèvement, de remise en état et de reconstruction.

Ces actions doivent permettre in fine de prévenir les nouvelles catastrophes, réduire les risques existants en mettant en œuvre des mesures de prévention et renforcer la préparation et la résilience.

On note cependant un manque de cohérence entre le CAS et les autres cadres internationaux en rapport par exemple aux Objectifs du Développement Durable (ODD) et au financement de l'Aide publique au Développement (APD). Ainsi, les questions de pauvreté et de transfert de technologie « sont à peine évoquées sans engagements substantiels » (Quenault, 2015a).

L'analyse des actions prioritaires définies montre par ailleurs un manque de précision de certaines d'entre elles. Par exemple, la première action prioritaire représente en substance une invite aux différents signataires à une prise en compte des scénarios climatiques dans la planification au niveau national, sans en définir précisément les contours.

❖ La Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques

La Convention-Cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (adoptée au Sommet de la Terre Rio en 1992) vise à faire face à l'un des grands défis environnementaux mondiaux que sont les changements climatiques. Ces derniers, d'origine naturelle et anthropique, sont responsables de nombreux risques et catastrophes à travers le monde (sécheresses, désertifications, inondations, cyclones...).

L'objectif ultime fixé par la convention est de stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique. Cette stabilisation doit se faire dans un délai suffisant pour permettre une adaptation naturelle des écosystèmes, garantir la production alimentaire et permettre le développement économique.

Elle incombe aux États partis la responsabilité de l'adoption de mesures de précaution, en vue de la prévision, la prévention ou l'atténuation des causes des changements climatiques et l'adaptation à leurs effets néfastes. Pour ce faire, les États doivent adopter les mesures qui s'imposent pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

La convention a été complétée par l'accord de Paris en 2016, qui institue des objectifs quantitatifs de réduction des gaz à effet de serre pour maintenir l'augmentation de la température mondiale en deçà de deux degrés Celsius par rapport aux niveaux préindustriels. Pour l'atteinte de cet objectif, tous les États (qu'ils soient développés ou non) se doivent de se fixer des seuils de contributions déterminées au niveau national. Le pouvoir discrétionnaire est donné aux États de déterminer leurs propres degrés de contribution, ce qui constitue pour certains analystes un recul de la prédominance du droit international, au profit d'une recherche de compromis politique (Lavallée & Maljean-Dubois, 2016). Ce recul est d'autant plus réel selon eux qu'aucune sanction n'est prévue en cas de non-respect de l'Accord de Paris.

8.1.1.2. Stratégies et politiques internationales

❖ La stratégie internationale de prévention des risques de catastrophes

La stratégie internationale de prévention des risques de catastrophes est une plateforme multidisciplinaire et multipartite qui assiste les communautés dans l'accroissement de leur résilience face aux risques. À la suite du cadre d'action de Hyogo, le cadre de Sendai constitue le guide essentiel pour la mise en œuvre des orientations de cette stratégie pour les prochaines années. Elle recommande ainsi l'établissement de mécanismes institutionnels pour la RRC (Réduction de Risques de Catastrophes) comme les plateformes nationales. La priorité est de s'assurer que la RRC reste au cœur des politiques nationales, et qu'elle soit pourvue d'une solide base institutionnelle de mise en œuvre.

❖ La stratégie régionale africaine de réduction des risques de catastrophe

Au niveau régional, l'Afrique reste le premier continent à avoir démontré un engagement politique envers la RRC, en formulant en 2004 la stratégie régionale africaine de réduction des risques de catastrophes. Cette dernière vise à faciliter l'intégration RRC au développement. Les mécanismes à mettre en œuvre pour l'atteinte de cet objectif concernent :

- L'accroissement de l'engagement politique pour la réduction des risques de catastrophes ;
- L'amélioration de l'identification et de l'analyse des risques de catastrophes ;
- L'amélioration de la gestion des connaissances relatives à la réduction des risques de catastrophes ;
- L'accroissement de la prise de conscience des risques de catastrophes au sein de la population ;
- L'amélioration de la gouvernance des institutions impliquées dans la réduction des risques de catastrophes ;
- L'intégration des objectifs de la réduction des risques de catastrophes à la gestion des réponses aux urgences.

❖ La politique des ressources en eau de l’Afrique de l’Ouest (PREAO)

La politique des ressources en eau en Afrique de l’Ouest (PREAO) a pour objectif de contribuer à la réduction de la pauvreté et au développement durable, en orientant la communauté ouest-africaine et les États membres vers une gestion intégrée des ressources en eau. Cette dernière repose sur le développement économique, l’équité sociale et la préservation de l’environnement.

L’axe stratégique de la PREAO en lien avec la réforme de la gouvernance de l’eau intègre comme cadre d’intervention de la Communauté Économique des États de l’Afrique de l’Ouest (CEDEAO) la réduction des risques environnementaux. La Communauté s’engage ainsi à accompagner la réalisation d’infrastructures de protection et la mise en œuvre de mesures contre les risques (crues, sécheresses, pollution, dégradation des écosystèmes, ensablement), en s’appuyant sur les États.

❖ La politique de prévention des catastrophes de la CEDEAO

La politique de prévention des catastrophes de la CEDEAO s’inspire de la stratégie régionale africaine sur les risques de catastrophes et vise à réduire les risques de catastrophes à travers des interventions de développement.

- Les actions prioritaires de cette politique régionale sont de : fournir un cadre intergouvernemental de collaboration et de partenariat entre les États membres de la CEDEAO en matière de gestion des risques de catastrophes ;
- favoriser l’intégration de la réduction des risques dans les politiques, plans et programmes de développement des États membres de la CEDEAO ;
- promouvoir l’incorporation des approches en matière de réduction des risques dans le dispositif de préparation, d’intervention lors des situations d’urgence, des activités de réhabilitation et de reconstruction ;
- Développer et renforcer des institutions sous-régionales spécialisées dans le domaine de la réduction des risques de catastrophes ;
- Développer une base de données et renforcer les capacités en matière de réduction des risques de catastrophes, y compris les capacités des experts locaux et les stratégies d’intervention de la sous-région.

8.1.2. Insuffisances et incohérences du cadre politique international en matière de gestion du risque inondation

La gestion des risques naturels est un concept multidimensionnel qui nécessite une collaboration et une coopération affermie et synergique au niveau bilatéral, multilatéral, régional et international. De manière générale sur le plan international, on note comme nous l'avons vu, l'élaboration de plusieurs politiques et cadres qui prennent en compte les questions de réduction des risques de catastrophes et promeuvent la résilience des populations. Cependant, leurs caractères non contraignants et l'imprécision de certains engagements constituent un frein majeur à la capacité des politiques internationales à intervenir réellement et durablement sur la gestion des risques au niveau des États.

Globalement au niveau international, on note un manque de synergie entre les politiques de réduction des catastrophes et les autres agendas internationaux en lien avec les questions de développement, de pauvreté ou de changement climatique. Par exemple, « la faiblesse et le caractère non contraignant des engagements de Sendai ainsi que l'absence de synergie avec les autres processus multilatéraux relatifs à l'agenda politique post-2015, font que le CAS [Cadre d'Action de Sendai] symbolise surtout une opportunité manquée » (Béatrice Quenault, 2015).

Par ailleurs, les questions de résilience des sociétés prennent de plus en plus de place dans les agendas internationaux, en raison du sentiment inéluctable des catastrophes, notamment celles d'origine naturelle. Il apparaît ainsi de plus en plus clairement dans les politiques internationales que les mesures de gestion cherchent à corriger les effets des risques par une adaptation à leur survenue. Ramener au cœur de l'analyse les capacités des sociétés à s'adapter et à faire face aux catastrophes peut être une voie appropriée pour la gestion des risques. Cependant, cela peut se révéler contre-productif par rapport à la prise en compte des causes profondes des risques. Ainsi, en analysant les agendas politiques et projets de sociétés défendus par les institutions internationales, on observe de plus en plus que les cadres d'analyse des problèmes liés au risque naturel ne s'intéressent plus aux réformes des trajectoires insoutenables du développement. Pourtant, ces derniers sont à la base d'un appauvrissement des sociétés, d'un renforcement des inégalités sociales, d'une perte des notions de solidarité et d'entraide et de pressions foncières plus importantes, qui sont la source d'une vulnérabilité plus grande face aux risques, particulièrement dans les pays africains. L'idée qui émerge actuellement des politiques internationales en matière

d'environnement et de gestion des risques tend à repositionner les victimes des catastrophes naturelles comme possibles agents de la perpétuation de leurs vulnérabilités (Felli, 2014). Centrer la gestion des risques sur la résilience est donc susceptible de conduire in fine à une stigmatisation des populations les plus vulnérables et les plus démunis, en les prenant pour seules responsables de leur incapacité à se reconstruire ou à s'adapter. Il ressort une mise en accusation des populations dont les comportements vont à l'encontre des « bonnes pratiques » et la réémergence d'un discours moralisateur contre les acteurs qui ne se conformeraient pas aux normes établies (Rufat, 2010). Quenault (2015b) rappelle que ce type d'approche peut « conduire à un recul des solidarités collectives (nationales et internationales) et à la stigmatisation de ceux qui ne seraient pas parvenus à être résilients ». Cette nouvelle forme de gouvernementalité au niveau international transparaît dans les politiques nationales mises en œuvre, entraînant avec elle ses limites et dangers de stigmatisation de populations. Elle est pourtant majoritairement adoptée par les États, car elle les dédouane de leur responsabilité dans la survenue des catastrophes et culpabilise principalement les populations vulnérables. La responsabilité des États est cependant réelle du fait des trajectoires de développement néolibéral qu'ils ont choisi ou ont été contraints d'emprunter, et qui ont tendance à exacerber les inégalités sociales. Nous abondons après l'analyse des politiques internationales dans le sens de l'UNISDR (2015), qui préconise une réinterprétation de la RRC. Cette dernière doit se faire au niveau international en prenant en compte la nécessité d'une révision des processus de développement, car les risques sont socialement construits « à l'intérieur du développement » et mobilisent à la fois les États, les politiques de gouvernance territoriale et les différents acteurs du territoire.

Par ailleurs, en analysant de manière spécifique les politiques au niveau africain, nous constatons qu'à la différence de certains ensembles régionaux dans le monde (en Europe notamment avec la directive inondation de l'Union européenne), les pays africains ne se sont pas dotés à notre connaissance de documents de référence communautaire axés spécifiquement sur le risque inondation. Ce risque typique est abordé de manière générale dans la stratégie régionale africaine sur la réduction des risques de catastrophe. Cette situation contribue de ce fait à rendre vague les engagements en matière de gestion des inondations, ce qui finit par se répercuter sur les politiques nationales. Ainsi, l'analyse des politiques internationales s'est révélée importante dans nos travaux pour comprendre la gestion des inondations dans nos zones d'étude. Le Burkina Faso et le Mali ont en effet renforcé au fil des années leurs dispositions juridiques, en ratifiant presque

tous les accords internationaux et conventions en matière d'environnement et de gestion des risques. Par exemple, on dénombrait pour le cas du Burkina Faso en 2007, la ratification de près de 46 conventions, protocoles et accords multilatéraux en matière de gestion de l'environnement (SP/CONEDD, 2007). Au Mali, une trentaine de conventions a été ratifiée selon un rapport de la Cour suprême malienne (Sénou, nd). Cela démontre l'engagement de ces pays à se doter de tous les moyens juridico-politiques pour amorcer un processus de développement durable. Ainsi, les documents stratégiques internationaux mentionnés dans cette première section du chapitre 8 se déclinent au niveau national des deux pays par l'adoption de textes juridiques (hard Law) et de documents de référence (soft Law) pour la gestion des risques et la planification du territoire. La mise en œuvre de ces politiques nationales et le respect des textes réglementaires ne sont cependant pas exempts de limites. C'est ce que nous abordons dans les sections suivantes.

8.2. Les cadres juridiques nationaux en lien avec la gestion des catastrophes

L'environnement institutionnel burkinabè et malien a connu de nombreux changements qui ont eu un impact sur la gestion urbaine à Ouagadougou et à Bamako, et de ce fait, sur la gestion des catastrophes naturelles au niveau de ces deux villes. Aussi, les phases de gestion des inondations (phase de préparation, de réponse et de reconstruction) sont régies par un certain nombre de textes de loi. Le cadre législatif et réglementaire inclut des lois, des ordonnances, des décrets et des arrêtés. Nous rappelons succinctement certains textes réglementaires en lien avec la gestion des inondations et la gestion de l'assainissement et de l'urbanisme, et analysons leur cohérence les uns par rapport aux autres.

8.2.1. Le cadre juridique burkinabè

8.2.1.1. Présentation générale

Le cadre juridique* burkinabè est caractérisé par l'adoption d'un nombre fourni de textes législatifs et réglementaires se rapportant à la gestion du territoire en général et qui peuvent avoir un lien avec la gestion spécifique des inondations. Nous rappelons brièvement dans les sections qui suivent ceux qui à notre avis présentent un intérêt pour notre étude. Les différentes insuffisances et incohérences que nous avons pu relever de ces textes sont abordées dans une autre section.

Pour les textes législatifs, il s'agit entre autres de :

- *La loi n° 010/98/AN du 21 avril 1998* portant modalités d'intervention de l'État et répartition de compétences entre l'État et les autres acteurs du développement : elle détermine les modalités d'intervention et compétences de l'état (conception des outils de gestion, supervision des politiques nationales), des collectivités locales (gestion des eaux usées, des ordures ménagères et des infrastructures de drainage des eaux pluviales) et des autres acteurs du développement.
- *La loi n° 002–2001/AN du 8 février 2001* portant loi d'orientation relative à la gestion de l'eau. Elle détermine les modalités pour une gestion efficace de l'eau dans le respect de l'environnement. Elle définit des actions prioritaires à mettre en œuvre pour entre autres préserver la qualité des eaux, protéger les écosystèmes aquatiques et faire face aux problèmes posés par les inondations et les sécheresses.
- *La loi n° 55-2004/AN du 21 décembre 2004* portant Code général des collectivités territoriales. Cette loi consacre deux types de collectivités territoriales au Burkina Faso : la région et la commune (urbaine et rurale). Aussi, l'adoption de la loi et ses décrets d'application permet de renforcer le processus de décentralisation à travers le transfert des compétences et des ressources aux collectivités territoriales.
- *La loi n° 022-2005/AN du 24 mai 2005* portant code de l'hygiène publique au Burkina Faso. Les dispositions de la loi régissent l'hygiène publique au Burkina Faso, notamment l'hygiène sur les voies et places publiques et dans le milieu naturel. La gestion des déchets, pouvant avoir un impact sur les inondations, y est clairement mentionnée.
- *La loi n° 017-2006 du 18 mai 2006* portant code de l'urbanisme et de la construction. Elle fixe les dispositions et les règles en matière de construction et d'urbanisme au Burkina Faso. Les sanctions en cas d'infractions dans la mise en œuvre des opérations d'urbanisme et de construction sont également mentionnées dans le code.
- *La loi n° 057-2008/AN du 20 novembre 2008* portant promotion immobilière au Burkina Faso. Elle encadre le domaine de la promotion immobilière au Burkina Faso et fixe les procédures d'acquisition et d'aménagement des terres par les promoteurs immobiliers.

- *La loi n° 006-2013/AN du 2 avril 2013* portant code de l'environnement au Burkina Faso : elle octroie aux pouvoirs publics les missions de veiller à la gestion durable des ressources naturelles, l'amélioration continue des conditions de vie des êtres vivants, la gestion satisfaisante des risques technologiques et des catastrophes et la restauration de l'environnement.
- *La loi n° 012-2014/AN du 22 avril 2014* portant loi d'orientation relative à la prévention et à la gestion des risques, des crises humanitaires et des catastrophes. Elle définit entre autres les modalités de déclaration et de gestion de l'état de catastrophes sur le territoire national, le cadre institutionnel, de même que les acteurs de prévention et de gestion des risques, des crises humanitaires et des catastrophes.

Pour les textes règlementaires, nous pouvons relever quelques décrets d'application importants à mentionner :

- *Le décret n° 2005-193/PRES/PM/MAHRH/MFB* du 4 avril 2004 portant procédure de détermination des limites des dépendances du domaine de l'eau. Il permet de délimiter le domaine public de l'eau institué par la loi d'orientation relative à la gestion de l'eau. La délimitation par exemple des cours d'eau s'avère nécessaire en vue d'une protection du domaine public. Elle participe ainsi à la préservation de la qualité de l'eau et à la prévention de risques comme les inondations, en limitant l'empiètement du domaine délimité par des activités diverses.
- *Le décret n° 2006-588/PRES/PM/MAHRH/MECV/MADT/MFB/MS* portant détermination des périmètres de protection des plans et cours d'eau : il vient en soutien au décret précédent et met également en œuvre la loi n° 002-2001/AN. Il permet de déterminer les zones à l'intérieur desquelles l'édification de constructions ou de bâtiments est interdite ou subordonnée à l'observation de prescriptions spéciales.
- *Le décret n° 2009-222/PRES/PM/MHU/MEF* du 20 avril 2009 portant contenu du projet immobilier et/ou foncier et sa procédure d'approbation : Il fixe les conditions d'aménagement des sites par les promoteurs immobiliers. Dans cette lancée, il est fait obligation aux promoteurs immobiliers de disposer d'un projet immobilier approuvé par le ministre chargé de l'urbanisme et de l'habitat. Ce projet doit contenir les différents plans d'aménagement paysager ainsi que les plans de voirie et de réseaux

divers. Ces plans doivent attester la prise en compte de l'assainissement urbain dans la viabilisation des parcelles à aménager. De ce fait, ce décret a un lien avec la prévention des inondations.

- *Le décret n° 2009-601/PRES/PM/MASSN/MEF/MATD* du 06 août 2009 portant création, composition, attributions et fonctionnement du Conseil National de Secours d'Urgence et de Réhabilitation (CONASUR). Il place le CONASUR, structure chargée de la prévention des catastrophes, du secours d'urgence et de la réhabilitation, sous tutelle du ministère en charge de l'Action Sociale.
- *Le décret n° 2009-793/PRES/PM/MHU/MATD/MEF/MID/MAHRH/MECV* du 19 novembre 2009, portant règlementation des servitudes des canaux primaires d'évacuation des eaux pluviales, des zones inondables inconstructibles et des zones submersibles dans la ville de Ouagadougou. Ce décret a permis la délimitation et la matérialisation des zones inondables dans la ville de Ouagadougou, faisant l'objet de règlements d'occupation spécifiques.
- *Le Décret n° 2014-466/PRES du 2 juin 2014* promulguant la loi n° 012-2014/AN du 22 avril 2014 portant loi d'orientation relative à la prévention et à la gestion des risques, des crises humanitaires et des catastrophes.

Ce cadre juridique bien fourni montre l'engagement de l'État burkinabè pour une bonne gouvernance de son territoire. Cependant, il n'est pas exempt d'insuffisances et d'incohérences que nous résumons dans la section qui suit.

8.2.1.2. Analyse du cadre juridique

Le cadre juridique burkinabè regorge de plusieurs textes de planification du territoire en lien direct ou indirect avec la gestion des risques et plus précisément les inondations. Les quelques éléments substantiels de ces lois et règlements que nous avons présentés dans la section précédente traduisent la forte volonté politique de l'État de prendre à bras le corps le problème des inondations. Même si cela constitue une force, il reste que l'analyse de ces différents textes révèle des insuffisances qui peuvent expliquer les freins à une bonne gestion du risque à l'échelle du pays et dans la capitale burkinabè.

Ainsi, concernant la gestion des ressources en eau par exemple, les décrets d'application de la loi n° 002-2001/AN responsabilisent l'organisme gestionnaire du bassin de la délimitation des

dépendances du domaine public de l'eau. Cette structure doit associer les différents acteurs de l'eau, notamment les collectivités territoriales à savoir la région et la commune concernée par cette délimitation. Cependant, dans la pratique, cette implication des collectivités territoriales se révèle insuffisante à bien des égards. Il ressort d'un rapport de l'Union internationale pour la conservation de la nature et de ses ressources (UICN) (2013) que les communes sont souvent exclues de cette délimitation, alors qu'elles sont les gestionnaires au niveau local. Bien que les régions soient incluses à ce processus de délimitation, leur participation intervient qu'après que le projet de texte ait été élaboré ce qui peut apporter de la confusion à la décentralisation.

Ce processus de décentralisation amorcé au Burkina a impulsé une nouvelle dynamique de développement des collectivités territoriales, qui en plus de s'être vu confier des compétences en matière d'assainissement par la loi, ont hérité de la gestion du foncier. Cette gestion est encadrée par une réglementation assez fournie pour éviter les dérives. Cependant, force est de constater également des insuffisances et des manquements dans l'application de la réglementation, ce qui n'est pas sans conséquence sur le tissu urbain, sur le climat social et sur la prévention des inondations. Une enquête parlementaire, dépêchée en 2016 pour analyser la situation relevait d'ailleurs déjà plusieurs manquements susceptibles d'impacter sur la survenue des inondations au Burkina Faso et à Ouagadougou en particulier (Assemblée nationale, 2016). On note par exemple le morcellement de la bande verte de Ouaga 2000 pour des besoins de construction, relevant pourtant du domaine public et des zones de servitude conformément à l'article 11 de la loi n° 034-2012/AN. Dans cette même lancée, le quotidien Burkina 24 (Koueta, 2019) faisait état en 2019 de l'occupation légale ou illégale de près de 1050 hectares soit 50 % de la superficie de la ceinture verte de Ouagadougou. Le palais présidentiel de Kossyam est d'ailleurs un exemple de parcellement réalisé dans la ceinture verte de la ville. La photographie IV-1 illustre également un exemple d'occupation de la ceinture verte de la ville de Ouagadougou pour des activités anthropiques. Pourtant, cette bande verte permet entre autres une augmentation de la capacité de rétention d'eau du sol en assouplissant les couches superficielles et ainsi, réduit les pertes en eau par ruissellement et donc les inondations. Par ailleurs, un autre objectif politique visé par la réalisation de la ceinture verte était de limiter l'espace urbain et ainsi permettre de lutter contre l'extension anarchique de la ville, en constituant sa limite administrative (Sana, 2001).



Photographie IV-1 : Activité anthropique de ramassage de sable accentuant l'érosion dans la ceinture verte de Ouagadougou (source : O. Koueta, <https://www.burkina24.com/2019/06/06/ouaga-burkina-la-ceinture-verte-agonise/>)

Aussi, le rapport a révélé l'occupation illégale de sites par des promoteurs immobiliers privés, des insuffisances de viabilisation, la mauvaise qualité des constructions, des attributions illégales de parcelles et la spéculation des prix des terrains, toute chose qui perdure encore sur le terrain aujourd'hui. Ainsi, malgré l'existence de textes réglementaires en la matière, le secteur du foncier au Burkina Faso reste troublé par des pratiques irrégulières qui entravent la planification et la bonne gestion urbaine. L'enquête parlementaire de 2016 préconisait la relecture de la loi n° 057-2008/AN pour y inclure la nécessité d'une obtention préalable d'un titre foncier*, avant le début de l'aménagement d'un site, afin de pallier quelque peu l'installation anarchique des promoteurs immobiliers. Cinq années se sont écoulées sans qu'il y ait eu à notre connaissance une relecture de ce texte. Cette situation montre également les lenteurs administratives qui se matérialisent même au niveau de l'Assemblée nationale et de l'élaboration des lois.

Concernant les mesures spécifiques de prévention des inondations, la loi n° 012-2014/AN en son article 28 stipule que l'État et les communes établissent et mettent à jour de manière régulière la cartographie des zones inondables qui doit être portée à la connaissance des populations par tout moyen approprié. Dans la pratique, cette cartographie n'est pas portée à la connaissance des populations. À Ouagadougou par exemple, seule la présence de bornes de délimitation des zones inondables permet de se repérer sur le terrain. Bien qu'une cartographie existe au niveau des services de l'urbanisme, elle n'a pas été diffusée à grande échelle ce qui fait d'ailleurs que certains services de la Direction Générale des Services Techniques Municipaux (DGSTM) n'ont pas la

cartographie à disposition. Pourtant, les cartes et autres représentations de l'information géographique se sont révélées dans plusieurs études être des moyens appropriés de sensibilisation et de prise de conscience des populations des risques auxquels elles sont exposées (Bonaccorsi et al., 2018; Bourhis, 2007).

8.2.2. Le cadre juridique malien

8.2.2.1. Présentation générale

Il n'existe pas au Mali un cadre juridique spécialement dédié à la réduction de risques de catastrophes. Les textes qui peuvent avoir un lien avec cette gestion des risques se retrouvent dans les lois sur l'urbanisme, la gestion de la ressource en eau, la promotion immobilière, la protection civile et la construction. On peut citer entre autres :

- *L'ordonnance n° 98-027/P-RM du 25 août 1998* ratifiée par la loi n° 98-058 du 17 décembre 1998. Elle crée la Direction nationale de l'Assainissement et du Contrôle des Pollutions et des Nuisances (DNACPN).
- *La loi n° 93-008* déterminant les conditions de la libre administration des collectivités territoriales, modifiée par la loi n° 96-056 du 16 octobre 1996 : elle stipule que l'hygiène et l'assainissement (qui peuvent influencer sur l'occurrence des inondations) font partie des compétences générales transférées aux collectivités dès leur création.
- *La loi n° 99-040 du 10 août 1999* régissant la promotion immobilière : elle encadre le domaine de la promotion immobilière au Mali et clarifie les dispositions en matière de construction à usage d'habitation ou professionnel.
- *La loi n° 02- 006 du 31 janvier 2002* portant code de l'eau. Elle attribue à l'administration chargée de l'eau l'élaboration et la mise en œuvre du plan de prévision et d'annonce des crues et de prévention des inondations (article 40). Elle fixe également les règles de protection du domaine hydraulique en rapport avec les mesures d'assainissement du milieu naturel (section 1) et la lutte contre les inondations (section 2).
- *La loi n° 02-016 du 3 juin 2002* fixant les règles générales de l'urbanisme : elle détermine les dispositions en matière de planification et d'opérationnalisation du développement urbain, de même que les infractions et sanctions applicables.

- *La loi n° 06-004 du 6 janvier 2006* portant modification de l'ordonnance n° 98-026/P-RM du 25 août 1998 portant création de la Direction Générale de la Protection Civile (DGPC). Elle charge entre autres la DGPC de l'organisation, de la coordination et de l'évaluation des actions de prévention des risques et de secours en cas de catastrophes.
- *La loi n° 2012-007 du 7 février 2012* (modifiée par la loi n° 2014-052 du 14 octobre 2014 et la loi n° 201-013 du 10 mai 2016), portant Code des Collectivités territoriales : elle consacre les communes, cercles et régions comme collectivités territoriales et fixe leurs compétences. La gestion de l'hygiène publique, de l'assainissement et de l'hydraulique urbaine, qui peut avoir un lien avec les inondations, est par exemple mentionnée comme étant de la responsabilité des communes.
- *La loi n° 2017-038 du 14 juillet 2017* portant modification de loi n° 01-077 du 18 juillet 2001 fixant les règles générales de la construction et ses décrets d'application. Elle s'applique aux constructions, aux matériaux, aux produits et aux composantes de construction, de même qu'aux parcelles ainsi qu'aux installations et équipements.

Ces lois sont mises en application au travers d'un cadre réglementaire constitué de décrets, d'arrêtés et de circulaires parmi lesquels nous avons :

- *La lettre circulaire n° 10/DB-G.D*, adoptée en 1993, relative à la réglementation des interventions des organisations de ramassage des ordures ménagères dans le district de Bamako.
- *Le décret n° 98-293/P-RM* du 08 septembre 1998 fixant l'organisation et les modalités de fonctionnement de la Direction nationale de l'Assainissement et du Contrôle des Pollutions et des Nuisances (DNACPN).
- *Le décret n° 99-185/P-RM* du 05 juillet 1999 fixant l'organisation et les modalités de fonctionnement de la Direction nationale de l'Hydraulique (DNH)
- *le décret n° 01-394/P-RM* du 6 septembre 2001 fixant les modalités de gestion des déchets solides ; ce décret fut adopté en prélude de la politique nationale d'assainissement.
- *Le décret n° 10-376/P-RM* du 12 juillet 2010 portant modification du décret n° 08-766/P-RM du 26 décembre 2008 portant réglementation de la délivrance du permis de construire

- *Le décret n° 2015-0887/P-RM* du 31 décembre 2015 portant organisation des secours en République du Mali
- *Le décret n° 2015-0889/P-RM* du 31 décembre 2015 déterminant le plan d'organisation des secours au Mali
- *Le décret n° 2016-0974/P-RM* du 27 décembre 2016 portant création, organisation, attributions et modalités de fonctionnement de la plateforme nationale pour la réduction des risques de catastrophe au Mali

8.2.2.2. Analyse du cadre juridique au Mali

L'analyse du cadre juridique au Mali, inspirée d'un rapport du PGRCI (2020) et de notre propre lecture de la situation malienne, montre ses limites à saisir les risques et des insuffisances dans la cohérence globale des textes.

Globalement on peut retenir comme limite majeure au cadre juridique du Mali l'inexistence d'un cadre législatif pour la réduction des risques naturels. Les lois adoptées concernent en effet la préparation et la réponse aux urgences, notamment les bases de fonctionnement de structures comme la DGPC et ses démembrements ainsi que les outils de planification des secours comme le plan ORSEC.

Par ailleurs, dans le domaine de l'urbanisme, le cadre juridique se caractérise par un manque de dispositif réglementaire fixant les zones non aedificandi*. Aussi, on note des difficultés de contrôle et de respect des servitudes d'urbanisme du fait de l'absence d'un cadre réglementaire synthétique en la matière (inexistence de code de l'aménagement, de l'urbanisme et de l'habitat). De plus, malgré les inondations récurrentes et catastrophiques qu'a connues la ville de Bamako ces dernières années, le législateur n'a toujours pas statué sur l'identification et la cartographie des zones inondables ni sur l'adoption d'un cadre réglementaire relatif à l'installation en zone inondable.

Concernant le secteur de la construction, de la promotion immobilière et du foncier, on note plusieurs insuffisances :

- ✓ l'absence de prise en compte de la dimension spatiale du développement dans la loi fixant les règles générales de construction.
- ✓ L'absence de dispositions permettant de faire le lien entre la procédure d'instruction de la demande de permis de construire et les prescriptions de l'urbanisme opérationnel.

- ✓ L'absence d'un dispositif d'encadrement de l'autoconstruction
- ✓ Le non-respect des textes liés à l'identification de la vocation de chaque zone urbaine, ainsi que l'étalement urbain et l'occupation anarchique de l'espace
- ✓ La non-prise en compte des questions de risque dans les textes régissant la promotion immobilière

Par ailleurs, la politique nationale d'assainissement élaborée en 2009 faisait déjà état d'un manque de cohérence entre les textes existants en matière d'eau, assainissement et environnement et des difficultés à les appliquer. Par exemple, l'ordonnance de création de la Direction nationale de l'Hydraulique (Ordonnance n° 99-04/P-RM du 1er avril 1999) ne fait pas mention dans les attributions de cette direction du volet assainissement alors que le décret d'application y fait référence (Décret n° 99-185/P-RM du 5 juillet 1999, article 8 et 9). Pourtant, certains autres décrets octroient la responsabilité de l'assainissement à la DNACPN qui relève du ministère de l'Environnement, de l'Assainissement et du Développement durable (MEADD). D'autres textes octroient cette même responsabilité de l'assainissement à la DNH appartenant au ministère de l'Energie et de l'Eau, ce qui pose un problème de cohérence et de chevauchement de compétences. On peut noter également comme limites de la réglementation l'absence d'un code de l'environnement ainsi que d'un code de l'hygiène publique et de l'assainissement, qui auraient tous deux permis de clarifier la gestion de l'environnement au Mali et de limiter les incohérences.

8.3. Les cadres politiques nationaux pour la gestion des inondations : politiques, stratégies et instruments opérationnels pour la gestion des risques et catastrophes

8.3.1 La politique nationale de l'eau

La politique nationale de l'eau adoptée en 2015 au Burkina Faso et en 2006 pour le Mali est un document permettant d'orienter la vision de la gestion des ressources en eau au niveau national et transfrontalier. Cette politique intervient dans la gestion des inondations à travers la déclinaison d'objectifs spécifiques. Ainsi, un de ses objectifs spécifiques dans chacun des pays (objectif spécifique n° 3 au Mali et n° 4 au Burkina Faso) est d'assurer la protection des hommes et des biens contre les actions agressives de l'eau. La prise en compte de la gestion des catastrophes est également déclinée au travers d'une des orientations stratégiques visant à réduire les risques liés à

l'eau. L'atteinte de cet objectif implique une meilleure connaissance des risques, la mise en œuvre de mesures préventives et l'amélioration de la gestion des situations de crise.

8.3.2. La politique nationale de la protection civile

Les questions de protection civile particulièrement en période de crise touchent plusieurs acteurs rendant complexe leur coordination. Pour pallier les difficultés liées à la multiplicité des acteurs, une politique nationale encadrant les actions et définissant les axes stratégiques de protection civile a été élaborée dans chacun des deux pays.

Adoptée au Burkina Faso par Décret n° 2010-27565/PRES/PM/MATD du 21 septembre 2010, cette politique a pour but d'assurer aux citoyens une protection efficace contre les risques courants et les risques majeurs qui peuvent menacer leur sécurité et celle de leurs biens.

Au Mali, elle s'inscrit dans un cadre plus général intitulé « politique nationale de sécurité intérieure et de protection civile du Mali » et a pour objectif général d'assurer la sécurité de l'État, des personnes et des biens, ainsi que la promotion de la paix sociale. Un de ces axes stratégiques en lien avec la gestion des risques est le renforcement des capacités nationales en matière de prévention et gestion des catastrophes. Cela passe par la sensibilisation aux conséquences dramatiques de certains comportements et l'éducation des populations dans leurs comportements quotidiens face aux risques de catastrophes.

8.3.3. Les stratégies nationales burkinabè et malienne sur les risques de catastrophes

Pour soutenir les politiques nationales de gestion territoriale, la mise en place d'une stratégie nationale de prévention des risques de catastrophes s'alignant sur le mode de planification international et appuyée de plans d'action clairement établis s'est révélée nécessaire dans les deux pays d'étude.

Ainsi, au Burkina Faso, la Stratégie nationale de prévention et de gestion des risques, des crises humanitaires et des catastrophes est un document de référence* qui a pour objectif de permettre au pays de mieux gérer les risques, les crises humanitaires et les catastrophes. Cette stratégie a été adoptée par le gouvernement pour une durée de 5 ans (de 2013 à 2017). Au Mali, ce document adopté en 2016 est intitulé « Stratégie nationale de réduction des risques de catastrophes », et vise le même objectif.

Ces stratégies rassemblent l'ensemble des dispositions en vigueur en matière de gestion des risques qui permettent de donner un sens et un cadre général aux politiques nationales. Elles affichent de plus les priorités définies au niveau national. La mise en œuvre de ces stratégies nationales est effectuée au travers d'une planification qui s'appuie sur des documents de référence et des dispositifs en matière de préparation, de réponse et de rétablissement. Il s'agit de mettre en place un cadre qui repose sur divers plans et dispositifs établis soit pour s'adapter aux risques (plan national d'adaptation), soit pour alerter (Système d'alerte précoce), organiser les secours pendant la crise (plans ORSEC), prévenir, gérer les risques et assurer la reconstruction et le relèvement (plans de contingence).

8.3.3.1 Plans nationaux d'adaptation (PNA) aux changements climatiques

Le PNA poursuit au Burkina Faso l'objectif de réduire la vulnérabilité aux impacts des changements climatiques en développant les capacités d'adaptation et de résilience des populations. Il vise également l'intégration de l'adaptation aux changements climatiques d'une manière cohérente, dans les politiques, programmes ou activités, et dans les processus particuliers de planification du développement. Un Programme d'Action National d'Adaptation (PANA) permet de sélectionner les actions prioritaires à mettre en œuvre pour l'atteinte des objectifs.

Au Mali, les mesures d'adaptation aux changements climatiques sont cadrées par le Programme d'Action National d'Adaptation (PANA) aux changements climatiques. Il donne un aperçu des activités prioritaires à entreprendre pour faire face aux besoins et préoccupations majeures dans l'optique d'une adaptation aux effets néfastes des changements climatiques. Une politique nationale sur les changements climatiques a également été élaborée avec comme objectif de permettre au Mali de faire face aux défis des changements climatiques en assurant un développement durable du pays. Parmi les objectifs spécifiques de cette politique, le renforcement de la capacité d'adaptation et de résilience des systèmes ainsi que des capacités de prévention et de gestion des risques et catastrophes naturelles est clairement mentionné.

8.3.3.2. Le plan de contingence national

C'est un outil de gestion destiné à la préparation et à la réponse aux catastrophes. Il s'inscrit en première étape du cycle de préparation de la réponse en abordant les grandes lignes de la

planification et de la gestion des risques au niveau national. Du plan de contingence national découlent divers plans décentralisés au niveau du territoire en fonction du découpage administratif. Dans les deux pays, il est prévu une sollicitation des régions à travers un plan de contingence régional lorsque le nombre de sinistrés est inférieur à 500 personnes, quel que soit le type de catastrophe. Au-delà, les structures nationales prennent le relais. Le plan national de contingence multirisque de préparation et de réponses aux catastrophes a plusieurs objectifs à savoir :

- ❖ clarifier les relations/responsabilités entre les différents services techniques de l'État et les partenaires humanitaires ;
- ❖ faciliter la coordination des actions et permettre une mise en cohérence des plans sectoriels ;
- ❖ identifier et diminuer les risques les plus probables ;
- ❖ offrir un cadre général de planification conjointe couvrant les risques d'urgence ;
- ❖ intégrer le processus de préparation et de réponse aux urgences dans les plans et programmes nationaux de développement ;
- ❖ réduire les délais d'intervention et le nombre de pertes de vies humaines.

Pour ce qui est du Burkina Faso, la coordination des activités de préparation aux catastrophes et aux inondations en particulier incombe au secrétariat permanent du Conseil National de Secours d'Urgence et de Réhabilitation (CONASUR) en association avec la DGPC. Elle est cependant de la responsabilité de la Direction Générale de la Protection Civile (DGPC) au Mali. Les plans de contingence du Burkina Faso et du Mali ont été élaborés sensiblement à la même période (respectivement en 2009 et en 2010). Ils constituent des instruments de référence en matière de prévention et de gestion des catastrophes mettant en synergie les différents acteurs pour une gestion intégrée des risques.

Ces plans de contingence ont également vocation à assurer une coordination des phases de reconstruction et de relèvement. La planification du relèvement à la suite d'une catastrophe est en effet depuis plusieurs années identifiée par les institutions nationales et internationales comme un élément primordial de la gestion des risques. L'objectif de cette planification est d'assurer un relèvement précoce à la suite de catastrophe qui permette de restaurer et renforcer les capacités des communautés à mener une période de transition à long terme (World Bank, 2010).

8.3.3.3. Les Plans d'Organisation des Secours (ORSEC)

Ils constituent le principal outil de gestion de la réponse aux catastrophes et se déploient au niveau national à la fois au Burkina Faso et au Mali. Ils sont déclenchés dans les deux pays par les ministres en charge de la protection civile (le ministère de l'Administration territoriale et de la décentralisation - MATD au Burkina Faso et le ministère de la Sécurité et Protection Civile- MSPC au Mali). Les plans ORSEC sont destinés à la mise en œuvre des moyens de secours nécessaires pour faire face aux accidents, sinistres et catastrophes et à la préparation des mesures de sauvegarde. Ils sont déployés de façon décentralisée dans les deux pays, au niveau national, régional, provincial et communal pour ce qui est du Burkina Faso et aux niveaux national, régional, local (cercle) et communal pour ce qui est du Mali.

Les plans ORSEC sont constitués :

- ❖ D'un inventaire des risques accompagné d'une analyse de leurs effets potentiels sur la sécurité des personnes, de l'environnement et des biens
- ❖ D'un dispositif opérationnel qui organise la réponse des pouvoirs publics en cas de survenue d'une catastrophe identifiée dans l'inventaire
- ❖ De l'ensemble des modalités de préparation et d'entraînement des personnes publiques et privées afin de leur permettre d'assurer leur mission de protection civile

Au Burkina Faso, le fonctionnement des plans ORSEC a été défini par deux arrêtés interministériels, un arrêté ministériel et une circulaire :

- L'Arrêté conjoint n° 2011-010/MATD/MASSN du 28 mars 2011 portant modalités de déclenchement, de mise en œuvre et de levée du plan ORSEC national ;
- L'Arrêté conjoint n° 2011-011/MATD/MASSN du 28 mars 2011 portant organisation des opérations de secours ;
- La circulaire n° 2011-036/MATD/SG/DGPC du 5 avril 2011, adressée à tout Gouverneur, tout Haut-commissaire et tout Maire, relative à la mise en œuvre des plans ORSEC ;
- L'arrêté n° 2012-043/PM/CAB portant composition du comité de crise, des cellules d'appui et des groupes opérationnels du Plan ORSEC national.

Au Mali, les textes qui définissent l'organisation des secours concernent :

- Le Décret n° 2015-0889/P-RM du 31 décembre 2015 déterminant le plan d'organisation des secours au Mali plan ORSEC ;

- Le Décret n° 2017 -0798 -PM-RM du 19 septembre 2017 fixant la composition et les modalités de fonctionnement du Comité interministériel de Gestion de Crises et Catastrophes.

Ils sont complétés dans les deux pays de plans de contingence multirisque nationaux et de plans sectoriels pour prendre en compte les missions de prévention, d'assistance humanitaire, de réhabilitation et de reconstruction dans la gestion des catastrophes. Ces documents doivent être mis en cohérence pour une gestion idoine des catastrophes.

8.3.3.4. Le système d'alerte précoce (SAP)

C'est un dispositif qui permet d'alerter à temps les autorités, les personnes et les structures compétentes de l'imminence d'un risque de catastrophe. Ce système permet d'apprécier l'ampleur des risques, de circonscrire les localités probablement touchées et de déterminer les moyens les plus adéquats pour l'intervention. Il s'agit d'un important outil d'aide à la décision nécessaire pour la prévision et la gestion des catastrophes liées aux inondations. Un système d'alerte précoce peut également concerner les alertes liées au risque sanitaire et/ou alimentaire.

Les structures membres d'un SAP participent chacune selon son domaine de compétence à la collecte et à la fourniture d'information à la cellule de coordination du SAP, qui est chargée à son tour de produire un rapport sur la situation.

L'alerte fait intervenir ainsi plusieurs acteurs à Ouagadougou et à Bamako qui recueillent des données météorologiques et hydrologiques. Au Mali, les mandats concernant la surveillance, la prévision et l'alerte sont partagés entre la Direction nationale de la Météorologie (DNM) et la Direction nationale de l'Hydraulique (DNH). Ainsi, la prévision météorologique est assurée par la DNM et le suivi des débits et niveaux des cours d'eau est assuré par la DNH. Au Burkina Faso, l'Agence Nationale de la Météorologie est chargée des informations météorologiques et le service hydrologique de la Direction des Études et de l'Information sur l'Eau (DEIE) est chargé des données hydrologiques. La DEIE fait partie intégrante de la Direction Générale des Ressources en Eau (DGRE) de laquelle elle relève. Pour le Mali, il existe à l'heure actuelle un système d'alerte précoce assez performant concernant la sécurité alimentaire et la gestion des stocks. Il n'est cependant pas fédéré aux autres systèmes d'alerte de la santé, de la météo et de l'hydrologie. Le Mali ambitionne cette fédération pour avoir des informations précises sur son territoire. Cette fédération de SAP permettra ainsi de mieux comprendre et localiser les aléas, assurer une veille

permanente et une prévision des risques et transmettre l'alerte aux autorités compétentes et à la population. Le même constat est fait au Burkina Faso où le SAP fonctionnel existant concerne le domaine agroalimentaire.

8.3.4. Analyse du cadre politique national de gestion des inondations au Mali et au Burkina Faso

La gestion des inondations au Mali et au Burkina Faso est directement cadrée par 3 principaux documents de référence au regard de nos résultats. Il s'agit de la politique nationale de l'eau qui permet une prévention des inondations en identifiant les zones inondables et en renforçant les systèmes de prévisions, de la politique de protection civile qui œuvre dans la gestion des crises et de la stratégie nationale sur les risques de catastrophes. Ces documents de référence appartiennent au droit « souple » ou *soft Law* en anglais qui rassemble un ensemble de textes non contraignants, mais dont les effets juridiques restent pour autant présents. Ce droit souple pour être efficient doit s'appuyer sur des textes règlementaires (droit « dur » ou *hard Law*). Au Burkina Faso, le cadre juridique contraignant en matière de réduction des risques de catastrophes (RRC) a été renforcé après les grandes inondations de 2009. Au Mali cependant, on note l'absence de ce côté contraignant des textes en lien avec la gestion des risques de catastrophes, ce qui peut contribuer à rendre le territoire vulnérable.

Par ailleurs au Mali, la stratégie nationale sur les risques de catastrophe repose sur le renforcement de la résilience des populations avec pour objectif de contribuer à la réduction de la pauvreté et au développement durable. Bien que nourrissant des ambitions nobles pour une gestion idoine des inondations, cette stratégie renferme quelques insuffisances notables. D'une part nous notons une faiblesse des textes en lien avec un manque de prise en compte du relèvement, ainsi que l'absence d'un plan d'action précis. Aussi, l'analyse de la stratégie permet de relever un manque de conformité avec d'autres documents internationaux comme le cadre d'action de Sendai. Cette stratégie a en effet été développée depuis 2013 et a mis pratiquement 3 années à être adoptée, ce qui fait qu'en l'état, elle ne prend pas en compte les recommandations du Cadre d'Action de Sendai. D'autre part, on note un cadre de financement qui laisse à désirer. Au Burkina Faso, la stratégie est focalisée plutôt sur la gestion de catastrophes en situation d'urgence et aborde très peu les questions de réduction des risques, de relèvement, de reconstruction et de réhabilitation. Aussi, tout comme

au Mali, on note une discordance entre la stratégie et les lignes directrices du cadre d'action de Sendai, qu'une révision de la stratégie devrait permettre de résorber.

En outre, il n'existe pas pour l'heure de politiques nationales pour la réduction du risque de catastrophe ni au Mali ni au Burkina. Pourtant, leurs mises en œuvre auraient permis d'avoir une vision globale de la gestion des risques au niveau des territoires, qui tiennent compte des changements climatiques, de l'organisation des secours et de l'alerte précoce. Ces aspects sont abordés de façon disparate dans divers documents de planification qui gagneraient à être mis en cohérence pour plus d'efficacité. Aussi, l'efficacité des politiques mises en œuvre dans les deux territoires en matière de gestion des inondations reste fortement liée au cadre politique de gestion territorial global notamment en lien avec l'assainissement et l'urbanisme. Nous analysons ces aspects dans les sections suivantes.

8.4. La gestion des inondations à l'épreuve des politiques d'assainissement et d'urbanisme

En matière de gestion des risques d'inondation, la meilleure des politiques consiste en une gestion préventive des crues qui passe en partie par une maîtrise de l'urbanisation et de l'occupation du sol. En effet, l'aménagement urbain reste un enjeu majeur de la gestion des risques particulièrement au Sahel où l'essor démographique important impacte durablement le processus d'urbanisation. À travers l'installation anarchique des populations urbaines au Sahel, on note une diminution des espaces de liberté et zones d'expansion des cours d'eau, ce qui peut engendrer des inondations. Par ailleurs, l'assainissement intervient comme catalyseur de certaines catastrophes notamment les inondations, particulièrement en zone urbaine où la concentration de population crée des problèmes de salubrité plus marqués. Les mesures adoptées en matière d'assainissement telles que l'entretien des cours d'eau permettent d'intervenir sur l'aléa et ainsi de mieux gérer le risque inondation.

En somme, les questions urbaines sont étroitement liées à la planification spatiale du territoire et de ce fait doivent s'inscrire dans un cadre plus global d'aménagement du territoire. Pour ce faire, tous les documents de planification élaborés à l'échelle urbaine doivent être mis en cohérence avec les politiques et stratégies nationales. Nous rappelons quelques-unes d'entre elles.

8.4.1. La politique nationale de l'Aménagement du territoire (PNAT)

La Politique nationale de l'Aménagement du Territoire (PNAT) élaborée par les Gouvernements malien et burkinabè répond aux besoins des États de déterminer les orientations, les directives, les instruments et la stratégie de mise en œuvre des actions de développement du territoire national. Elle rassemble dans les deux pays les références spatiales permettant à tous les acteurs qui participent au développement territorial de s'adapter et de se focaliser sur les réalités locales. Les politiques d'aménagement du territoire sont censées concourir à l'unité nationale en inspirant les stratégies sectorielles, assurant leur cohérence et leur équilibre sur le territoire. Elles permettent une harmonisation et une articulation des instruments (plans et programmes) pour aboutir au progrès social, à l'efficacité économique et à l'intégration des populations. Pour répondre à cette ambition, plusieurs documents sont élaborés avec au niveau national le Schéma National d'Aménagement du Territoire ⁴¹ et en milieu urbain les schémas directeurs d'aménagement et d'urbanisme. Au Mali, la prise en compte des questions urbaines et environnementales est mentionnée comme choix stratégique dans la PNAT. Ces questions se matérialisent en effet dans plusieurs orientations de la politique. Il s'agit de la volonté d'une maîtrise de la croissance et de l'étalement des villes, la promotion d'une armature urbaine au profit d'un développement harmonieux du pays, ainsi que la protection de l'environnement et la lutte contre les effets néfastes des changements climatiques.

8.4.2. Les politiques nationales en matière de développement urbain au Mali et au Burkina Faso

Au Burkina Faso, le développement urbain s'inscrit dans le cadre de la Politique nationale de l'Habitat et du Développement Urbain (PNH DU) élaborée par le Gouvernement en 2007 et adoptée le 7 mai 2008 en Conseil des ministres. La politique nationale de l'habitat et du développement urbain a pour objectif général de créer les conditions pour l'amélioration du cadre de vie des populations en renforçant la contribution des villes à la lutte contre la pauvreté.

⁴¹ Le SNAT détermine la destination générale des terres ainsi que la localisation et la nature des grands équipements sur le territoire national

Cela passe par l'atteinte de trois objectifs spécifiques définis à savoir :

- Faire des villes du Burkina Faso des pôles de croissance économique et de développement ;
- Assurer l'accès de logements décentes aux couches sociales défavorisées ;
- Contribuer à lutter contre la pauvreté urbaine.

La PNHDU traite des points suivants :

- le diagnostic du domaine de l'habitat et du développement urbain au Burkina Faso à différentes périodes ;
- les problématiques du secteur de l'habitat et du développement urbain. Elles ont trait à la définition plurielle de la notion de ville et d'armature urbaine, à la production de logement et à la gestion urbaine ;
- l'équipement, l'économie et la pauvreté ;
- le cadre institutionnel et réglementaire du secteur de l'habitat et du développement urbain et leurs enjeux.

L'élaboration de la PNHDU a pour finalité de dégager une démarche et un plan opérationnel à même de réduire progressivement l'impact des dysfonctionnements dans le domaine de l'habitat et de l'urbanisme au Burkina Faso.

Au Mali, la politique menée en matière de développement urbain s'inscrit dans le cadre de la Politique Sectorielle de Développement Urbain (PSDU). Elle a pour objectif de créer les conditions pour améliorer le cadre de vie des populations, en renforçant particulièrement la lutte contre la pauvreté urbaine. Sa mise en œuvre qui repose sur la Stratégie de Développement des Villes a été projetée à travers trois objectifs spécifiques :

- créer les conditions de maîtrise de la croissance des villes ;
- améliorer les conditions de vie dans les villes en renforçant la lutte contre la pauvreté urbaine ;
- valoriser le patrimoine culturel national pour un développement plus harmonieux des villes.

En matière de gestion urbaine, pour l'heure, aucune des politiques ne traite spécifiquement des questions liées aux changements climatiques ni de leur prise en compte dans les opérations d'aménagement, ce qui constitue une limite. Par ailleurs, pour parvenir à un contrôle de

l'occupation du sol et sur la base des politiques suscitées, plusieurs documents de planification ont été élaborés. Ces documents sont analysés dans les sections qui suivent.

8.4.2.1. Le Schéma directeur d'aménagement et d'urbanisme

C'est l'instrument de planification par excellence de l'urbanisme au niveau des agglomérations. Il fixe les orientations pour le développement à moyen et long terme de ces pôles urbains.

❖ Le cas particulier du grand Ouaga

Face aux enjeux de planification urbaine auxquels sont de plus en plus confrontées la capitale burkinabè et ses communes limitrophes, les autorités burkinabè ont développé l'initiative de s'organiser en intercommunalité autour de la dénomination « Grand Ouaga ». Le grand Ouaga est un espace géographique formé par la commune urbaine de Ouagadougou et ses sept communes rurales périphériques que sont Komki Ipala, Komsilga, Koubri, Loumbila, Pabré, Saaba, et Tanghin-Dassouri (Figure IV-1).

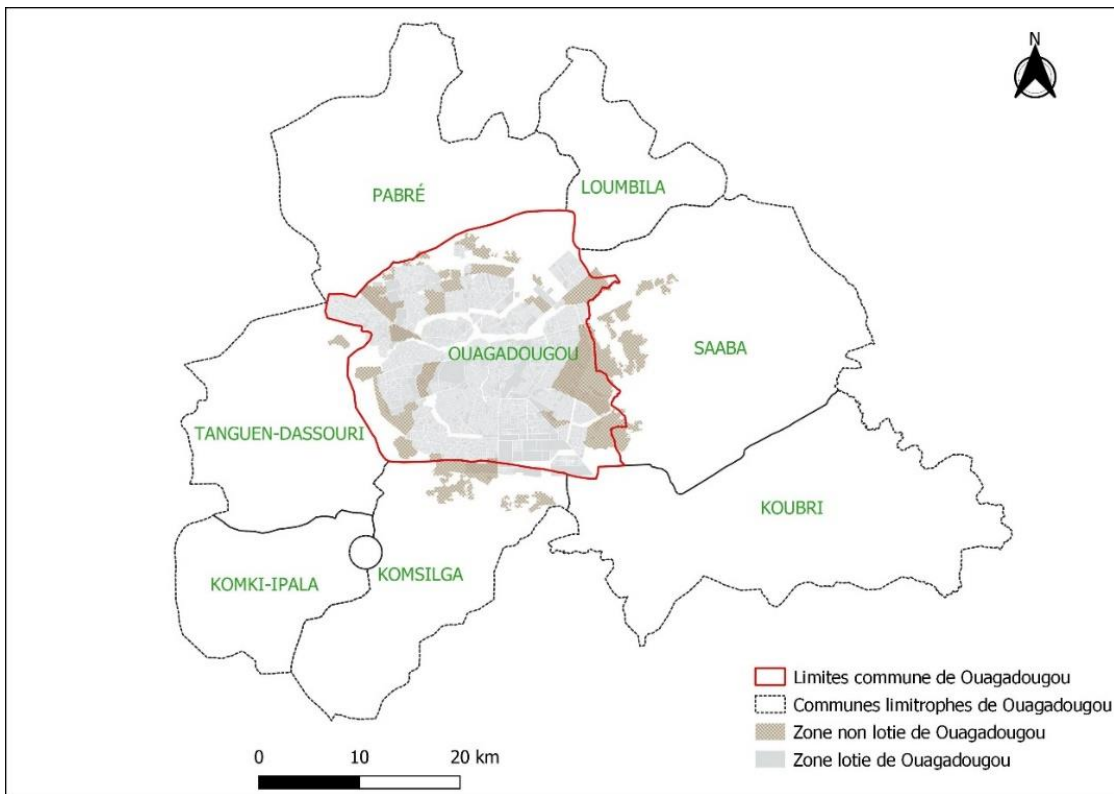


Figure IV-1 : L'intercommunalité du Grand Ouaga

Ce projet d'intercommunalité répond au besoin de freiner l'immigration des villages ruraux alentour en direction de Ouagadougou, qui pourrait entraîner un accroissement des fronts d'urbanisation irrégulière au niveau de la ville. Devant l'ampleur de ce projet et en parallèle du SDAU de la commune de Ouagadougou, il a été élaboré d'abord un Schéma d'Aménagement de la Banlieue de Ouagadougou (SABO) qui visait la mise en valeur de villages limitrophes de Ouagadougou. À la suite de ce SABO, le Schéma directeur d'Aménagement du Grand Ouaga (SDAU-Grand Ouaga ou SDAGO) a vu le jour. L'idée derrière ce SDAGO est de préparer l'avenir de la capitale burkinabè en favorisant le développement de nouvelles centralités pour désengorger la ville, en densifiant les espaces existants et en jugulant l'extension de l'agglomération par l'absorption de communes riveraines.

Un autre document de planification a été élaboré dans le cadre des orientations du SDAU. Il s'agit du plan d'occupation du sol de la ville de Ouagadougou. Il fixe les règles générales et les servitudes d'utilisation du sol qui peuvent comporter jusqu'à l'interdiction de construire. Il a par ailleurs défini sept centralités au sein de la commune de Ouagadougou, qui devront accueillir de nouvelles activités, en préservant leur vocation initiale d'habitat. Il s'agit d'orienter le développement et la croissance dans une logique de déconcentration du centre-ville. Cependant, ce POS rédigé en 2012 n'a jamais été adopté du fait des différents blocages qui se sont présentés. Il est maintenant dépassé et demande à être actualisé, ce qui a été amorcé depuis juillet 2020.

❖ La planification de l'urbanisme à Bamako et la création d'une intercommunalité

Le Schéma directeur d'Aménagement et d'Urbanisme de Bamako élaboré en 1981 et révisé à trois reprises (1990 ; 1995 ; 2005) regroupe les stratégies de mise en œuvre des orientations relatives à l'aménagement de l'agglomération de Bamako dans le domaine sectoriel, foncier, financier et institutionnel. Il se traduit dans d'autres documents d'urbanisme utilisables par les collectivités et qui concernent :

- Le Plan d'Urbanisme Sectoriel : Il s'agit d'un document de planification urbaine de second degré qui détaille le contenu du schéma directeur d'urbanisme tout en précisant les règles et servitudes d'occupation des sols. Il sert aussi de cadre de référence pour les opérations d'Urbanisme. Le SDAU de Bamako a prévu l'élaboration de six plans

d'urbanisme sectoriel couvrant chacun une commune. Le SDAU fixe la vocation première des sols tandis que les PUS ont pour objectif d'en détailler le contenu.

- Les opérations d'Urbanisme : Ils concernent le lotissement, la réhabilitation, la rénovation et la restructuration.

Aussi, un nouveau schéma directeur de Bamako et ses environs est envisagé depuis 2018 par le ministère de l'habitat et de l'urbanisme pour prendre en compte certains enjeux de développement. Il s'agit entre autres de l'aménagement des servitudes du fleuve Niger, la gestion des déchets, la libération et l'aménagement des collecteurs naturels, la poursuite de programme de logements sociaux et la protection de l'environnement.

De plus, des réflexions sont actuellement en cours pour la mise en œuvre d'un projet de double réforme au niveau de la gestion urbaine de Bamako. Il s'agit d'une part de faire du district de Bamako une mairie centrale de laquelle relèveront les six mairies communales transformées en arrondissements selon le modèle de Ouagadougou. Cette option vise à résoudre les problèmes administratifs causés par l'organisation bicéphale de la ville. Cependant, cette réforme est contestée par plusieurs maires et partis politiques, qui la perçoivent comme un calcul politique de l'État central pour reprendre la main. Pourtant, l'indépendance actuelle des six communes de Bamako ne facilite pas la planification du territoire et la gestion des risques naturels. D'autre part, les acteurs urbains envisagent la création d'une intercommunalité dénommée « Grand Bamako », qui permettrait le rattachement des communes limitrophes de Bamako, afin de pouvoir répondre aux questions foncières de plus en plus tenaces.

8.4.2.2. Les réformes foncières : impacts sur la gestion des inondations à Ouagadougou et Bamako

❖ Cadre juridique du foncier au Mali

L'ordonnance n° 00-27 du 22 mars 2000, modifiée par la loi n° 02-008 du 12 février 2002, définit les principes directeurs du code domanial et foncier du Mali. Elle mentionne que le domaine national du Mali comprend les domaines publics et privés de l'État malien, les domaines publics et privés des collectivités territoriales et le patrimoine foncier des autres personnes, physiques ou morales. En son article 9, le code stipule que les riverains des cours d'eau non navigables ni flottables sont soumis à une servitude de passage sur une zone de dix mètres de large sur chaque rive. Les servitudes des cours d'eau navigables sont assujetties d'une zone de passage de 25 m de

large à partir des limites de chaque rive. En outre, toute infraction à l'exercice des servitudes d'utilité publique est passible d'une amende de 3000 à 18 000 FCFA et/ou d'un emprisonnement de 1 à 10 jours, le tout sans préjudice de réparation des dommages causés ou de la démolition aux frais du contrevent des ouvrages indûment établis dans le domaine public et dans les zones de servitudes (Art 25). Cependant, le code domanial et foncier ne mentionne nulle part la délimitation de servitudes non aedificandi, nécessaire pour empêcher les populations de s'installer en zone inondable et se mettre en danger.

Par ailleurs, le cadre juridique de la gestion foncière au Mali reconnaît diverses catégories de droits fonciers (le droit de propriété privé, les droits coutumiers exercés collectivement ou individuellement et le domaine foncier de l'État et des collectivités territoriales). Cependant, cette gestion foncière est confrontée à plusieurs limites. En effet, certaines dispositions des textes restent inadéquates aux réalités locales, et renferment des imprécisions et des ambiguïtés qui ne facilitent pas la gestion. Par exemple, le code reconnaît le droit coutumier (article 43). Cependant, il le classe dans le domaine privé de l'État, mais prévoit dans le même temps les garanties de ce droit, comme l'application de la procédure d'expropriation pour cause d'utilité publique. Cette incohérence pose problème, car normalement le domaine de l'État ne peut faire l'objet d'une expropriation puisqu'il est censé en être le propriétaire. En outre, certains textes relatifs à la gestion domaniale restent assez clairs, mais il se pose le problème de leur application sur le terrain :

La réglementation existe, mais la mise en œuvre est difficile, car nous sommes dans un milieu traditionnel. Donc c'est difficile. Car c'est tout le monde qui le fait [transgresse les règles] ; tu vas sanctionner qui et laisser qui ? Il faut mettre l'accent sur la sensibilisation..

Responsable administratif Commune 4, Bamako.

Globalement, notre analyse des réformes domaniales nous permet d'abonder dans le sens des résultats des travaux de Djiré et Keita (2016). Pour eux, au Mali, *la gestion foncière est confrontée à plusieurs limites liées principalement à l'inadéquation de certaines dispositions légales aux réalités locales, l'inachèvement juridique et institutionnel, l'ambiguïté de certaines dispositions légales, la lenteur et le coût élevé des procédures d'enregistrement et d'acquisition de la propriété foncière, l'absence de synergie entre structures intervenant dans la gestion foncière, la méconnaissance généralisée des textes.* Cette situation rend complexe le respect des lois et

expliquent en partie l'installation anarchique des populations dans le district et l'étalement urbain. Il s'en suit une augmentation de la vulnérabilité des populations bamakoises face aux risques inondation, du fait d'une désorganisation importante du secteur de l'urbanisme et du foncier.

Concernant l'urbanisation et la planification urbaine, l'analyse de la réglementation et de sa mise en œuvre opérationnelle fait ressortir que *ni les autorités au niveau central ni les collectivités territoriales décentralisées n'ont aucune maîtrise sur le foncier et n'exercent aucun contrôle du respect des servitudes malgré les énormes compétences qui leur ont été attribuées par le législateur pour initier les actions de planification et de gestion urbaine* (PGRCI, 2020). De plus, de décret portant fixation des modalités de mise en œuvre de la planification urbaine ne prend pas compte des zones marécageuses dans la description des espaces prévus dans le SDAU et les PUS. Ce vide juridique laisse la possibilité de réaliser des opérations d'urbanisme dans des périmètres non couverts par les schémas notamment en zone non aedificandi. Concernant les constructions, la loi se cantonne aux aspects techniques de la construction sans prendre en considération la dimension spatiale qui aurait permis d'éditer les dispositions applicables aux zones « non aedificandi » notamment les zones inondables.

❖ Réforme agraire et foncière (RAF) au Burkina Faso

Adoptée en Conseil des ministres le 2 juillet 2012, elle clarifie la composition du domaine foncier national, des collectivités, de l'État et des particuliers, les principes et orientations qui définissent la politique agraire et l'aménagement durable du territoire, et les principes de gestion du domaine foncier. Le domaine foncier a fait l'objet de plusieurs réformes au cours des dernières décennies (1984 ; 1996) au Burkina Faso. La dernière en date provient de la loi n° 034-2012/AN portant Réorganisation Agraire et Foncière (RAF) au Burkina Faso et répartit le domaine foncier national entre trois acteurs : l'État, les collectivités territoriales et les particuliers. Les modifications de textes n'ont pas été sans conséquence sur l'évolution du domaine foncier notamment à Ouagadougou d'après certains acteurs.

Avant, il y avait une protection. Si la Terre était restée propriété exclusive de l'État, il n'y aurait pas tous ces problèmes. Ils ont modifié la loi foncière pour dire que la Terre appartient aux propriétaires terriens. À cause de ça, n'importe qui peut vendre son terrain ce qui fait qu'aujourd'hui, il y a des villages où des populations n'ont plus rien [plus de terre]. Il faut revoir la loi sur le foncier et ses textes d'application.

Technicien en matière d'urbanisme, DG COAC à Ouagadougou.

Par ailleurs, on peut retenir de façon générale au Burkina Faso que la dotation de dispositions réglementaires en matière foncière et dans d'autres domaines reste satisfaisante. Cependant, il se pose, comme à Bamako, le problème de l'applicabilité des textes sur le terrain. Ceux-ci sont parfois ignorés et bafoués par les populations, les acteurs privés et même par les administrations publiques, ce qui aboutit à un développement urbain anarchique, source de vulnérabilité face aux risques. Pour ce qui est des sanctions, l'article 283 mentionne une amende de 1 à 10 000 000 et d'un emprisonnement de 3 mois à 3 ans pour toute personne habilitée qui procède à des cessions de terrain en violation des procédures légales. Cette amende est bien plus contraignante que celle mentionnée dans le code domanial du Mali (10 000 à 100 000 FCFA pour la première infraction). Le code malien est relativement laxiste sur les questions de fraude ce qui n'est pas pour améliorer la situation foncière. L'application rigoureuse de sanctions fortes est d'ailleurs préconisée par certains acteurs du territoire, même si les moyens de mise en œuvre ne suivent pas toujours :

Face à l'incivisme, il faut agir au plus vite en déguerpissant et empêcher les gens de s'installer. Si on tape dès qu'une personne s'installe, c'est plus facile que quand de nombreuses personnes se sont déjà installées. Il faut faire intervenir la force.

Services techniques DG COAC/urbanisme, Ouagadougou.

Aussi, on peut relever certains manquements dans la loi domaniale, notamment en ce qui concerne le risque inondation. Ainsi, l'article 143 mentionne que les mesures de protection du domaine public immobilier des collectivités territoriales sont constituées par la domanialité publique, les servitudes et l'immatriculation. Cependant la loi ne fait pas explicitement mention de l'affectation ou de l'occupation des zones à risque d'inondation en milieu urbain. De plus, les servitudes ne sont pas clairement définies dans la réforme agraire et foncière, toute situation qui laisse présager la non-préparation des acteurs à faire face à une inondation.

Au Burkina Faso cependant, le cadre réglementaire a clairement spécifié depuis les inondations de 2009 les zones inondables et submersibles non constructibles. Dans la pratique, les abords immédiats des cours d'eau ont souvent été aménagés ou occupés, que l'on soit à Ouagadougou ou à Bamako, augmentant ainsi la vulnérabilité en ville. Il se pose ainsi la problématique de la mise en application de la loi pour le cas de Ouagadougou et de l'existence même de cette loi pour certains types de zones à risque pour le cas de Bamako.

❖ Bilan de l'analyse du système foncier dans les deux villes

En définitive, il ressort de notre analyse du domaine foncier une coexistence entre lois coutumières et droit foncier au Burkina Faso et au Mali, ce qui complexifie la maîtrise de l'urbanisme. Plusieurs autres caractéristiques que nous avons mentionnées contribuent à créer un défaut de maîtrise foncière, qui favorise les constructions illégales de manière anarchique. Cette situation rend particulièrement difficile la desserte des zones urbaines en services essentiels et en infrastructures de base.

Dans le domaine de la promotion immobilière, plusieurs textes juridiques de planification existent. Mais ces textes, que l'on soit dans le contexte burkinabè ou malien, présentent la faiblesse de n'évoquer aucune disposition en lien avec la prévention des risques et catastrophes naturelles. Il n'y a donc pas d'obligation directe pour les promoteurs immobiliers de respecter les mesures de prévention des risques dans le cadre de l'exercice des contrats immobiliers. Par ailleurs, le secteur du lotissement comme mentionné plus haut est source de difficultés majeures à la fois au Burkina Faso et au Mali du fait de la spéculation foncière qui se joue et des différentes malversations observables sur le territoire. Pour résoudre ces problèmes de lotissements, l'initiative des relais-cité initiés au Burkina Faso (Ouattara, 2005) semble faire ses preuves et pourrait être une alternative à mettre en œuvre à Bamako et ses environs pour résorber les problèmes de logements. Datant de 1998, elle consiste à permettre un mode d'accès aux parcelles par un tirage au sort public dans la transparence et l'équité. La même idée était derrière l'attribution de logements sociaux à Yirimadio en commune 6 de Bamako, mais les critères d'attribution des parcelles ont entraîné l'exclusion de couches sociales à faibles revenus. De plus, le tirage transparent n'a pas été employé (Diallo, 2020).

Une autre solution proposée par le Burkina en matière foncière concerne la mise en place en 2020 d'une cellule technique pour permettre l'apurement du passif foncier. Ils ont abouti à la poursuite judiciaire de certains responsables de malversations d'opérations de lotissement. Des amendes sont également prévues au Mali à l'encontre des conservateurs de la propriété foncière responsables d'infractions (code domanial, article 219⁴²). Cependant, le code foncier et domanial

⁴² ARTICLE 219- Les conservateurs de la propriété foncière sont tenus de se conformer dans l'exercice de leurs fonctions, à toutes les dispositions de la présente loi, à peine d'une amende de 10 000 F à 100 000 F, pour la première infraction, et de destitution pour la seconde, sans préjudice de dommages-intérêts envers les parties lesquels seront payés avant l'amende (code domanial, mali)

est moins contraignant qu'à Ouagadougou⁴⁰ et ne prévoit pas de peine d'emprisonnement pour les fautifs.

Ainsi, dans un contexte de déficit de planification, le développement urbain sans respect des normes minimales d'urbanisme entraîne des difficultés d'assainissement. Il impacte sur la gestion des eaux pluviales des villes et donc sur les inondations.

8.4.2.3. La Politique nationale d'Assainissement

La Politique nationale d'Assainissement (PNA) du Burkina Faso, adoptée le 4 juillet 2007 en Conseil des ministres, s'inscrit dans la politique nationale en matière d'environnement. L'objectif global de la PNA est de contribuer au développement durable en apportant des solutions appropriées aux problèmes liés à l'assainissement. Cette politique vise l'amélioration des conditions de vie des populations, la préservation de leur santé et la protection des ressources naturelles. Elle est mise en œuvre pour la ville de Ouagadougou grâce à un schéma de drainage des eaux pluviales et un schéma directeur de gestion des déchets solides. Elle s'appuie sur une stratégie nationale d'assainissement, qui se décline en sous-secteurs :

- le sous-secteur des déchets liquides ;
- le sous-secteur des déchets gazeux ;
- le sous-secteur des déchets solides ;
- le sous-secteur des eaux pluviales.

Au Mali, la PNA a pour objectif d'améliorer l'accès des populations au service public de l'assainissement. Pour atteindre cet objectif, cinq axes stratégiques portant sur le transfert de compétences et sur la gestion des déchets liquides, solides et spéciaux et des eaux pluviales ont été identifiés. Sur le terrain, une mise en œuvre timide de la politique nationale d'assainissement et de ses cinq stratégies est constatée. Elle repose sur un schéma directeur d'assainissement qui prend en compte les problématiques du drainage des eaux pluviales et de l'assainissement des eaux usées, mais occulte cependant la gestion des déchets solides.

Article 283- est puni d'un emprisonnement de trois mois à trois ans et d'une amende d'un million (1 000 000) de francs CFA à dix millions (10 000 000) de francs CFA ou de l'une de ces deux peines seulement, toute personne habilitée qui procède à des cessions de terrains en violation des procédures légales (code domanial, Burkina Faso)

❖ Le drainage des eaux pluviales à Ouagadougou et Bamako

Le schéma directeur de drainage des eaux pluviales au niveau des collectivités est un document permettant d'anticiper les besoins en infrastructures de drainage et d'effectuer une planification spatiale et physique. Il donne les orientations notamment en matière de construction de bassins de rétentions des eaux et de collecteurs pour la gestion des eaux pluviales. La ville de Ouagadougou possède un schéma directeur de drainage des eaux pluviales, élaboré en 1999 puis révisé en 2020. À Bamako, ce document intitulé Schéma directeur d'Assainissement de la ville de Bamako (SDAB) fut adopté en 2016 et a nécessité près de 960 milliards de francs CFA. Bien qu'adopté par les autorités bamakoises, le SDAB peine à être mis en application pour résoudre de façon durable la question de l'assainissement. Il a en effet été confronté à des contraintes budgétaires, selon toute apparence du fait du manque de volonté politique des autorités. En effet, aucune allocation budgétaire n'a été faite pour la réalisation du SDAB, ni dans le budget 2017, ni dans ceux de 2018 et 2019 (Traoré, 2019).

La gestion des eaux pluviales est une problématique majeure de la gestion des inondations, particulièrement en milieu urbain. Les inondations à Ouagadougou et à Bamako sont en effet principalement sinon pratiquement toutes causées par des épisodes pluvieux, qui lorsqu'ils sont mal gérés peuvent provoquer des effets dommageables sur la santé, l'environnement, le développement économique et les biens. Les techniques classiques de gestion des eaux pluviales mises en œuvre au niveau de Ouagadougou et de Bamako reposent sur leur évacuation par le biais de conduites ou de caniveaux en direction des exutoires. Les deux villes sont dotées d'un réseau unitaire (regroupant eaux pluviales et eaux usées), qui ne couvre qu'une faible part de surfaces urbanisées. La faiblesse du réseau s'explique par l'urbanisation galopante et les moyens limités ne permettant pas de suivre la cadence. Les quartiers non desservis se retrouvent principalement en périphérie ou dans les zones d'habitats spontanés. Dans ces quartiers, les eaux pluviales se combinent aux eaux usées en empruntant des ravines sujettes à l'érosion, pour s'accumuler dans des zones de dépression (Photographie IV-2).



Photographie IV-2 : Ruissellement d'eau à travers des ravines à Bamako (source : auteur)

Pour contrôler le ruissellement de surface, en dehors des techniques classiques d'évacuation par les réseaux d'égouts, quelques techniques compensatoires ou alternatives sont disponibles (Figure IV-2) et ont déjà fait leurs preuves dans d'autres contextes (Scarwell & Laganier, 2017b). Il s'agit de l'usage par exemple de tranchées drainantes et de chaussées poreuses pour permettre l'infiltration de l'eau, ou du stockage de l'eau dans des bassins de rétention (Photographie IV-3) ou sur les toitures pour atténuer le ruissellement à la source et réduire le remplissage des réseaux. Ces techniques ne sont pas encore très répandues dans nos villes d'étude alors qu'elles peuvent constituer des solutions aux inondations en limitant les investissements dans les réseaux classiques.

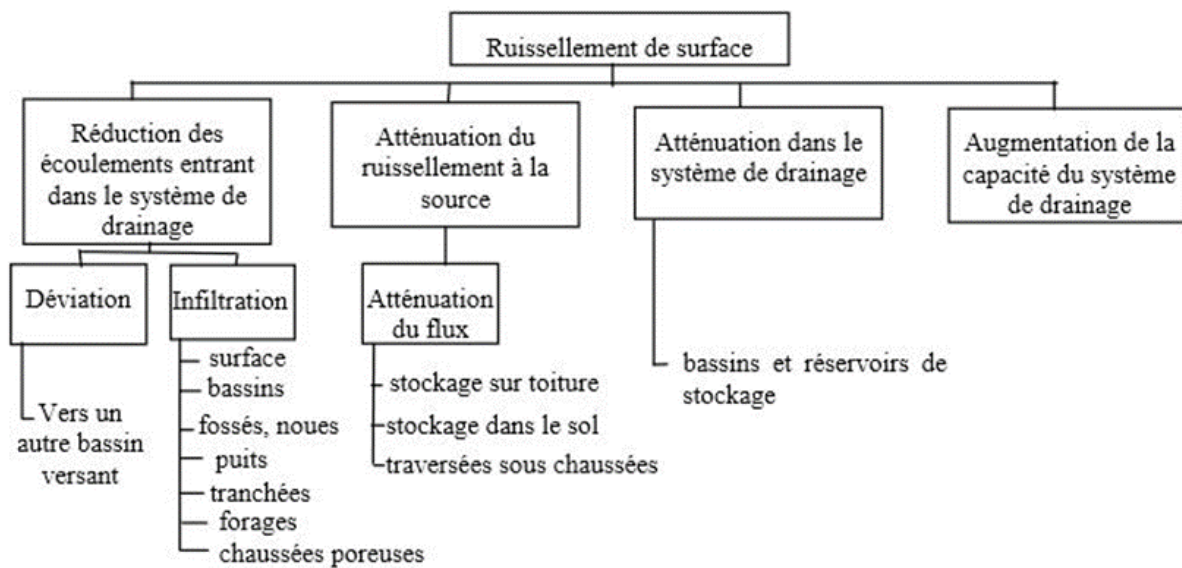


Figure IV-2 : Options envisageables pour le contrôle du ruissellement de surface (source : (Le Jallé, 2013)



Photographie IV-3 : Exemple d'un bassin de rétention d'eau en fonctionnement jouxtant le boulevard des Tensoba à Ouagadougou

En outre, le dimensionnement des caniveaux de même que leur entretien sont des raisons à la base des inondations à Bamako et à Ouagadougou. Concernant le dimensionnement des ouvrages, ils sont parfois réalisés sur la base de travaux antérieurs et de dimensions standards sans étude préalable seulement, ce qui pose des problèmes de sous-dimensionnement. En effet, les débits à évacuer sont fonction des caractéristiques des sous-bassins versants drainés et ne sauraient être harmonisés pour un dimensionnement d'ouvrage. Le redimensionnement en tenant compte de paramètres hydrauliques est donc primordial d'autant plus que l'on assiste de plus en plus à une imperméabilisation des sols augmentant les débits d'écoulement.

Ce qui est généralement vu ici [à Bamako], c'est des caniveaux de 50/60. Très généralement, les caniveaux sont comme ça. Vu l'urbanisation galopante, je pense qu'il serait bon de redimensionner.

Responsable administratif, Commune 4 à Bamako

Les inondations sont aussi causées par l'insuffisance des caniveaux qui, même quand ils existent, sont souvent dépassés surtout ceux à l'intérieur des quartiers. En centre-ville, les ouvrages sont anciens et parfois les dallettes s'effondrent. Dans les périphéries les ouvrages de franchissements on a l'impression qu'ils sont sous-dimensionnés et dépassés.

Directeur des Infrastructures et de la Mobilité Urbaine, Ouagadougou

En plus du sous-dimensionnement manifeste des ouvrages de drainage, ceux-ci sont souvent incapables d'évacuer les débits prévus du fait de leur remplissage par divers matériaux (sable, terre,

embâcles, déchets solides...). En effet, une part non négligeable des caniveaux à Ouagadougou et à Bamako n'est pas recouverte, ce qui favorise leur ensablement et/ou leur comblement par des déchets et des débris de tout genre. Cette option technique avait été choisie pour limiter les coûts de réalisation des infrastructures et faciliter le curage des ouvrages. Cependant, force est de constater aujourd'hui des coûts de maintenance élevés du fait de l'obstruction des caniveaux alors même que le curage des caniveaux est peu fréquent, voire inexistant, dans certains quartiers. Les entreprises privées mandatées par les collectivités pour ces opérations font parfois preuve d'un manque de professionnalisme en abandonnant les boues de curage aux abords immédiats des caniveaux. Face à la déficience du service public et à l'insuffisance de réseaux de drainage, les populations tentent de développer des réponses individuelles et par quartier en opérant au nettoyage et au curage des infrastructures du réseau en prévision d'évènements pluvieux ou en construisant des digues de fortune pour l'évacuation des eaux. Ces réponses sont très souvent non coordonnées ce qui limite leur impact et les rend quelques fois inefficaces.

Globalement, le drainage des eaux pluviales des villes de Bamako et de Ouagadougou présente un état critique (Photographie IV-4 à IV-7). Les infrastructures d'évacuation primaires sont pour la plupart en mauvais état et servent de dépotoirs d'ordures et d'exutoires aux eaux usées. Bon nombre d'entre eux sont érodés du fait d'une part de l'accumulation d'eaux agressives provenant des déchets solides et liquides, et d'autre part de la qualité des enrobages utilisés qui parfois ne répondent pas aux normes. Ainsi, une gestion défailante des déchets solides aggrave les risques d'inondation, car elle conduit au blocage des systèmes de drainage.



Photographie IV-4 : État d'obstruction du collecteur du carré des martyrs à Bamako (source : [CAEB, 2018])



Photographie IV-5 : État d'obstruction du collecteur de Wemtenga à Ouagadougou (source : auteur)

a- Bamako



b- Ouagadougou



Photographie IV-6 : État de certains caniveaux à Bamako et Ouagadougou (source : auteur)

a-Bamako, canal avenue Al Qoods, quartier Médina
Koura



b-Ouagadougou, canal de Wemtenga, Quartier
Wemtenga



Photographie IV-7 : Les collecteurs de Ouagadougou réceptacles de déchets et débris de tout genre (source : auteur)

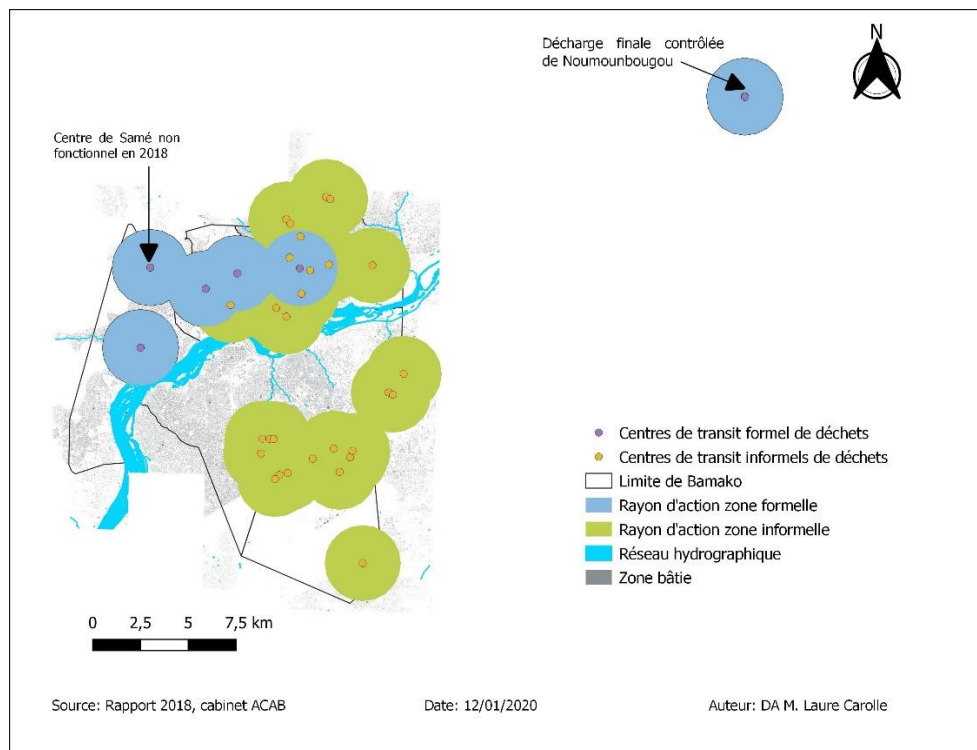
❖ La gestion des déchets solides

La politique de gestion des déchets est mise en œuvre dans la ville de Ouagadougou à travers le schéma directeur de gestion des déchets solides. C'est un document qui permet l'organisation de la filière déchet à Ouagadougou. Il est mis en œuvre à travers la construction de plusieurs centres de collectes dans les différents arrondissements de la ville, et d'un Centre de Traitement et de Valorisation de Déchets (CTVD) dans l'arrondissement 4 au nord de la commune (Figure IV-3-b). Dans le cadre du SDAGO, un renforcement du dispositif est prévu avec la construction d'un second centre au sud de la ville et dans les communes rurales pour réduire les distances. Il est également prévu un centre de collecte des huiles de vidange en vue de leur recyclage.

À Bamako, ce type de document n'existe pas à ce jour. La gestion des déchets repose essentiellement sur les orientations de la stratégie nationale des déchets solides et de la politique nationale de l'assainissement (PNA) qui donnent toutes les grandes lignes des axes envisagés pour la gestion. L'absence d'un cadre de référence local pour la gestion des déchets explique l'insuffisance des centres de transit dans la ville qui sont seulement au nombre de quatre formels (le reste étant des centres anarchiques informels), comme le montre la figure IV-3-a.

Les structures ouagalaises et bamakoises de collecte des déchets (GIE, entreprises privées) utilisent pour mener à bien leur mission des charrettes à traction animale, des camions ou des tricycles. Le rayon d'intervention de ces structures de collecte des déchets varie selon le type de véhicules utilisés. Ainsi, un rapport du programme Solidarité Eau a défini un rayon moyen de 2 km pour les charrettes à traction asine (Tenmiya, 2003). Une représentation de ce rayon d'action autour des centres de transit montre qu'il existe une partie non négligeable de Ouagadougou et de Bamako qui pourrait ne pas être desservie par les services habilités (figure IV-3).

a-Bamako



b-Ouagadougou

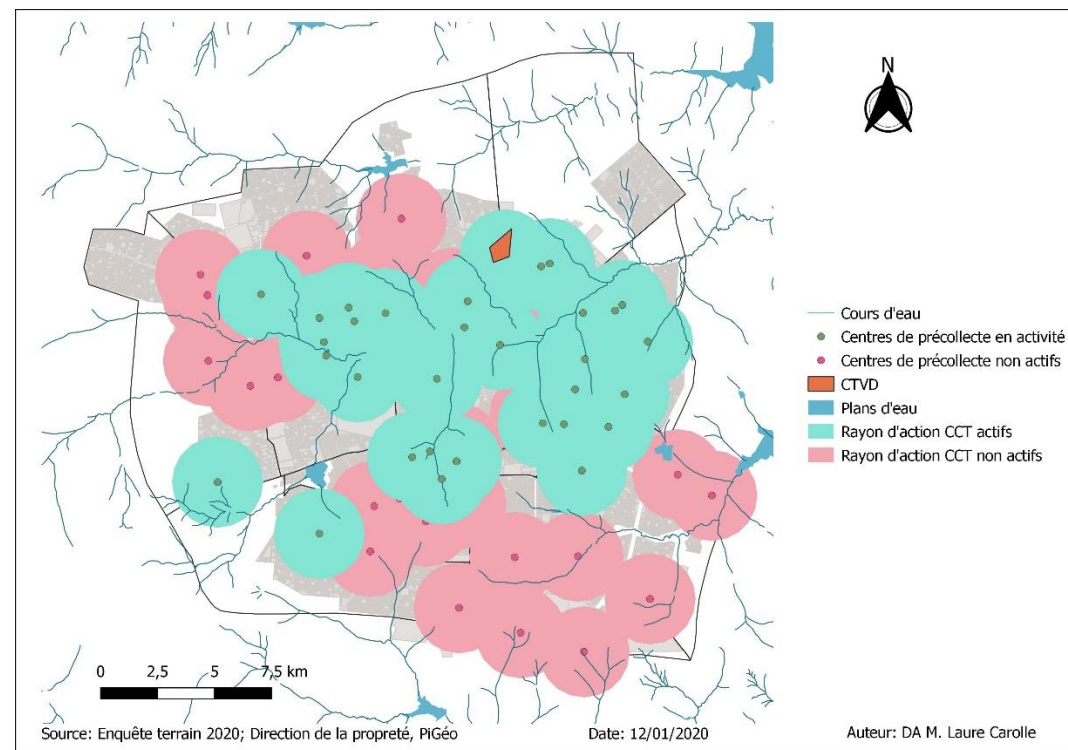


Figure IV-3 : Les centres de transit⁴³ de déchets à Bamako et Ouagadougou et leur rayon d'action⁴⁴

⁴³ À Bamako, la plupart des centres de transit sont en réalité des dépôts anarchiques indiqués comme informels dans la figure IV-3

⁴⁴ Le rayon d'action ou rayon d'intervention correspond à la zone d'intervention dans laquelle évolue un collecteur qui utilise un centre de transit donné. Pour les collecteurs qui utilisent des charrettes à traction asine, elle est au maximum de 2km. C'est ce rayon de 2km qui a été utilisé pour les cartes.

Globalement, il faut noter que pour les zones desservies en structures de collecte, le risque que celles-ci abandonnent les déchets en cours de route est très grand du fait de l'éloignement des centres. Cette situation peut en partie expliquer la prolifération de dépotoirs sauvages à travers les deux villes. Pour mieux l'appréhender, nous analysons les filières de gestion des déchets à Ouagadougou et Bamako.

○ La filière déchet à Ouagadougou

À Ouagadougou, la filière déchet est constituée de quatre principales étapes :

- **la précollecte** : elle est effectuée au sein des ménages et des autres structures de production de déchets.
- **La collecte** : elle est effectuée par 12 Groupements d'Intérêts Economiques (GIE) et deux Petites et Moyennes Entreprises (PME) (Nikiema, 2012). La collecte consiste à recueillir les déchets des ménages et à les conduire aux centres de collecte et de tri. Ces centres au nombre de 55 sont relativement concentrés en centre-ville alors que la zone périphérique à forts enjeux se trouve quasiment exempte de centre. Par ailleurs, on note leurs mauvais entretiens et la surcharge de certains d'entre eux (Photographie IV-8), qui obligent parfois les collecteurs à déverser leurs ordures dans la nature.



Photographie IV-8 : Exemple de surcharge de CCT dans l'arrondissement n° 10 de Ouagadougou (source : auteur)

- **le transfert des déchets des CCT vers le Centre de Traitement et de Valorisation des Déchets** : ce dernier constitue le point de dépôt final des déchets. L'étape de transfert des déchets est à la charge de deux opérateurs (la direction du développement durable et une entreprise privée).

- **l'enfouissement et le traitement** : La phase d'enfouissement est sous la responsabilité de la commune et concerne près de 80 % des déchets collectés. Seuls 20 % des déchets peuvent être valorisés soit par des entreprises privées ou des associations au niveau des centres de tri et du dépôt final.

Des difficultés majeures quant à l'application du SDGD se posent notamment en lien avec les logiques des différents acteurs intervenant dans la collecte des ordures. On note par exemple des formes de concurrences entre acteurs formels organisés en petites et moyennes entreprises et GIE et acteurs informels occasionnels ou organisés en association. Ces derniers pratiquent des tarifs bas entraînant un dérèglement de la précollecte qui devient peu rentables pour les acteurs formels. Cette situation est aggravée par le clientélisme qui s'opère dans la gestion des déchets avec un soutien inavoué de certains élus locaux pour des pratiques défiant toutes règles.

Aussi, l'absence de modernisation de la filière et le mauvais état des équipements n'est pas sans conséquence sur le vécu des populations. En effet, les charrettes à traction asine sont source d'embouteillage et agissent sur la mobilité urbaine. De plus, leur faible rayon d'action et les distances importantes à parcourir pour atteindre le dépôt de transit favorisent la création de dépotoirs sauvages à travers les villes, les collecteurs préférant maximiser leur gain en réduisant les temps de transport.

Par ailleurs, la bonne gestion des déchets dans les deux villes d'étude est menacée par l'incivisme de certains habitants, réfractaires à toute collecte classique des déchets par les collecteurs. Refusant tout abonnement à une quelconque structure de collecte, ils se débarrassent souvent eux même de leur déchet directement dans la rue, dans les caniveaux à proximité ou dans les retenues d'eau (Photographie IV-9). Avec un taux de collecte estimé à 57 % pour la ville de Ouagadougou en 2017, la filière déchet reste une problématique environnementale importante notamment en matière de gestion de la collecte, une bonne partie de ceux non collectés se retrouvant dans la nature et dans les caniveaux.



Photographie IV-9 : Dépotoirs sauvages à la limite du barrage n° 2 de Ouagadougou

L'analyse de la répartition des centres de collecte et de transit montre que plus d'une dizaine de centres construits ne sont pas en activité. Cette situation s'explique d'après les services de la Direction du Développement Durable en charge de la gestion des déchets dans la ville, par l'éloignement des centres « qui fait que les riverains n'y vont pas ». Pourtant, ces centres ont été construits dans des zones urbanisées. Certains d'entre eux sont d'ailleurs localisés dans des secteurs où le risque inondation n'est pas négligeable.

En effectuant une visite de certains d'entre eux, nous avons constaté qu'ils sont utilisés par les populations, même si toutes les conditions ne sont pas réunies. Par exemple, le CCT de Pissy-Boyam (Photographie IV-10) est identifié comme non actif. En effet, l'intérieur du centre n'a encore fait l'objet d'aucun dépôt d'ordures. Cependant, on note la présence d'un bac débordant d'ordures à l'extérieur. L'hypothèse qui ressort de notre analyse de la situation est que l'éloignement des CCT explique effectivement leur non-mise en service, mais à cause d'une volonté manifeste des structures habilitées de la direction du développement durable. L'installation de ces nouveaux centres induit des coûts supplémentaires pour la gestion (coût de transport), qui peuvent se révéler exorbitants pour les centres les plus éloignés. Ces coûts semblent ne pas être supportables pour le moment par la direction.

a- Extérieur du CCT



b- Intérieur du CCT



Photographie IV-10 : CCT de Pissy – Boyam : un exemple de centre de collecte et de tri non actif officiellement, mais utilisé dans les faits (source : auteur)

o La filière déchet à Bamako

La filière de gestion des déchets à Bamako s'organise également autour de quatre étapes :

▪ **La production de déchets :**

Elle se fait au niveau des ménages urbains, des écoles, des abattoirs... et permet une première phase de collecte et de stockage des ordures dans des bacs ou des poubelles.

▪ **La précollecte et le transport des lieux de production vers les dépôts de transit :**

Cette étape est assurée par les GIE, estimés à 126 en 2012, par les Sociétés privées telles que Ozone et l'entreprise Macrowaste, et par d'autres acteurs informels (Bertrand, 2012).

Cependant, la mise en œuvre de cette phase n'est pas exempte de difficultés. En effet, l'inefficacité de la précollecte de certains GIE organisés en informel est de nature à perturber le système, alors que ces derniers ne contribuent même pas au développement des communes par le paiement des taxes.

En fait, c'est vrai les GIE formels versent une taxe à l'État alors que les informels ne le font pas. Ils ne sont pas tellement équipés. Ils ne peuvent pas faire le travail comme il se doit. Par exemple, pour certains GIE informels il ne respecte pas les fréquences de passage, ce qui entraîne des débordements. Les ordures restent devant les portes. En plus, à cause de l'éloignement des centres de transit et de leur basse rémunération, ils abandonnent souvent les ordures en cours de route. Responsable administratif, CTAC.

Ainsi, les GIE informels tout comme à Ouagadougou peuvent poser problème du fait de leur tarif bas qui les rend plus attractifs pour les populations que les GIE formels, alors qu'ils ne sont pas équipés pour mener à bien la mission d'assainissement de la ville.

Un informel peut passer prendre la poubelle pour 100 francs : 200 et il va se débrouiller. Au niveau des dépôts, ses informels payent les gardiens qui les autorisent à déverser. Là c'est même quand ils arrivent aux dépôts sinon ils jettent en cours de route. C'est un peu la situation. C'est un peu compliqué. Si les GIE étaient très bien organisés, bien équipés, on n'aurait pas ces situations complexes à gérer. » Elu commune 3, Bamako

Le secteur de la collecte des déchets à Bamako fait également face à plusieurs insuffisances. Bertrand (op.cit.) mentionnait que 55 % des déchets étaient collectés en 2011, le reste étant soit brûlé, soit rejeté dans les rues, les caniveaux, les terrains vagues, les marigots et le fleuve. Les 45 % de déchets non collectés compromettent la qualité des eaux de surface et souterraines à proximité et encombrant les collecteurs destinés aux eaux de pluies, ce qui entraîne des inondations.

▪ **La collecte et le transport des dépôts de transit vers le dépôt final :**

Du point de vue institutionnel, la collecte des déchets des sites de dépôt de transit au dépôt final est de la responsabilité de la mairie du District de Bamako, à travers son service de voirie, la Direction des Services Urbains de Voirie et d'Assainissement (DSUVA) (créée par arrêté N° 69/DB du 19 juin 1990). Depuis 2015, la Mairie a délégué cette tâche de collecte à la société Ozone Mali, et la DSUVA n'assure dorénavant que le suivi, le contrôle et l'organisation de la collecte.

L'entreprise Ozone Mali a pour mission :

- la collecte des déchets ménagers et assimilés, des encombrants et ordures des dépôts sauvages,

- le nettoyage de la voirie (chaussée, trottoirs, caniveaux et place publique, etc.),
- le transport des résidus de nettoyage et leur déchargement à la décharge publique,
- le transport des résidus collectés au niveau des dépôts de transit à la décharge finale et
- l'exploitation et l'entretien de la décharge finale.

Cependant, cette société depuis son installation fait face à des difficultés qui entravent ses capacités à mener à bien ses missions, notamment celle de collecte des déchets ménages. Il n'est pas rare d'assister à un amoncellement de déchets dans la ville durant plusieurs jours entraînant l'augmentation de dépotoirs et le mécontentement des populations. L'État malien semble avoir une part de responsabilité dans les dysfonctionnements observés au niveau de la société.

Il y a des difficultés, car l'ozone a des arriérés de paiements avec l'État. L'effort que Ozone devait mettre au niveau du dépôt n'a pas pu être fait parce qu'ils n'ont plus les moyens ; donc les déchets sont restés dans le dépôt pendant des mois et tous les jours les GIE venaient déposer et le dépôt a fini par déborder. Ce qui a fait que la population s'est révoltée. Ça s'est passé en 2016. Responsable administratif

CETAC

Aussi, plusieurs dépôts anarchiques quasiment institutionnalisés à Bamako ont pu être dénombrés en 2018 à Bamako, mettant à nu les difficultés de la filière dans la ville. En absence d'un schéma directeur clair donnant les orientations et présentant les responsabilités des acteurs, la gestion des déchets à Bamako tente de s'organiser tant bien que mal. L'évacuation des déchets est devenue une question sensible avec la croissance démographique galopante et l'absence d'une décharge finale contrôlée et fonctionnelle dans la ville. La distance moyenne de 35 à 40 km entre la décharge et les communes de Bamako fait que 20 à 30 % des camions seulement déversent leurs ordures sur le site de Noumoubougou.

La plupart des déchets collectés sont évacués vers des excavations improvisées, les flancs de collines, les zones de carrières et les champs notamment en zone aéroportuaire. Ces zones ne disposent d'aucun matériel de compactage et ne sont ni aménagés ni entretenus. Au fil du temps, Bamako se transforme de plus en plus en déchèterie à ciel ouvert, ce qui contribue à une augmentation des risques de pollution et impacte sur le drainage des eaux pluviales dans la ville.

▪ **Le recyclage et la valorisation au niveau des dépôts de transit et du dépôt final :**

Cette étape est de la responsabilité de structures organisées sous forme d'association ou de groupements. Elle permet par exemple le recyclage des cartons en briquettes et du plastique en pavés pour les constructions.

En somme, l'analyse de la filière déchet à Bamako montre des insuffisances notamment en termes de disponibilité des dépôts de transit formels, au nombre de cinq. Ils sont principalement localisés dans les communes de la rive gauche du Fleuve. La plupart des déchets collectés dans les autres communes sont déversés dans des dépotoirs sauvages. De plus, les difficultés rencontrées par la société Ozone et la Marie pour le transport des déchets vers la décharge finale de Noumoubougou aggravent la situation de gestion des déchets et rend non effectif le ramassage des ordures dans des délais courts. Toute chose qui explique la prolifération de dépotoirs sauvages à travers la ville.

La commune a pour rôle d'enlever les ordures des familles vers le dépôt de transit. La mairie du district est chargée d'enlever du dépôt de transit vers le dépôt final ; c'est cette partie qui ne marche pas très bien, car la mairie n'arrive pas à enlever les déchets qui s'entassent et les gens trouvent que c'est la commune 4 qui est sale. Mais la mairie ne peut rien faire avec cela, car ça ne relève pas de nos compétences comme c'est sur notre territoire. Les gens nous insultent alors que ce n'est pas de notre compétence. Elu commune 4, Bamako

L'incivisme des populations en matière de gestion des déchets a également une part de responsabilité importante dans la prolifération des dépôts sauvages et dans la survenue des inondations. Certaines populations en effet adoptent des attitudes préjudiciables qui favorisent l'obstruction des canaux d'évacuation des eaux pendant l'hivernage. Cette situation se rencontre partout dans la ville comme le rappelait une personne ressource de la commune 6.

« Dès qu'il commence à pleuvoir [à Bamako], les gens ne voulant pas payer pour le service se débarrassent des ordures dans les canaux d'évacuation, ce qui provoque les inondations. »

Elu commune 6, Bamako

Pourtant, l'absence de caniveaux en ville est l'une des premières causes des inondations identifiées par les populations à Bamako. Près de 99 % des personnes interrogées mentionnaient cette absence comme cause des inondations. Elles sont donc bien conscientes de l'intérêt et de la nécessité d'entretenir ces ouvrages, mais certaines d'entre elles n'hésitent pas à poser des actes dommageables sous prétexte de manquer de moyens pour souscrire à un service de

collecte des déchets. Cette situation est d'autant plus paradoxale, car les populations bamakoises elles-mêmes citent à 97 % la mauvaise gestion des déchets comme une cause des inondations.

Synthèse de la gestion des déchets dans les deux villes

Au final, le secteur de l'assainissement est l'un des secteurs qui impactent le plus les phénomènes d'inondation que l'on soit à Ouagadougou ou à Bamako. En effet, *dans les pays en développement, les déchets solides et les sédiments représentent la première cause de blocage des réseaux.* (Le Jallé, 2013). L'analyse de la gestion de la filière déchet est donc fondamentale pour comprendre la vulnérabilité des territoires face au risque inondation. Ainsi, il est ressorti de notre étude de la filière que la gestion des déchets solides constitue un déficit majeur dans nos villes d'étude. Elle est caractérisée par des insuffisances institutionnelles et organisationnelles, que les comportements inciviques des populations tendent à exacerber. Globalement, on peut retenir que la gestion des déchets solides reste inefficace pour absorber les quantités importantes de déchets produits chaque jour dans les deux villes d'étude. Ces déchets sont source de pollution importante et favorisent la survenue des inondations. Face à cette situation particulièrement inquiétante, Ouagadougou semble être mieux dotée que Bamako, en termes d'organisation de la filière et d'atteinte des résultats, même si d'importants investissements doivent être entrepris. Plusieurs facteurs expliquent la meilleure position de Ouagadougou par rapport à Bamako. Il s'agit entre autres de :

- l'adoption d'un schéma directeur de gestion des déchets solides pour la ville assez régulièrement mise à jour,
- la création d'une direction de la propreté (devenue direction du développement durable) spécifiquement dédiée aux questions d'assainissement,
- la construction d'un centre de traitement des déchets équipés pour l'enfouissement, le traitement et la valorisation des déchets.

Ces aspects montrent un engagement politique plus marqué pour les questions d'assainissement solide à Ouagadougou, même si d'importants efforts restent à faire. Tout compte fait, la question des inondations et des vulnérabilités constitue d'abord une question d'options et d'engagements politiques et institutionnels. Cet engagement politique impulse le vote des lois, l'adoption de réglementations contraignantes et l'élaboration de cadres politiques pour l'atteinte d'objectifs clairement définis. S'il est déficient, il ouvre la porte aux comportements déviants de certaines populations ce qui augmente la vulnérabilité globale. Pour améliorer la gouvernance des territoires et limiter les risques, une réponse des institutions est

de mise. Elle peut passer par la conduite de projets dont l'impact sur le territoire dépend de l'efficacité globale des politiques mises en œuvre.

8.5. Réponses institutionnelles aux inondations : des projets au service des politiques de gestion urbaine

L'opérationnalisation de la prévention des inondations repose en majeure partie sur la conduite de projets réalisés avec l'appui technique et financier de partenaires internationaux et d'acteurs locaux. Ces projets sont réalisés dans l'optique de gérer les catastrophes liées aux inondations et de les prévenir, ou d'améliorer l'assainissement et la gestion urbaine.

Plusieurs dizaines de projets sont ainsi réalisés à Ouagadougou et à Bamako chaque année avec des impacts potentiellement positifs sur la prévention des inondations. Dans cette section, quelques projets en lien direct avec la gestion des crises, l'urbanisme et l'assainissement ont fait l'objet d'une attention particulière (tableau IV-1). L'analyse du bilan de ces projets permet de préciser l'efficacité des méthodes de gouvernance locale et vient ainsi compléter l'analyse des politiques et des textes juridiques. Il ressort du tableau IV-1 que les projets qui œuvrent à la mise en place d'investissements matériels au niveau local ont plus de chance d'être couronnés de succès que ceux qui nécessitent un changement de stratégies administratives ou d'habitudes sociales. Effectivement, l'intégration de mesures comme l'aménagement des rues, la construction de caniveaux, l'aménagement routier ou le reverdissement a montré ses preuves dans l'amélioration du drainage des eaux, la préservation des zones d'expansion des cours d'eau, le désencombrement des villes et la fixation des sols. Toutes ces améliorations contribuent à la réduction des inondations.

Aussi, les projets qui mettent en avant un changement de paradigme social ou administratif sont plus complexes à mettre en œuvre. En effet, puisqu'ils viennent bousculer des habitudes et des croyances profondément ancrées, il nécessite des techniques d'approches plus souples et plus innovantes, que l'on soit dans le domaine de l'administration du territoire ou dans le domaine social. Ce sont pourtant ces projets qui sont plus à même d'apporter des solutions durables aux problèmes des inondations, puisqu'ils participent à la construction d'une culture sociale propice à l'entretien et à la protection du cadre de vie. Le Projet de Gestion des Risques Climatiques et d'Inondation au Mali (PGRCI) et le Sous Projet d'Assainissement des Quartiers Périphériques de Ouagadougou (SPAQPO) sont des exemples de projets basés sur un changement organisationnel du territoire. Ils renferment un fort volet social et misent sur une forte implication des populations pour la réussite des activités (Tableau IV-1).

Tableau IV-1 : Exemples de projets menés en lien avec les inondations dans les secteurs de la gestion des risques, de l'urbanisme et de l'assainissement

Secteurs du projet	Nom des projets	Informations générales	Localités concernées	Objectifs	Bilan du projet
Gestion du risque inondation	PGRCI (<i>Projet de Gestion des Risques Climatiques et d'Inondation au Mali</i>)	Financement : Début : 2017 État : En cours	Kayes, Mopti, communes 1, 4 et 6 de Bamako	Renforcer en 5 ans les capacités des autorités nationales et locales	Satisfaisant à mi-parcours + bilans très positifs pour les investissements matériels -bilan plus mitigé, mais avec un potentiel d'amélioration pour l'appui au changement stratégique dans l'administration locale
	Relocalisation des sinistrés de Ouagadougou	Financement : gouvernement Début : après inondation du 1er septembre 2009 État : Achievé	Ouagadougou	Apporter assistance aux sinistrés, relocaliser à Yagma et Basséko (au Nord-ouest de la ville) les ménages ayant perdu leur logement avec : -16 000 parcelles offertes -1,5 tonne de ciment -20 feuilles de tôles -50 000 francs CFA en espèce	Échec du projet : Réinstallation des sinistrés dans les zones inondables et vente des parcelles. Plusieurs facteurs explicatifs : – manque de viabilisations de la zone, -difficultés socioéconomiques liées à l'absence d'emploi dans la zone, -insuffisance de matériaux de construction -éloignement de la zone géographique des services socioéconomique de base. –spéculation foncière

Urbanisme	SNQ (<i>Sauvons notre quartier</i>)	Financement : Date de début : 1993 État : Achevé	District de Bamako	Réhabiliter 24 quartiers spontanés sur le territoire de Bamako ; améliorer les conditions de vie dans les quartiers confrontés à l'insécurité, l'insalubrité et l'absence de service urbain de base.	Bilan : mitigé +régularisation de plusieurs quartiers -opérations de recasement caractérisées par une forte spéculation foncière et des fraudes – reproduction de cadre de vie précaire dans d'autres localités par les déguerpis –Insuffisance de la viabilisation entraînant inondation et insalubrité.
	Projet ZACA (<i>Zone d'Aménagement Commerciale et Administrative</i>)	Financement : Date de début : 2001 État : Achevé mais viabilisation réactivée	Ouagadougou : (<i>Koulouba, Tiedpalogo, Zangouettin, Peuloghin, Kamsaoghin et « Camp fonctionnaire »</i>)	« Déguerpir » les habitants de vieux quartiers situés en centre-ville pour y faire émerger un quartier d'Affaires moderne et innovant, une zone d'activité à but commerciale. Reloger les déguerpis dans un nouveau quartier (la Trame d'accueil).	Bilan : mitigé -jusqu'en 2019, non mise en valeur de plusieurs parcelles par les attributaires -sous menace de retrait par le MHU, occupation des terrains vides réactivant de ce fait le projet ZACA +relogement des populations
	Projet village centre banlieues de Ouagadougou	Financement : Date de début : 1991 État : Achevé	Ouagadougou	Éviter le développement de l'habitat spontané et encadrer le processus de développement et d'aménagement de ces centres.	Bilan : mitigé + production de parcelles viabilisées -exclusion des populations autochtones du fait du coût élevé des parcelles et occupation illégale de la ceinture verte

Assainissement	SPAQPO <i>(sous-projet d'assainissement des quartiers périphériques de Ouagadougou)</i>	Financement : Date de début 2013 État : Achevé	Ouagadougou	Faciliter l'évacuation des eaux pluviales, améliorer la gestion des déchets solides et désenclaver les quartiers périphériques.	Bilan : Succès + contribution à la réduction du nombre de personnes affectées par les inondations
	PADUB <i>(Projet d'Assainissement et de Développement urbain de Bamako)</i>	Financement : Agence Française de Développement Date de début : 2014	Bamako : commune 2 et 5	Améliorer les conditions de vie des habitants de Bamako et renforcer la gestion urbaine à l'échelle de l'agglomération	Bilan : Pas encore disponible, mais des motifs de satisfaction -d'importantes actions menées au profit des communautés (aménagement des rues, construction de caniveaux et de collecteurs)

Parmi les quelques projets analysés, nous remarquons que tous ceux dédiés à une forme de « rattrapage urbain » et qui nécessitent une certaine réorganisation foncière se sont soldés par un bilan des plus mitigés. Le secteur foncier reste en effet particulièrement complexe à gérer et à assainir comme nous l'avons déjà mentionné, malgré l'existence d'une réglementation assez contraignante à la fois au Mali et au Burkina Faso. L'échec des projets sociaux liés aux aspects fonciers peut s'expliquer par la non-implication réelle et coordonnée des populations dans l'élaboration et la conduite de ces projets, et par le non-respect des lois en vigueur. Comme ce fut le cas lors de la relocalisation à Ouagadougou des personnes sinistrées du 1^{er} septembre 2009, plusieurs projets de construction de logements sociaux sont réalisés à la hâte, en ne respectant pas les règles d'urbanisme établies. Par exemple, en 2012, le gouvernement burkinabè a initié un projet de construction de logements sociaux et économiques sur le site de Basséko. L'objectif de ce projet était de contribuer à l'augmentation de logements décents dans la ville. Malgré son fort intérêt social, des difficultés ont jalonné sa bonne exécution avec notamment toujours des problèmes relevés en termes de viabilisation des zones d'habitation. Cette situation a fortement impacté sur la qualité de vie des habitants de ces logements justifiant leur qualification de « cités des espoirs déçus »⁴⁵. En 2018, les résidents ont d'ailleurs organisé une conférence de presse pour s'indigner de leur situation, tenant l'État pour responsable. Ils ont dénoncé l'inaccessibilité de leurs domiciles et l'impraticabilité des voies d'accès en saison des pluies, faisant ressortir le lien entre mauvais processus de lotissement et risques.

Par ailleurs, l'analyse du financement de projets de grande envergure entrepris au niveau local souligne la dépendance des services urbains à l'égard d'appuis extérieurs. Cette situation matérialise l'insuffisance des moyens des collectivités à assurer à la fois leur fonctionnement et l'investissement dans des projets de développement. De plus en plus, l'obtention de financements conséquents est conditionnée par la mise en avant dans l'élaboration des projets d'impératifs liés aux changements climatiques et de sécurisation des territoires face aux risques. C'est donc une opportunité pour les collectivités territoriales d'effectuer un couplage des aspects environnementaux avec les projets d'aménagement urbain, pour assurer un développement efficient du territoire.

⁴⁵ https://lefaso.net/spip.php?page=web-tv-video&id_article=84694&rubrique4, consulté le 13 janvier 2021

Synthèse : Politiques urbaines, gestion des catastrophes et assainissement : fait-on face à un trio perdant en termes de gestion des inondations ?

La gestion des eaux pluviales et des inondations en générale est tributaire de nombreux autres services essentiels tels que l'eau, l'assainissement et les déchets (Le Jallé, 2013). L'analyse de politiques en matière d'urbanisme, d'assainissement et de gestion des catastrophes sur les deux territoires d'étude a permis de mettre en lumière plusieurs éléments importants.

Tout d'abord, en renforcement du processus de décentralisation, le Burkina Faso de même que le Mali ont mis en place un certain nombre d'outils de planification et de gestion sous la responsabilité des collectivités. Ces différents documents devaient permettre de faciliter le transfert de certaines compétences de l'État aux collectivités. Même si la présence de cette documentation reste à saluer, il ressort que le transfert de compétence sur la base des textes n'a pas été accompagné, sinon très peu, d'un transfert conséquent de capacité financière. Les collectivités se sont ainsi retrouvées, que l'on soit dans le cas de Bamako ou de Ouagadougou, avec un pouvoir financier et technique limité pour exercer au mieux toutes leurs responsabilités. Pourtant, en théorie, leur pouvoir administratif s'est renforcé à travers le cadre réglementaire et les politiques assez fournies que nous avons pu répertorier. Or pour le cas de Ouagadougou par exemple, l'article 36 du code général des collectivités territoriales stipule que *les transferts de compétences par l'Etat doivent être accompagnés du transfert aux collectivités territoriales des moyens et des ressources nécessaires à l'exercice normal de leurs compétences, dans les conditions prévues par la loi*. Ces clauses, qui pourtant sont sensiblement les mêmes pour Bamako (article 4, Loi n° 2017-052 du 2 octobre 2017 déterminant les conditions de la libre administration des collectivités territoriales), ne sont pas respectées par les États, ce qui fragilise le fonctionnement au niveau communal. Cette situation d'incapacité financière a été relevée lors de nos entretiens :

Nous sommes au nombre de 8 plus les 4 stagiaires APEJ (Agence pour la Promotion de l'Emploi Jeune). Ça ne suffit pas parce que nous sommes confrontés à des problèmes logistiques. Un service de 9 agents et nous n'avons qu'une seule moto. Ça entrave un peu le travail. Responsable de collectivité territoriale à Bamako

En outre, les différentes politiques et stratégies mises en œuvre pour la gestion du territoire ne sont pas toutes récentes et peuvent présenter des insuffisances, d'où la nécessité de

leur relecture. Aussi, l'adoption des documents de planification au niveau des deux territoires peine à être réalisé du fait des lenteurs administratives et des différents blocages institutionnels. Cette adoption des documents se fait presque toujours à la fin de leur période de validité avec certains documents qui arrivent à échéance avant même leur adoption. C'est par exemple le cas à Ouagadougou pour le SDAGO et le POS. C'est aussi le cas pour divers documents de référence à Bamako :

Bien sûr dans tous les textes il y a des insuffisances ; c'est la raison pour laquelle il faut faire fréquemment la relecture des textes. Par exemple, le décret 346 qui concerne l'étude d'impact environnemental et social, le nouveau décret date du 31 décembre 2018 et l'ancien datait de 1998. La révision a été faite. C'est pour vous dire que chaque texte a ses insuffisances ; si on commence l'application tout de suite, on se rend compte des insuffisances. Malheureusement, les relectures peuvent prendre beaucoup de temps. Elu, commune 4, Bamako.

Globalement, on note la présence de documents-cadres en matière d'urbanisme, qui révèlent d'ambitieux programmes d'aménagement des territoires. Cependant, la mise en œuvre de ces programmes est inefficace du fait du manque de moyens techniques et financiers et du manque d'approbation des autorités chargées de les mettre en place. Ainsi, les Schémas directeurs mis en œuvre dans les deux villes ne se concrétisent que de manière partielle sur le terrain, à travers des fragments d'idées et de projets. L'analyse de quelques projets mis en œuvre au niveau des deux villes a révélé des difficultés quant à l'atteinte de leurs objectifs. En somme, on observe dans les villes une succession de projets qui restent non structurés, donnant l'impression d'un perpétuel recommencement. Des synergies d'action doivent être pensées pour leur meilleure efficacité. Pour promouvoir la fédération des efforts, des projets d'intercommunalités ont vu le jour à Ouagadougou avec la vision « Grand Ouaga » et à Bamako avec la vision « Grand Bamako ». On note en revanche que le projet d'intercommunalité de Ouagadougou est beaucoup plus abouti que celui de Bamako qui pourtant est plus ancien. L'organisation administrative bicéphale de la ville de Bamako, avec 6 communes et un district sans réel espace territorial pourrait expliquer une part de ces lenteurs. Cette organisation est en effet différente de celle de Ouagadougou où il existe une Mairie centrale, et des arrondissements qui lui sont toutes subordonnés. Pour remédier à cette situation, des projets de réformes étaient envisagés à Bamako. Ils visaient à faire du District une mairie centrale et à transformer les communes en arrondissements relais pour la mise en œuvre des politiques locales (Yalcouye, 2014). Cependant, avec les nombreuses crises politiques qui ont secoué le pays se manifestant

récemment par un coup d'État militaire, le projet semble aux oubliettes au grand plaisir des maires des communes qui s'y opposaient farouchement. Ces derniers voyaient dans la mesure une volonté de l'État central de reprendre la main. À notre avis, leur opposition aux projets s'explique plus par les possibilités de perte de leurs compétences actuelles, et donc de leur pouvoir politique. Même si le cas de Ouagadougou semble faire école avec la mise en place du SDAGO pour l'intercommunalité du Grand Ouaga, cette dernière ne s'est pas faite sans embûche. La révision du 1^{er} SDAGO entamé depuis 2009 n'a en effet pu être effective qu'en 2020 du fait notamment des divers changements et blocages institutionnels.

Par ailleurs, notre analyse des politiques nous a permis de faire ressortir des insuffisances en termes de gestion de l'assainissement, à la fois à Ouagadougou et à Bamako. Là encore, la ville de Ouagadougou malgré les insuffisances semble tirer son épingle du jeu avec la mise sur pied du schéma de gestion des déchets solides et du schéma de drainage des eaux pluviales. Cependant, la question de l'assainissement dans les deux villes reste globalement préoccupante, en dépit des efforts consentis dans le domaine. On note une insuffisance du réseau d'assainissement et de nombreuses lacunes dans la gestion de la filière des déchets.

Enfin pour ce qui concerne les questions domaniales et du foncier, il ressort de nombreux manquements notamment pour ce qui concerne le lotissement et la construction de logements. Tout d'abord, le survol des politiques foncières et les discussions menées avec les premiers acteurs des deux territoires font ressortir que la législation foncière proposée par les États n'est que partiellement appliquée, quand elle n'est pas totalement occultée dans certaines situations. Elle doit en effet s'accommoder de l'existence d'autres règles parallèles liées aux coutumes ou aux usages des communautés, et ancrées dans les pratiques foncières. Il s'ensuit que le droit foncier est plus complexe et surtout pluriel. Ensuite, la viabilisation des espaces habités n'est pas toujours effectuée, soit du fait de la responsabilité de l'État, soit du fait des populations elles-mêmes. En effet, les différents échecs relatés dans les projets d'urbanisme montrent que dans certains cas, les étapes du lotissement ne sont pas respectées par les autorités, entraînant des difficultés. Pour ce qui est de la responsabilité des populations, elles s'installent souvent de manière illégale dans des espaces appartenant aux domaines de l'État et qui n'ont pas encore été viabilisés.

L'État donne un espace ; et les services de la mairie viennent faire l'état pour la viabilisation ; mais les populations viennent s'installer avant que la viabilisation ne soit faite. À Djicoroni, on a des routes principales qui n'ont pas de canalisation..

Elu Commune 4, Bamako

Enfin, pour faire face à l'installation anarchique des populations ou rendre le développement urbain des villes plus conformes aux attentes nationales et internationales en matière d'urbanisme, des opérations de relocalisation et de déguerpissement ont été entreprises. La répression sur la base de la loi se présente en effet dans bon nombre de cas comme la solution aux problèmes d'installation illégale des populations. Mais, elle bute à des principes sociaux et des revendications de tous ordres, qu'il devient de plus en plus difficile d'outrepasser. Les gouvernants adoptent de moins en moins une position ferme, car ils ne sont plus dans la logique des opérations dites « commando » menées sous les différentes révolutions pendant lesquelles force revenait entièrement à la loi. À présent, des considérations d'ordre social limitent de plus en plus l'action de l'Autorité.

Nous, nous sommes un service de répression, mais au Mali ici la répression on ne peut pas la faire à la lettre, surtout quand on travaille avec des élus. Tu convoques quelqu'un à Darsalam, la personne trouve un maire à Darsalam, lui remet la convocation et le maire vient te voir. Vous voyez ce que ça fait. C'est compliqué. C'est des situations comme ça. On ne peut pas appliquer les textes à la lettre. Dans un pays où il y a trop de "social", c'est difficile. C'est tous ces problèmes qu'on a.

Elu commune 6, Bamako

Pour résumer notre analyse des politiques de gestion des inondations, nous pouvons retenir qu'elles butent sur un ensemble de difficultés qui ont quasiment toutes un lien avec les politiques des secteurs de l'urbanisme et de l'assainissement. La mise en œuvre de ces politiques laisse à désirer dans l'ensemble, ce qui entrave l'application des orientations en matière de gestion des catastrophes liées aux inondations. En outre, le cadre politique de la gestion des catastrophes se caractérise par un processus territorial de décentralisation qui demande encore à être renforcé et perfectionné. Il est le socle sur lequel repose la gestion de l'aléa et des vulnérabilités au niveau des territoires. Aussi, les risques naturels restent très ancrés à l'environnement physique et social des territoires. Du reste, c'est bien parce que'il existe une société ou des enjeux sociaux précis sur un territoire donné qu'il se crée un intérêt pour la gestion des aléas et des risques. Or, le contexte social est le résultat de diverses politiques mises en œuvre au niveau territorial. Il imprime aux individus « la capacité à agir à partir de soi » (Soulet, 2005) indispensable à toute gestion efficiente des risques naturels. Cette gestion exige donc l'existence ou le développement de conditions de mise en capacité des populations pour

que celles-ci puissent se préparer ou absorber le choc créé par les risques. Ces conditions restent induites par les politiques qui se révèlent ainsi être pour nous des marqueurs importants de vulnérabilité. Par exemple, les politiques publiques jouent, avec les institutions locales et nationales, un rôle essentiel dans la facilitation de l'adaptation des populations en impactant l'accès et le contrôle des ressources (Dazé et al., 2010). Tout au long de notre analyse du cadre politique de gestion des inondations à Ouagadougou et Bamako, nous avons constaté que le risque inondation est tributaire des secteurs de l'eau, de l'assainissement et de l'urbanisme. Pour nous donc, il serait utopique et hasardeux de vouloir mener à terme une analyse des vulnérabilités face aux inondations sans considérer les principales politiques en lien avec ces secteurs. C'est autour d'eux que se construisent les processus et liens sociaux de fragilisation commune face aux inondations. Leur analyse est par conséquent incontournable pour lutter contre les processus sociaux qui intensifient la vulnérabilité face aux inondations. En effet, certaines personnes sont rendues vulnérables du fait d'un simple choix d'un type d'organisation sociale, actionné par des choix politiques.

En somme, les politiques de réduction des risques naturels sont fortement conditionnées par la volonté des États. Les collectivités territoriales constituent les chevilles ouvrières de la vision de l'État central. Elles sont appuyées dans leurs missions par des acteurs de la société civile et des acteurs privés. De même, les partenaires techniques constituent les principaux financeurs des actions envisagées, qu'ils participent également à mettre en œuvre par leur appui technique. Ainsi, la mise en œuvre des politiques publiques de réduction des risques naturels nécessite l'implication de plusieurs acteurs issus de l'état, des collectivités territoriales et du public. Leur capacité de réponse et leurs influences sur la gestion des inondations ne sont pas négligeables et présentent un intérêt pour la compréhension de la vulnérabilité. Pour ce faire, le chapitre suivant s'attèle à étudier les logiques d'intervention et d'interactions qui existent entre ces différents acteurs à Ouagadougou et Bamako.

Chapitre 9. Capacité de réponse des acteurs aux inondations : un foisonnement de gestionnaires pour des résultats mitigés

Introduction

Les territoires urbains sont le siège de véritables jeux d'acteurs qui y exercent des actions souvent divergentes dans le but d'atteindre leurs objectifs. Ils expriment ainsi parfois différemment et à travers des mesures quelques fois contradictoires leurs besoins sur l'espace urbain de vie. Ces différentes actions peuvent avoir une influence positive sur la vulnérabilité des populations aux inondations ou les impacter négativement en interférant sur d'autres mesures déjà entreprises.

L'analyse de la notion de système d'acteurs dans la gestion des inondations revêt par conséquent tout son sens du fait qu'aucun acteur n'agit de manière isolée, mais plutôt au sein d'un système complexe d'interactions. Au-delà même des actions posées par chaque acteur, les interactions en elles-mêmes peuvent agir sur l'efficacité des mesures entreprises. Il est donc intéressant de les analyser pour comprendre les différents freins qui minent une bonne gestion des risques au niveau politique et institutionnel.

C'est le principal objet de ce chapitre qui se penche sur l'interaction entre les différents jeux d'acteurs afin de mieux cerner la gestion du risque inondation en zone urbaine sahélienne. Pour y parvenir, nous analysons d'une part le rôle des acteurs dans la gestion des inondations à Ouagadougou et à Bamako et les difficultés auxquelles ils doivent faire face (section 9.1). D'autre part, les interactions entre acteurs et sociétés sont passées au peigne fin, afin de mettre en évidence les logiques de gestion territoriale (section 9.2.).

9.1. Les structures nationales au cœur de la gestion des crises liées aux inondations

Plusieurs acteurs interviennent directement ou indirectement dans la gestion des inondations au travers d'institutions variées. Certains d'entre eux se retrouvent à la fois à Ouagadougou et à Bamako sous la même dénomination et avec les mêmes prérogatives, à quelques exceptions près. L'analyse des prérogatives de ce système d'acteurs est effectuée dans cette section afin de mieux comprendre les capacités de réponse face à une inondation à Ouagadougou et Bamako. Les structures municipales, ministérielles, privées et organisationnelles (ONG et associations) qui interviennent dans la gestion des inondations ne

seront pas formellement présentées. Le détail de leur compétence n'est en effet pas d'un grand intérêt pour cette analyse. Par contre, les principales structures qui interviennent directement dans la gestion de crise sont présentées dans cette partie pour comprendre par quel mécanisme se met en place la coordination de l'action en lien avec les risques.

9.1.1. La direction générale de la protection civile (DGPC) : une institution de gestion des inondations présente à la fois au Mali et au Burkina

La DGPC est en charge au Mali de la coordination au niveau national de la réponse aux catastrophes (loi n° 06-004 du 6 janvier 2006) et des actions de secours. De ce fait, elle est rattachée au ministère de la Sécurité intérieure et de la Protection civile. Elle est chargée :

- d'organiser, coordonner et analyser les actions de Prévention et de Secours en cas de catastrophes à travers la mise en œuvre du Plan ORSEC (Organisation des secours),
- de participer à élaborer les plans de secours et de protection et les mettre en œuvre,
- d'assurer la protection des personnes, des biens et de l'environnement en cas de sinistres ou de catastrophes,
- de gérer les moyens logistiques affectés à l'exécution de ses missions, de veiller à la sensibilisation du public et d'exécuter la politique nationale en matière de protection civile.
- Elle effectue également des actions de réhabilitation après les sinistres, calamités et catastrophes et participe aux opérations de maintien de la paix et aux missions humanitaires.

Au Burkina Faso, la DGPC rattachée au Ministère de l'Administration Territoriale et de la Décentralisation (MATD) est chargée de définir l'ensemble des mesures que requiert la sauvegarde des biens et des personnes en cas de catastrophes majeures. Elle est ainsi responsable de :

- l'élaboration et l'implémentation des lois concernant la réduction et la gestion de risque de catastrophes,
- la conception et la mise en œuvre des plans de prévention des risques, des plans d'organisation des secours et des politiques de prévention en matière de protection civile,
- l'information, de la sensibilisation et de la formation des populations en matière de protection civile
- la direction des actions de réponse rapide et secours face aux catastrophes.

- Elle appuie également les collectivités à la mise en œuvre de la protection civile et gère les questions ayant trait aux migrations.

Au niveau des deux villes, la DGPC apporte les premiers secours et assure le sauvetage et la sécurité des personnes à travers une de ses composantes (la Brigade nationale des Sapeurs-Pompiers). Dans les deux capitales, la DGPC joue un rôle primordial à la gestion des risques de catastrophes et par ricochet à la gestion des inondations. La mise en œuvre de ces actions de sauvetages tout comme la gestion de crises en général implique l'élaboration de mécanismes de collecte de fonds. C'est à cet objectif que répond la création des fonds nationaux de solidarité.

9.1.2. Le Fonds National de Solidarité (FNS) ou fonds de solidarité national (FSN)

Au Mali, le Fonds de Solidarité nationale (FSN) est un établissement public à caractère administratif (EPA), créé par l'ordonnance n° 01-052/PRM du 28 septembre 2001 pour contribuer à l'atténuation des inégalités et à la réduction de la pauvreté. Pour atteindre cet objectif, la FSN met en œuvre des initiatives de recherche de financement auprès de partenaires publics ou privés. Son action dans la gestion des risques s'inscrit dans son champ d'intervention 5 à savoir la mise en place d'action d'urgence visant à corriger une situation imprévisible ou transitoire dont la solution ne peut souffrir de longs délais de préparation.

Pour le cas du Burkina Faso, le Fonds National de Solidarité est une structure burkinabè à caractère social et humanitaire, créé par Décret N° 2008-715/PRES/PM/MEF/MASSN et qui est sous la tutelle du ministère en charge de la solidarité nationale. Son objectif est de développer la solidarité entre individus en cas de catastrophe à travers la collecte et l'utilisation de dons pour la réponse. Le fonds intervient ainsi dans la mise en œuvre du plan national d'organisation et de secours d'urgence et de réhabilitation (PNOCSUR). Ainsi, il soutient les actions de secours d'urgence en faveur des victimes de catastrophes naturelles et de crises humanitaires et apporte un appui financier et/ou matériel à la réalisation de programmes de réhabilitation.

9.1.3. Les structures de gestion de crises propres à chaque pays

Pour atteindre les résultats escomptés en matière de prévention et de gestion des catastrophes, la mise en place d'une structure de coordination des différents intervenants sous forme de plateforme a été recommandée au niveau international. Elle se décline de manière spécifique dans chaque pays avec la création de structure connexe venant en appui à la DGPC (cas du Mali) ou arborant un rôle central de gestionnaire (cas du Burkina Faso).

9.1.3.1. Le Conseil National de Secours d'Urgence et de Réhabilitation (CONASUR)

Le Conseil National de Secours d'Urgence et de Réhabilitation est un organe national du Burkina Faso créé par décret N° 2004-624/PRES/PM/MASSN du 30 décembre 2004 relu au décret N° 2009-601/PRES/PM/MASSN/MEF/MATD. Sa mission est d'œuvrer à la prévention des catastrophes, d'organiser et coordonner les secours d'urgence et l'assistance humanitaire pendant les catastrophes ainsi que la réhabilitation. Il est placé sous la tutelle technique et administrative du Ministère de la Femme, de la Solidarité nationale et de la Famille et sous la tutelle financière du Ministère chargé de l'Économie et des Finances. Cette structure constitue au Burkina Faso la plateforme de prévention et de gestion des catastrophes et des crises humanitaires, dont la mise en place est recommandée au niveau international par la SIPC.

Le CONASUR est chargé entre autres de :

- veiller à la mise en œuvre de la Stratégie nationale de Réduction des Risques de Catastrophes,
- mettre en œuvre le Plan national multirisque de préparation et de réponse aux catastrophes en collaboration avec les départements ministériels concernés,
- coordonner les interventions à caractère social et humanitaire en cas de catastrophe, y compris l'alerte et la réhabilitation,
- développer une culture de prévention des catastrophes à l'endroit des populations et des élus locaux par l'information et la communication pour le changement de comportements,
- analyser l'ampleur des sinistres et préparer la déclaration pour l'appel à la solidarité nationale et internationale en cas de nécessité,
- contribuer à la mobilisation des ressources nécessaires à la réalisation du programme annuel.

La structuration du CONASUR est décentralisée jusqu'au niveau départemental. Il existe ainsi plusieurs démembrements du CONASUR :

- le Conseil régional de secours d'urgence (CORESUR) gouverné par le gouverneur,
- le conseil provincial de secours d'urgence (COPROSUR) dirigé par le haut-commissaire de la province,
- le conseil départemental de secours d'urgence (CODESUR) dirigé par le préfet.

- Les actions de prévention et de gestion des catastrophes au niveau villageois sont coordonnées par les conseils villageois de Développement (CVD) et au niveau communal par Conseil communal sous tutelle du maire.

Le CONASUR travaille selon une approche multirisque et couvre un large éventail de secteurs d'intervention sociosanitaire et économique. Dans son intervention, le CONASUR reste très sollicité pour les aspects gestions, principalement sur les questions de gestion humanitaire. Elle est censée être la structure coordonnatrice de la gestion des risques en planifiant la réponse et la réhabilitation. Cependant, dans la pratique, il ressort l'intervention pas toujours opportune de divers acteurs qui font parfois irruption dans la planification du CONASUR, en empiétant sur le dispositif global. À titre illustratif, durant les inondations de 2009, le maire de la ville de Ouagadougou est allé au-delà de sa sphère d'action en éclipsant presque le CONASUR et en se positionnant au niveau national, entraînant un dysfonctionnement de la réponse à la catastrophe. Les aides qui étaient acheminées transitaient par la mairie, et « la coordination était compliquée, car les décisions venaient de partout » (Ouédraogo & Sanfo, 2018).

Par ailleurs, il ressort que les interventions du CONASUR en matière de gestion des inondations restent particulièrement axées sur la réponse humanitaire aux catastrophes. La prise en compte des autres aspects de la gestion se révèle plus compliquée à mener de concert avec les actions humanitaires. Le manque de ressources humaines et de multidisciplinarité dans la structure (Bikienga & Garane, 2012) pourraient expliquer cette situation. Très peu d'agents du CONASUR d'après Bikienga et Garane (op.cit.) sont en mesure de conduire des opérations de secours d'urgence. Cette situation s'est également remarquée dans la gestion des inondations du 1^{er} septembre 2009 (World Bank, 2010) et plus récemment dans celles de septembre 2020. Par ailleurs, le statut de conseil du CONASUR en fait une structure purement administrative avec moins d'autonomie d'action qu'un établissement public de l'État (EPE) ou un établissement public à caractère administratif (EPA).

9.1.3.2. La plateforme nationale de gestion des risques au Mali (PNRRC)

Elle constitue au Mali un cadre national multisectoriel unique, sous tutelle du premier ministre, de concertation, d'analyse et de conseil pour la mise en œuvre de toutes les actions de prévention, de préparation, d'atténuation et d'intervention en cas de catastrophes. Elle a également été créée dans le but de se conformer aux recommandations internationales de la SIPC.

À ce titre, elle est chargée de :

- veiller à la mise en œuvre de la Stratégie nationale de Réduction des Risques de Catastrophes ;
- soutenir l'intégration durable de la dimension prévention et réduction des risques de catastrophes dans les politiques de bonne gouvernance, dans les stratégies, les plans de développement, et les programmes de réduction de la pauvreté ;
- valider tous les programmes et projets nationaux dans le domaine de la prévention et de la réduction des risques de catastrophes et promouvoir la collaboration entre toutes les structures intervenant dans le domaine des risques de catastrophes ;
- faciliter la mobilisation des ressources nécessaires aux programmes et projets de réduction des risques et à la reconstruction après les catastrophes ;

Créée par décret N° 2016-0974/P-RM du 27 décembre 2016, la Plateforme nationale pour la Réduction des Risques de Catastrophes comprend les organes suivants :

- un Comité interministériel de Réduction des Risques de Catastrophes dirigés par le Premier ministre,
- des Comités régionaux de Réduction des Risques de Catastrophes dirigés par les gouverneurs,
- des Comités locaux de Réduction des Risques de Catastrophes (niveau Cercle) dirigés par les préfets,
- des Comités communaux de Réduction des Risques de Catastrophes dirigés par les maires.

La plateforme nationale de Réduction des Risques de Catastrophe reste encore difficilement opérationnelle. Cependant, elle jouit de certaines facilités d'organisation avec notamment son secrétariat permanent qui est assuré par le ministère de la protection civil, auquel la DGPC est rattachée. Les difficultés de fonctionnement de la Plateforme nationale de RRC dans le cadre de la gestion du risque inondation sont inhérentes à la non-appropriation de cet instrument par les décideurs et à l'absence d'un cadre juridique clair matière d'inondation. Les actions en matière de prévention des inondations s'en voient limitées, puisque par exemple aucune délimitation des zones inondables n'a été effectuée par l'État malien ou par les collectivités. Aussi, le secteur de l'éducation à travers par exemple les laboratoires de recherche et les universitaires n'est pas associé à la coordination de la plateforme nationale de RRC puisque le plan national multirisque n'a pas prévu ce secteur dans la gestion des interventions. Cela limite les capacités de la plateforme en ce sens que le domaine de l'éducation regorge d'un savoir-faire en matière de cartographie et d'évaluation des risques, qui peut impulser une nouvelle dynamique à la coordination des actions et les faciliter sur le terrain.

Par ailleurs, la gestion de crise nécessite que soit mise à disposition, dans des délais courts, une aide alimentaire aux populations sinistrées pour éviter un sur-aléa lié à la survenue de famine. Des structures ont été créées à cet effet à Ouagadougou et à Bamako et sont abordées dans les sections qui suivent.

9.1.3.3. Société nationale de gestion du stock de sécurité alimentaire (SONAGESS)

Créé par décret n° 94 -233/PRES/MICM, la SONAGESS est une société d'État inscrite au registre du commerce du Burkina Faso et dotée d'une autonomie de gestion. C'est une structure-clé dans le dispositif de sécurité alimentaire du Burkina Faso et un élément de réponse à l'insécurité alimentaire structurelle. Elle dispose d'une expertise, d'un savoir-faire et d'infrastructures qui sont nécessaires à l'accomplissement de sa mission. Elle assure des missions régaliennes pour le compte de l'État en lien avec :

- la gestion d'un stock national de sécurité constitué de céréales locales
- la gestion des aides alimentaires
- la gestion d'un stock d'intervention pour le volet distributions, décidée par le gouvernement par exemple en cas de sinistres.

Bien qu'ayant un double statut commercial et social, les activités de la SONAGESS sont plus tournées vers le social. C'est une structure clé du dispositif de sécurité alimentaire au Burkina Faso, qui dispose d'une expertise reconnue et d'infrastructures indispensables à l'accomplissement de sa mission. Elle est cependant confrontée à des problèmes de financement et de manque de personnels, ce qui explique la non-réalisation de certaines activités. Il faut noter que les aides alimentaires reçues en période de crise alimentaire sont directement gérées par le CONASUR (Guissou et al., 2014), ce qui peut entraîner des conflits de compétences.

9.1.3.4. Le Commissariat à la Sécurité alimentaire (CSA) du Mali

Créé par décret n° 04-150/P-RM du 18 mai 2004, le commissariat à la sécurité alimentaire est une structure de l'État rattachée à la présidence de la République du Mali, qui est chargée de l'élaboration et de la mise en œuvre de la politique nationale de sécurité alimentaire.

À ce titre, elle veille entre autres à la constitution, à la reconstitution et à la bonne gestion du stock national de sécurité des banques de céréales. Par ailleurs, elle planifie, coordonne et contrôle les opérations de distributions de vivres dans les zones sinistrées.

Globalement, l'analyse des structures intervenant directement dans la gestion des risques et des inondations en particulier montre qu'il se dégage trois principaux groupes d'acteurs.

Il s'agit :

- des structures qui œuvrent spécifiquement durant la catastrophe pour le secours et la protection civile des populations (ex : DGPC et son « bras armé » la BNSP)
- des structures qui interviennent pour la mobilisation de ressources financières ou alimentaires pour assurer la réponse (ex : les Fonds Nationaux de Solidarité, la SONAGESS, le CSA)
- des structures qui interviennent dans la coordination globale de la gestion des risques avant, pendant et après la catastrophe (ex : les Plateformes nationales de Gestion des Risques, le CONASUR et d'une certaine manière la DGPC).

L'existence de plusieurs structures de gestion de crise évoluant chacune selon son domaine d'expertise constitue un atout majeur pour les deux territoires. En effet, elle permet une multiplication des forces et des capacités d'intervention sur le terrain. Ces structures nationales de coordination s'appuient toutes sur une organisation sectorielle de la gestion des crises qui repose sur des chefs de file ministériels (Tableau IV-2) et qui mobilise divers acteurs au niveau local. Ainsi, les communes, certaines sous-représentations locales de ministères, les Organisations non gouvernementales (ONG) ainsi que les acteurs privés et les partenaires techniques et financiers (PTF) interviennent en cas de catastrophes liées aux inondations. Ils viennent en appui aux structures nationales identifiées pour la coordination de la gestion. Certains ministères disposent de leurs propres services pour répondre de manière sectorielle aux urgences. Par exemple, au Mali, le ministère de la Santé, point focal du secteur « santé » dispose du Service d'Urgence et de Réponse aux Catastrophes (SURC) pour les urgences sanitaires. Au Burkina, cette compétence est assurée par le Centre des Opérations de Réponses aux Urgences Sanitaires (CORUS).

L'efficacité de la gestion des inondations dépend de la capacité de toutes ces structures à coordonner leur action sur le territoire et à exercer au mieux leur mission. En effet, à notre avis, une plus grande complémentarité des actions sur le terrain induit de meilleures capacités de gestion et de réponses aux crises liées aux inondations. Cependant, la synergie de l'action n'est pas toujours au rendez-vous du fait de difficultés financières, de superposition de compétences et d'une ambiguïté juridique par rapport aux attributions de chaque acteur.

Tableau IV-2 : Coordination sectorielle de la gestion des risques : Chefs de fils techniques et ministériels par secteurs (source : Plans de contingence nationaux du Mali et du Burkina Faso)

BURKINA FASO		MALI	
Secteurs ou clusters	Coordination nationale	Secteurs ou clusters	Coordination nationale
Santé	Ministère de la Santé	Santé	Ministère de la Santé et du développement social (MSDS)
Sécurité alimentaire	Ministère de l'Agriculture et des Aménagements Hydro agricoles (MAAHA)	Sécurité alimentaire	Commissariat à la Sécurité Alimentaire (CSA)
Nutrition	Ministère de la santé (MS)	Nutrition	Ministère de la Santé et du Développement social
Abris/Matériels de survie	Ministère de la Femme, de la Solidarité Nationale et de la Famille (MFSNF)	Abris/Matériels de survie	Ministère de l'Administration Territoriale et de la Décentralisation (MATD)
Education	Ministère de l'Éducation nationale, de l'alphabétisation et de la promotion des langues nationales (MENAPLN)	Protection/Sécurité	Ministère de la Sécurité et de la Protection Civile (MSPC)
Protection	Ministère des Affaires Étrangères, de la Coopération, de l'Intégration africaine et des Burkinabè de l'extérieur (MAECIABE)	Coordination/gestion des centres et sécurité populations et acteurs	Ministère de la Sécurité et de la Protection Civile (MSPC)
Gestion des centres/sécurité populations et acteurs	Ministère de l'Administration Territoriale et de la Décentralisation (MATD)	Eau, Hygiène et assainissement	Ministère de Mines, de l'Energie et de l'Eau (MEE)/Ministère de l'Environnement, de l'assainissement et du Développement durable (MEADD)
Eau, Hygiène et assainissement	Ministère de l'Eau et de l'Assainissement	Communication/prévisions météo	Ministère de la Communication et de l'Économie Numérique (MCEN)
Communications /prévisions météorologiques	Ministère de l'économie numérique, des postes et de la transformation digitale (MENPTD)	Logistique et Transport	Ministère des transports et des Infrastructures (MTI)
Logistique et Transport	Ministère des Transports, de la Mobilité Urbaine et de la Sécurité Routière (MTMUSR)		

En somme, les dispositifs nationaux que nous avons présentés dans cette section permettent de poser les bases pour une meilleure compréhension des dysfonctionnements au niveau de la gestion des catastrophes. Une première analyse effectuée dans cette section a permis de ressortir que les acteurs de gestion des risques sont souvent dans des positions concurrentielles avec d'autres institutions, notamment sur le plan humanitaire. En illustration de cette situation, nous avons présenté dans la section 9.1.3.1 la surreprésentation de la mairie centrale lors des inondations du 1^{er} septembre 2009, alors qu'elle est seulement membre d'une organisation sectorielle, elle-même sous la coordination du MATD (Tableau IV-2). La section qui suit présente de manière plus approfondie les systèmes d'interactions qui se mettent en œuvre sur le territoire et qui peuvent porter atteinte aux capacités de gestion et de réponses aux crises liées aux inondations.

9.2. Logiques d'interactions entre institutions publiques et acteurs dans la gestion des inondations et du territoire

9.2.1. Difficultés de leadership et problèmes de coordination dans la gestion des inondations

La gestion des inondations implique la mise en œuvre d'action pour réduire les risques et exige la participation de divers acteurs (partenaires, institutions gouvernementales, communautés...). Elle nécessite une bonne coordination de ces parties prenantes et de ce fait suppose une communication efficiente. Au Burkina Faso, les résultats mitigés des réponses aux nombreuses inondations qui ont secoué le pays sont des révélateurs des contradictions et des logiques institutionnelles divergentes. Des difficultés de coordination des acteurs intervenant dans la réponse aux inondations sont en effet mises en lumière à chaque catastrophe. La structuration même de l'organisme en charge de la coordination (le SP/CONASUR) au niveau décentralisé n'est pas étrangère à ces difficultés. Ainsi, on observe que les CORESUR, COPROSUR et CODESUR sont présidés respectivement par les Gouverneurs, les Hauts-Commissaires et Préfets, qui relèvent administrativement du ministère de l'administration territoriale et de la décentralisation (MATD). Pourtant, le CONASUR est une structure du ministère de la Femme, de la Solidarité nationale et de la Famille. Dans la pratique, les hauts responsables présidant les structures déconcentrées du CONASUR ont surtout plus tendance à travailler avec leur hiérarchie qu'avec le CONASUR, même lorsqu'il s'agit de gestion de catastrophes. La DGPC qui relève également du MATD et qui en plus est un organe géré par l'armée, sera ainsi plus facilement touchée et au cœur de la coordination que le CONASUR.

Cette structuration de la gestion des risques rend difficile la coordination et les difficultés se ressentent jusqu'à la base, au niveau des communes.

Dans la même lancée, le leadership du CONASUR n'est pas reconnu au niveau des acteurs et particulièrement au niveau de la DGPC. Cela se traduit par un manque de coordination des secours entre le CONASUR et la DGPC, qui favorise l'inefficacité de l'action de l'ensemble des intervenants. Il semble en effet régner au niveau national une sorte de confusion entre les missions de la DGPC et du CONASUR, à cause de chevauchement de compétences. En effet, les missions de sensibilisation ou de mise en place des plans de prévention et d'organisation de secours attribuées à la DGPC sont conçues en des termes si larges et peu précis qu'elles peuvent empiéter sur les missions du CONASUR. En effet, le CONASUR est également chargé de la mise en place du Plan National Multirisques de préparation et de réponse aux catastrophes, et de la mobilisation en faveur de la prévention. Or, la prévention peut être comprise comme englobant « des actions qui sont souvent considérées comme faisant partie de la phase de préparation à un désastre » (Gouvernement du Burkina Faso, 2009). Par conséquent, les missions de mise en œuvre de plan de prévention, assurées par la DGPC peuvent être perçues comme relevant également des attributions du CONASUR.

Par ailleurs, pour ce qui concerne les questions de migrations qui peuvent survenir des suites d'une inondation, elles sont normalement plus du ressort du CONASUR (missions humanitaires) que de la protection civile, même si elles sont incluses dans les attributions de la DGPC.

La confusion qui règne dans la réalisation des missions de la DGPC et du CONASUR entraîne ainsi des difficultés de mise en œuvre du leadership du CONASUR conféré par la loi. En effet, le positionnement de la DGPC dans le domaine de la gestion des risques supplante bien souvent le CONASUR, du fait même de son organisation interne. Cette structure de protection civile est en réalité majoritairement constituée de « haut gradé » de l'armée, pour qui il peut être assez difficile de se mettre sous le commandement de deux organisations civiles (le ministère de l'Administration territoriale et le CONASUR). Les entretiens réalisés avec les acteurs démontrent cette absence de reconnaissance de l'autorité du CONASUR par certains responsables de la DGPC. Pour eux, la DGPC est « *au cœur de la gestion des risques du fait de sa position centrale dans la gestion des crises* » et dans l'organisation des secours, et « *le CONASUR ne constitue qu'un groupe opérationnel sous son commandement* » (cf. entretien avec la DGPC).

Ainsi, la forte concurrence entre le CONASUR et la DGPC ne facilite pas la mutualisation des moyens pour une plus grande efficacité. Dans la même lancée, le ministère de tutelle du CONASUR a amplifié cette fragilisation de légitimité, avec la création de la direction générale de la solidarité et de l'action humanitaire (DGSAH), rendant encore plus complexe la coordination. Cette nouvelle structure en charge de l'action humanitaire rivalise depuis lors certaines compétences du CONASUR, notamment celles en lien avec la gestion humanitaire.

Ils [L'État] ont créé la DGSAH au niveau du ministère de la femme qui voulait concurrencer avec le CONASUR... pour des vellétés politiques ou dans un but purement financier ? je ne sais pas... La DGSAH c'est la direction générale de la solidarité et de l'action humanitaire. Mais ils se sont rendu compte de leur erreur. Actuellement les deux structures continuent de fonctionner, mais c'est un peu un gâchis. Personne ressource du CONASUR.

En outre, il n'existe pas pour le moment de centres de crise au CONASUR capable de réunir tous les acteurs en cas de catastrophes. Le CONASUR est en effet installé à Ouagadougou au 2^e étage d'un immeuble en location, qui ne contient pas de salles de réunion suffisamment grandes pour contenir un comité de crise dans son entièreté. La mise à disposition d'infrastructures et d'équipements de travail appropriés est pourtant un préalable pour toute gestion humanitaire efficace. Cependant, le Centre d'Opération et de Réponse aux Urgences Sanitaires (CORUS) qui appartient au cluster « santé » géré par le ministère de la Santé dispose d'une salle de réunion répondant aux normes internationales. Elle ne peut cependant être utilisée que dans le cadre d'une organisation de riposte sanitaire, lorsque le système de gestion d'incident du CORUS a été activé. D'ailleurs, pour ce qui concerne les risques d'urgences sanitaires qui peuvent survenir des suites d'une inondation, le leadership du CONASUR n'est également pas reconnu. Une personne ressource interrogée au CORUS indiquait que :

Le CORUS et le CONASUR sont au même niveau hiérarchique. La différence se situe en ce que le CORUS gère les urgences sanitaires alors que le CONASUR s'occupe des aspects humanitaires et de réhabilitation.
Personne ressource au service planification du CORUS.

Cette affirmation, contradictoire à l'organisation fixée par la loi, montre à quel point le CONASUR n'est pas perçu comme un centre de coordination général des risques naturels, quel qu'il soit. Même au niveau gouvernemental, le leadership du CONASUR n'est pas vraiment

reconnu. Lors des inondations du 1^{er} septembre 2009, les autorités burkinabè ont procédé, malgré l'existence du CONASUR, à la création d'un comité de crise ultérieurement rebaptisé Conseil d'Orientation des Secours d'Urgence, présidé par le Premier ministre. Cette structure a également rivalisé avec le CONASUR pour la coordination de l'action sur le terrain. « À l'analyse, la création des nouvelles structures [...] participe d'une volonté politique de placer la gestion des inondations sous le contrôle des autorités politiques, en clair, de maintenir stratégiquement une mainmise sur les interventions » (Ouédraogo & Sanfo, 2018).

Au Mali, des difficultés du même ordre ce sont présentées après la création par décret n° 2015 -0115-P-RM du ministère de la Solidarité, de l'action humanitaire et de la reconstruction du nord. Ses attributions concernent entre autres la mise en place d'un système de protection sociale et la coordination des actions humanitaires en situation de crise. Or les actions de missions humanitaires sont aussi dans les prérogatives de la DGPC au Mali. Ce manque de clarté dans les attributions des différentes structures peut poser de sérieux problèmes de coordination, comme ce fut le cas pour les inondations de 2014 à Bamako (CADRI, 2015). Aussi, le code de l'eau (article 38) responsabilise la direction en charge de l'eau de l'élaboration et de la mise en œuvre du plan de prévention des inondations, alors que la prévention est aussi du ressort de la DGPC d'après la réglementation. On note globalement au niveau de Ouagadougou et de Bamako une instrumentalisation de la gestion des risques au service d'enjeux sous-jacents économiques et politiques, qui entraîne l'octroi de missions à des structures, alors que d'autres structures ont déjà les mêmes attributions.

D'autres difficultés se posent en termes de gestion opérationnelle des crises. En effet, les populations sinistrées sont la plupart du temps accueillies dans des écoles, lorsqu'elles ne savent pas où aller après la survenue d'une catastrophe. Pourtant, l'utilisation d'école comme centre d'hébergement, même si elle arrive à dépanner provisoirement les populations, pose parfois problème. En effet, les inondations se produisent en général en fin de saison pluvieuse, alors que la rentrée scolaire est imminente, ce qui pose problème pour l'accueil des sinistrés.

« Le véritable problème c'est qu'on n'avait pas de sites d'accueil. Ils ont dit que les sites d'accueil ça coute cher. C'était dans les écoles qu'on a logé les gens. Cette année quand ça a débuté on a mis les premiers cas dans l'école de Djicoroni. Mais c'était à la veille de la rentrée et il fallait voir avec les services de l'État pour déloger ses gens. »

Elu, commune 4, Bamako

Les Etats pourraient doter les collectivités de tentes amovibles en prévision des inondations pour faciliter la gestion. L'usage de tentes a été utilisé avec succès à Ouagadougou pour la mise en place d'un hôpital mobile pour faire face aux urgences sanitaires et humanitaires⁴⁶. C'est donc une alternative à moindre coût envisageable à Ouagadougou et à Bamako, qui nécessite de mettre à contribution les terrains de football et les autres espaces vides.

Au-delà des aspects d'accueil des sinistrés, il se pose globalement et de manière criarde des problèmes de ressource financière pour le fonctionnement des plateformes de réduction des risques. L'adjoint au maire de la commune 4 relevait d'ailleurs que « la difficulté de fonctionnement des comités de veille, c'est la motivation. Le volontariat ne marche pas. » Tous ces éléments freinent l'engagement des acteurs pour une gestion optimale du risque et réduisent les élans d'investissements des collectivités dans l'équipement et la réalisation d'infrastructures de gestion du territoire adéquates et durables.

Par ailleurs, la coordination avec les ONG est également problématique notamment pour ce qui concerne les actions humanitaires. Celles-ci ont en effet leur propre ligne de conduite qui peut entrer en porte-à-faux avec les mesures entreprises par les structures de l'État et donc être source de désordre.

« Ce sont les partenaires qui sont à la base du désordre. Ils ont tout mélangé à vouloir fournir eux-mêmes [par le biais d'équipes mobilisées sur place] l'aide alimentaire sans passer par nous et sans coordonner. Maintenant, les populations sont habituées à prendre à gauche à droite après les catastrophes, ce qui fait des gaspillages et des problèmes. Ce sont pourtant des erreurs à éviter ».

Personne ressource du CONASUR.

Ainsi, si les distributions de l'aide lors des catastrophes naturelles ne sont pas coordonnées au niveau national, des problèmes sont susceptibles de survenir. Ils sont caractéristiques de la divergence des logiques sociales à l'œuvre et entraînent une certaine confusion dans les interventions. Dans ce sens, Ouédraogo et Sanfo (2018) ont par exemple souligné le non-respect des règles du jeu par les ONG humanitaires lors des inondations du 1^{er} septembre 2009 à Ouagadougou, avec une non-harmonisation des interventions et des modes de distributions de vivre. Cette situation est caractéristique de l'intervention humanitaire dans la zone sahélienne en cas de catastrophe. De Sardan (2011) notait d'ailleurs au Niger lors de la

⁴⁶ <https://www.voaafrique.com/a/les-etats-unis-offrent-un-h%C3%B4pital-mobile-au-burkina/5871182.html>, consulté le 01/06/2021

« famine »⁴⁷ qui a touché le pays en 2005 que « les ONG extérieures se comportaient souvent en pays conquis et ne prêtaient que peu d'attention à l'État, aux autorités locales et aux maires ». Ces ONG au Niger ont outrepassé, en forçant la distribution gratuite de vivres, les craintes du gouvernement nigérien que ces aides n'entraînent une dépendance des populations. La gestion des catastrophes au Sahel montre à travers cet exemple que des stratégies opportunistes peuvent se mettre en place avec l'aide humanitaire, avec des effets pervers générés du côté des donateurs comme du côté des bénéficiaires (revente des vivres par les récipiendaires, construction de crises humanitaires pour justifier certains agendas, positionnement tactique des ONG, logiques concurrentielles...). Certaines populations élaborent des tactiques pour tirer un maximum de profit et bénéficier de l'aide, quitte à se faire passer faussement pour très vulnérables. Pour le cas spécifique des inondations à Ouagadougou par exemple, la réinstallation des populations sinistrées dans les zones vulnérables a été interprétée comme une stratégie élaborée par les populations pour bénéficier de l'aide humanitaire de l'État. Cela a d'ailleurs conduit la présidente du CONASUR à adresser une correspondance à la mairie de Ouagadougou indiquant qu'il n'y aura plus d'assistance de la part de sa structure dans les zones inondables de la ville (cf. Annexe 17). Dans le même temps, certaines ONG d'urgence mettent en place des interventions sur le terrain « qui se vendent bien au niveau international » sans vraiment se préoccuper du lendemain des populations. Elles privilégient prioritairement la réalisation de leurs actions respectives parfois en totale contradiction avec les politiques nationales et au détriment de l'efficacité globale et de la cohérence de la réponse (de Sardan, 2008, 2011; Hours, 1992, 2002; Ouédraogo & Sanfo, 2018). Cette situation critiquable des logiques sous-tendant l'aide humanitaire avait d'ailleurs amené Condamines (1988) à écrire : « le don est un produit ; le donateur un client ; l'ONG une entreprise et la charité un marché ».

Globalement, l'action humanitaire à Ouagadougou et à Bamako manque de synergie d'action principalement à cause d'un dialogue de sourds entre les acteurs, chacun agissant selon ses prérogatives propres, en informant au mieux les autres sans vraiment communiquer. La communication joue pourtant un rôle crucial dans le processus de gestion des risques, car elle soutient les capacités des populations et de tous les acteurs à la prise d'actions avisées. Le

⁴⁷ La famine de 2005 au Niger est perçue par De Sardan comme une construction médiatique orchestrée par l'ONG médecin sans frontière pour attirer l'attention internationale sur la malnutrition infantile et pouvoir utiliser sur le terrain son nouveau traitement à base de Plumpy nut. L'ONG a présenté la crise alimentaire conjoncturelle de 2005 comme une famine (phénomène exceptionnel), introduisant une confusion délibérée entre un évènement chronique, la malnutrition infantile et une crise alimentaire régulière et épisodique liée à une crise agricole.

manque de communication entre acteurs ressort des entretiens réalisés dans notre étude comme un frein à la bonne gestion des inondations et au cadrage des rôles assignés à chaque acteur. Ce manque de communication explique ainsi le chevauchement entre les activités menées et même la création de plusieurs entités différentes avec les mêmes attributions et les mêmes secteurs d'intervention.

En somme, les logiques d'interaction entre acteurs intervenant directement dans la gestion des inondations révèlent des concurrences malsaines entre institutions, un manque de communication et des difficultés en termes de leadership bafoué et de mauvaise coordination. Cependant, les problèmes relevés dans cette gestion des inondations ne concernent pas uniquement les acteurs directement liés à la prise en charge des risques. En effet, les interventions de prévention, de gestion de crise et de réhabilitation interviennent dans des contextes territoriaux plus globaux, qui mettent en lumière d'autres types d'interaction liés à la gouvernance même des territoires. Les secteurs de l'urbanisme, du foncier, assainissement urbain voient également l'intervention d'un système complexe d'acteurs, dont l'organisation et la coordination peuvent influencer sur la gestion des risques liés aux inondations.

9.2.2. Contraintes de gestion par les acteurs de l'assainissement et de l'urbanisme : des impacts directs sur l'occurrence des inondations

Le mode de gestion des filières de l'assainissement et de l'urbanisme par les acteurs a des répercussions importantes sur l'occurrence des inondations. En effet, l'analyse des politiques et mesures élaborées dans ces domaines à Ouagadougou et à Bamako (chapitre 8.4) a révélé des difficultés d'organisation de ces secteurs, qui peuvent en partie être imputables aux logiques des acteurs en présence. Cette section aborde la coordination des acteurs et les modes de gestion qu'ils mettent en œuvre dans les secteurs de l'assainissement et de l'urbanisme.

Concernant le volet assainissement par exemple, des conflits de compétence au niveau des structures de l'Etat ne sont pas rares au Burkina Faso et au Mali, ce qui peut être à la base d'inaction ou de mauvaise attribution des budgets aux activités importantes. Ainsi, pour l'entretien des ouvrages hydrauliques (curage des caniveaux), jusqu'à trois acteurs peuvent se retrouver sur les mêmes tronçons, avec chacun un budget alloué pour l'activité. Il s'agit des communes, des services des ministères en charge des Infrastructures et de ceux en charge de l'urbanisme.

« Le curage des caniveaux relève de la mairie du district, il y a une cellule appelée la CETAC [Cellule Technique d'Appui aux Collectivités], il y a aussi le service de la direction régionale des routes. Le ministère c'est les collecteurs, la direction des routes c'est les caniveaux qui longent les voies, la CETAC c'est les collecteurs à l'intérieur des quartiers ».

Responsable DSHUVA, District de Bamako

« La DIMU [Direction des Infrastructures et de la Mobilité Urbaine] [...] intervient ainsi dans l'entretien des ouvrages hydrauliques en partenariat avec le ministère des Infrastructures. Mais on peut se retrouver tous sur un même projet de curage... La difficulté c'est que personne ne veut donner un projet et on ne sait pas qui fait quoi et où ».

Responsable DIMU, commune de Ouagadougou

Bien qu'une délimitation des compétences ait été définie par les lois en vigueur dans les deux pays, elle manque de clarté pour la gestion opérationnelle. Ainsi, certains tronçons situés en ville à Ouagadougou ou à Bamako relèvent de la compétence de deux, voire des trois structures sus-citées. Il survient ainsi des conflits de compétences, qui parfois aboutissent à la non-réalisation de travaux d'entretien sur certains tronçons et à une désorganisation du secteur. Ils se posent également le problème de sélection des entreprises pour la réalisation des travaux. Ceux-ci manquent quelques fois de qualifications avérées pour conduire les activités avec professionnalisme. Ainsi, certaines entreprises se sont dotées de compétences pour être éligibles aux marchés publics, profitant par la même occasion de relations d'interconnaissances au niveau de l'État pour se voir confier les travaux. L'atmosphère de concurrence qui prévaut dans les différents services ne facilite pas une concertation et une communication efficiente pour planifier au mieux les travaux d'entretien.

Il y a un caniveau devant la mairie qui a été curé par une entreprise par l'entremise de la direction des routes. Il n'y a eu aucune information, [pas] même un bonjour pour nous dire nous sommes en train d'exercer sur votre territoire... dans les textes, le curage des collecteurs est du domaine régional donc du District et les caniveaux c'est purement local. Mais je vous avoue que dans les faits, que ce soit les collecteurs ou les caniveaux, tout est curé sans information des collectivités généralement avec des pratiques pas conformes. Ils curent et laissent aux abords. Ça nous oppose à nos populations.

Elu, commune 4, Bamako.

Aussi, l'incivisme des populations qui déversent leur déchet solide ou leurs eaux usées directement dans les ouvrages d'évacuation des eaux pluviales favorise la surcharge de ces derniers, augmentant les risques d'inondations. C'est sans compter les risques sanitaires

auxquels ces populations s'exposent, du fait des pollutions qu'elles contribuent à disséminer, puisque les eaux pluviales collectées sont acheminées vers les plans d'eau utilisés pour la production d'eau potable.

S'il y a une famille qui a une toilette branchée directement sur les collecteurs, on les sanctionne [l'amende s'élève à 18 000 francs CFA]. Cela arrive pratiquement tous les jours. On a eu à mener une enquête auprès des populations [commune 3] et il s'est avéré que tous les ménages [aux abords des collecteurs] sont branchés sur les collecteurs, tous les ménages.

Elu, commune 4, Bamako

Concernant le volet gestion urbaine, les lois régissant l'urbanisme, la construction et la promotion immobilière ont favorisé l'émergence de nombreuses sociétés immobilières à Ouagadougou et à Bamako. Plusieurs de ces sociétés ont vu le jour pour faire face aux difficultés liées au logement. Elles constituent ainsi des acteurs clés dans l'organisation du secteur de l'urbanisme dans nos deux villes d'étude. Cependant, la plupart des sociétés immobilières ne s'occupent que d'activités foncières et n'exécutent pas réellement de programmes immobiliers (Bertrand, 2019; Sory, 2019). La première société immobilière a acquis son agrément au Burkina Faso par l'arrêté n° 2009-001/MHU/SG/SEP du 1er juin 2009 portant octroi d'agrément pour l'exercice de l'activité de promotion immobilière et/ou foncière. Au Mali, les premiers agréments datent de 2008. Or, ces sociétés immobilières, à cause de leur nombre, contribuent à la pression sur les terres et à la spéculation foncière qui fait présentement rage dans les deux villes, tout cela sur fond de corruption et de prédation foncière. Ils incitent le bradage des terres par les pouvoirs villageois sur fond de gestion chaotique de l'urbanisme. À Ouagadougou par exemple, la croissance exponentielle de ces sociétés est d'autant plus importante qu'un rapport du ministère de l'habitat et de l'urbanisme a dénombré plus de 200 agréments octroyés en 3 ans entre 2016 et 2019⁴⁸. Les difficultés liées aux agissements des acteurs de l'immobilier au Burkina ont d'ailleurs conduit les premiers responsables de l'urbanisme à une suspension du traitement des dossiers de promotion immobilière, en 2019 et ensuite en 2021 (Annexe 18). À Bamako, la situation du foncier n'est pas plus reluisante qu'à Ouagadougou. En effet, les sociétés immobilières, de par leur agissement favorisé par les pratiques clientélistes du marché foncier, « contribuent à rendre délétère le climat politique de la capitale » (Bertrand, 2019). Ces sociétés immobilières sont plus dans la production de lots à

⁴⁸ <https://www.reporterbf.net/promotion-immobiliere-le-burkina-compte-268-societes-agreees/>, consulté le

03/01/2020

usage d'habitation que dans la promotion de secteur comme l'agriculture (Camara, 2017). Elles participent de ce fait à une imperméabilisation plus marquée des sols bamakois, ce qui impacte l'occurrence des inondations dans la ville.

Aussi, bon nombre de ces sociétés ne sont pas en règle vis-à-vis des États malien et burkinabè, ce qui cause des difficultés pour les populations. Celles-ci, las de se faire arnaquer dans la quête d'un « chez-soi » se retournent vers les zones illégales, beaucoup plus accessibles sur le plan financier et avec moins de tracasseries administratives. La mauvaise gestion de certaines sociétés immobilières contribue ainsi à la consolidation de l'habitat spontané en ville.

En définitive, les domaines de l'assainissement et de l'urbanisme sont caractérisés par une diversité d'acteurs au rôle diversifié. Il s'agit :

- des structures municipales et ministérielles qui sont chargées d'assurer une bonne gestion du territoire selon les compétences qui leur ont été octroyées par la loi. Ils jouent ainsi un rôle important dans la protection de l'environnement, la réalisation et l'entretien des infrastructures de voirie et dans l'assainissement. Il gère également les terres appartenant au domaine communal.
- Des ménages et des usagers : ils constituent les principaux récipiendaires des mesures en matière d'assainissement et d'urbanisme. Leur rôle est crucial dans l'appropriation des équipements et infrastructures urbaines et dans la contribution au financement de la gestion communale à travers le paiement des taxes. Ce sont ces populations qui peuvent enclencher une dynamique durable de développement, mais certains facteurs socioculturels, organisationnels et économiques limitent les possibilités d'action.
- Des partenaires techniques et financiers (PTF) et des ONG et associations : qui appuient les structures ministérielles et communales dans la gestion du territoire en finançant des projets et programmes de développement urbain et d'amélioration de l'assainissement.
- Des acteurs privés comme les bureaux d'étude qui contribuent, à travers leur expertise, à la construction et au diagnostic des territoires. On peut également adjoindre à ce groupe les sociétés immobilières qui jouent un rôle notable dans la construction de logements.

La coordination de tous ces acteurs dans la gouvernance du territoire pose problème du fait de leurs logiques d'actions parfois divergentes. Par ailleurs, la non-application des textes réglementaires en vigueur favorise un certain désordre dans ces deux secteurs. On note également une sorte de prédation de divers acteurs par rapport au domaine foncier et un accaparement des terres à des buts de construction au détriment de l'agriculture, même en zone périurbaine.

Synthèse : Coopération entre acteurs : Quelle préconisation face aux difficultés du système d'organisation ?

La gestion efficace des inondations implique deux aspects primordiaux : la prévention des inondations et la gestion des crises. Pour ce qui est de la gestion des crises, les plateformes nationales de réduction des risques de catastrophe sont au cœur du processus de gestion des inondations et travaillent de concert avec divers acteurs du développement pour assurer une gestion efficace du risque. Il s'agit entre autre des ONG à travers le secrétariat permanent des organisations non gouvernementales (SPONG), les partenaires techniques et financiers (PTF) et les structures ministérielles.

En analysant le mode de fonctionnement de chaque structure, on peut retenir que :

- la DGPC est très qualifiée pour les questions de protection civile, de sauvetage lors des catastrophes et donc dans la réponse face aux crises.
- Les actions de tous les acteurs sectoriels de la gestion des risques (DGPC, structures ministérielles comme le CORUS ou le SURC...) et des plateformes nationales de RRC se complètent durant toutes les phases de la gestion des crises (premiers secours, assistance, réhabilitation) et même durant la phase de prévention.
- La coopération entre la DGPC, les autres clusters de la gestion des risques et les Plateformes nationales de RRC est établie, mais il se pose un problème de réelle coordination. En effet, chacune des structures rend compte de ses actions à son ministère de tutelle sans qu'il n'y ait de synergie de rapport.
- L'organisation des plateformes nationales présente l'avantage d'être décentralisée passant au niveau régional jusqu'au niveau local et renferme tous les niveaux décisionnels en leur sein.

Au regard de cette situation, les plateformes nationales peuvent jouer un rôle stratégique de coordination de la gestion. Ainsi, la coordination pourra être améliorée si la structure de tutelle de ces plateformes est à un niveau opportun (rattachement à la présidence ou au premier ministère par exemple) pour permettre une coordination efficace des acteurs. Pour le cas particulier du Burkina Faso, la plateforme nationale (le CONASUR) est mise sous tutelle du ministère en charge de l'action sociale avec comme vice-président le ministre de l'Administration territoriale (Figure IV-4). Pourtant cette structure est censée coordonner l'action de plusieurs ministères (une vingtaine pour le pays). Nous préconisons que cette

structure soit rattachée au premier ministère (comme c'est le cas au Mali) ou à la présidence de la République. En effet, en tant que structure de coordination, il est quasiment impossible que le CONSAUR puisse mener à bien ses missions en étant rattaché à un simple ministère. Il se posera forcément, comme c'est le cas à l'heure actuelle, des difficultés d'ordre hiérarchique, car aucun ministère en dehors du 1^{er} ministère ne peut se prévaloir d'être supérieur à un autre. Les différentes crises qu'a traversées le pays depuis la création du CONASUR ont d'ailleurs déjà montré au gouvernement la pertinence de cette proposition. En effet, lors des inondations de 2009, le gouvernement a été obligé de mettre sur pied une structure de coordination nationale, le Conseil d'Orientation des Secours d'Urgence, présidé par le Premier ministre, alors que le CONASUR existait et fonctionnait. Plus récemment, la riposte contre la pandémie à COVID 19 a encore poussé le gouvernement à créer un comité national de gestion des épidémies COVID-19 (CNGE COVID 19), également présidé par le Premier ministre. Pourquoi les différents gouvernements qui se sont succédé se sont-ils entêtés à perdurer dans cet imbroglio organisationnel (figure IV-4) alors qu'il suffirait une bonne fois pour toutes de rattacher la gestion du CONASUR au 1^{er} ministère ? La question reste posée et mériterait sans doute que l'on puisse s'y attarder dans des études spécifiques.

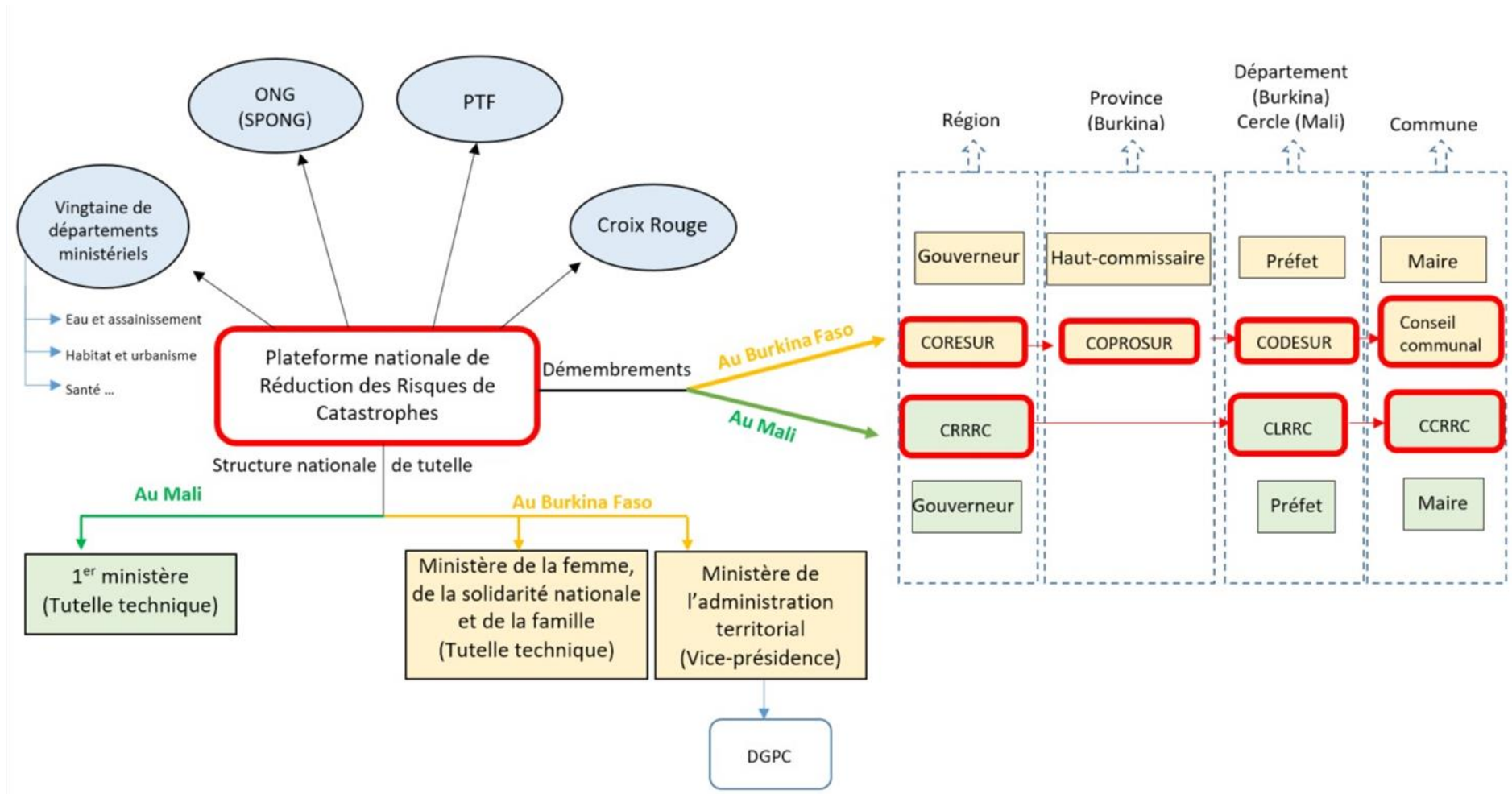


Figure IV-4 : Cadre institutionnel pour la réduction du risque de catastrophe (prévention, alerte, réhabilitation) (source : auteur)

Globalement, on note que le cadre institutionnel de RRC est éclaté avec l'intervention de nombreux acteurs aux rôles ambigus et parfois aux logiques contradictoires. Cette situation entraîne des actions peu coordonnées sur les deux territoires avec des difficultés notoires du fait de nombreuses prétentions au leadership. Elle est à la base de nombreux chevauchements dans les interventions des acteurs, ce qui conduit à l'inefficacité des mesures de prévention, de secours, de reconstruction et de réhabilitation. Les conflits de compétences fragilisent en effet la bonne gestion globale du territoire, notamment au niveau de l'assainissement et de l'urbanisme. Ainsi, l'observation des logiques locales au niveau de Ouagadougou et de Bamako laisse apparaître un système de configuration d'acteurs au sein duquel s'établissent des rapports de force et de concurrences, mais également des initiatives et des coopérations permettant d'importantes marges de manœuvre dans la gestion des risques, mais engendrant également diverses difficultés.

Pour ce qui est de la phase de prévention des inondations, elle implique d'intervenir sur l'aléa, de limiter les enjeux, de réduire les vulnérabilités et de prendre conscience du risque. La pluviométrie étant difficilement maîtrisable, les seuls moyens d'intervenir directement sur l'aléa consistent en trois options :

- la mise en œuvre de mesures structurelles actives
- la maîtrise de l'occupation du sol
- la mise en place de mesures structurelles passives.

Premièrement, mettre en œuvre des mesures structurelles dites « actives » (Vinet, 2010) consiste en la construction de barrages, de bassins de rétention et de réseau d'évacuation des eaux, ou à gérer les hydrosystèmes en entretenant les cours d'eau et plans d'eau. Ces éléments sont abordés au travers de plusieurs projets urbains en matière d'assainissement et de gestion foncière. Mais le succès de ces projets est limité par l'implication des populations et leur faible adhésion à mener des actions d'entretien et de protection vis-à-vis des ouvrages. En effet, selon les résultats de l'enquête que nous avons réalisée à Ouagadougou et à Bamako dans le cadre de l'analyse de la vulnérabilité sociale, les populations ne sont pour la plupart pas prêtes à exercer des actions pour l'entretien ou le nettoyage des ouvrages. Cette compétence relève plus des collectivités territoriales qui sont appuyées par diverses structures associatives. Cependant, du fait de la complexité de l'organisation territoriale, des difficultés d'accès au financement de projet et des problèmes de coordination des actions et de rivalité entre acteurs, ces mesures structurelles sont difficilement mises en œuvre sur les territoires. La prise en compte de mesures alternatives pour permettre une valorisation des eaux pluviales, allant à l'opposé d'une vision

hygiéniste consistant à évacuer le plus rapidement possible la ressource, peut être un moyen d'impliquer plus les acteurs à divers niveaux et de faire émerger des sentiments d'appartenance aux biens.

Bouraima (2019) mentionnait dans ses travaux sur l'assainissement au Burkina Faso que *l'environnement physique, les ressources disponibles, les équipements et les infrastructures sont exploités à outrance sans restitution et sans égards en termes de conservation, quand les gens n'ont pas suffisamment d'attachement affectif et symbolique dans la cité dans laquelle ils évoluent*. Inciter une valorisation des eaux pluviales à l'échelle individuelle ou du ménage est un moyen d'impulser cet attachement aux ouvrages et d'en favoriser l'entretien. Les mesures de récupération d'eau pour des usages ultérieurs domestiques ou non (maraîchage urbain, lavage des voitures...) s'avèrent ainsi pertinentes dans des villes sahéliennes qui d'ailleurs se trouvent fortement impactées par les pénuries de la ressource. Aborder la question des eaux pluviales dans une perspective de gestion intégrée de la ressource en eau (GIRE) est donc une opportunité à saisir (Le Jallé, 2013).

Deuxièmement, la limitation des enjeux passe par l'adoption de mesures non structurelles* en rapport avec la maîtrise de l'occupation du sol, la délocalisation des populations des zones vulnérables, l'interdiction d'occuper les espaces à risques et la sensibilisation. Divers processus de déguerpissements ont été mis en œuvre à plusieurs reprises dans nos territoires d'étude, comme nous l'avons mentionné dans l'analyse des projets. Cependant, ils ont montré leur limite avec la réinstallation des populations dans leurs localités premières et l'émergence de mécontentements envers le pouvoir central. Des tentatives de maîtrise de l'occupation du sol sont actuellement menées avec l'adoption de plusieurs lois et politiques en la matière, mais elles se heurtent à une spéculation foncière de plus en plus importante. Celle-ci prend sa source dans la volonté des populations d'avoir accès à la Terre en ville, et dans la manne financière que le foncier constitue à la fois pour les élus locaux et les promoteurs immobiliers. Ouagadougou et Bamako sont ainsi toutes deux en proie à des problèmes d'occupation du sol, exacerbés par la prolifération de zones d'habitats spontanés. Pour pallier ces difficultés, les autorités sont fréquemment contraintes de prendre des mesures tantôt pour limiter l'action des promoteurs immobiliers, ou pour suspendre les opérations de lotissements le temps d'y voir plus clair. L'habitat spontané constitue en plus une nouvelle source d'inondation puisqu'il imprime au paysage urbain des allures de bidonvilles et limite les possibilités de mettre en œuvre des ouvrages d'assainissement pluvial pour contrer le ruissellement. Une alternative envisagée par le Burkina pour cette problématique des zones

d'habitats spontanés est la restructuration respectueuse de l'habitat préexistant. Il n'est désormais plus envisageable de procéder à des déguerpissements de masse des populations dans l'optique de donner un meilleur visage urbain aux villes. Ces opérations peuvent être en effet considérées comme des violations flagrantes des droits de l'homme (ONU Habitat, 2014) notamment au droit de choisir librement sa résidence ou de ne pas être l'objet d'immixtions arbitraires ou illégales dans sa vie privée, sa famille et son domicile. La nouvelle forme alternative de restructuration des zones d'habitats spontanés consiste en l'aménagement de trames assainies, à la régularisation foncière et à la réalisation d'infrastructures de base de manière à impacter le moins possible les habitats déjà en place (Jaglin, 1995). Elle a été utilisée avec succès pour le quartier de Cissin, quartier au centre-sud de Ouagadougou et est envisagé pour d'autres secteurs de la ville.

Troisièmement, la prévention en rapport avec la réduction des vulnérabilités passe par l'adoption de mesures structurelles dites passives. Il s'agit de l'adaptation de l'habitat au risque inondation ainsi que l'adoption de mesures plutôt d'ordre social comme la sensibilisation en matière d'assainissement ou la lutte contre la pauvreté et les inégalités sociales. Elles concernent la construction en dur, en semi-dur ou en banco amélioré, la surélévation des parcelles ou la construction en étage. Ces mesures d'adaptation de l'habitat restent cependant tributaires des maigres budgets des ménages. Pour la sensibilisation des populations en matière d'assainissement, des tentatives sont menées dans les deux villes par diverses structures compétentes en la matière, mais l'intensification de la sensibilisation déjà amorcée à travers des projets dédiés serait un plus. Il s'agit entre autres d'association de quartiers, mais également d'ONG qui viennent en appui aux différentes communes. Ils utilisent pour cela divers canaux de communication comme les médias, les réseaux sociaux et les théâtres forum.

Comme nous l'avons vu précédemment, plusieurs politiques sont menées sur les territoires d'étude par des acteurs variés dans l'optique de prévenir les inondations. Ces politiques sont parachevées par l'étape de préparation des crises, primordiale à une gestion des risques efficiente. En effet, quels que soient les sociétés et le degré de prévention mis en œuvre, la probabilité de survenue d'une inondation n'est pas nulle. Par conséquent, les sociétés se doivent d'être préparées à l'apparition d'une catastrophe. Les changements climatiques nous rappellent d'ailleurs l'intérêt et l'urgence pour les villes sahéliennes de faire cet exercice de préparation à la gestion des crises. Il consiste à mettre en œuvre des mesures de prévision de l'aléa à travers les plans d'alerte et les plans de gestion des crises. Ouagadougou et Bamako semblent à cet effet engagés sur la bonne voie avec l'adoption de différents plans de gestion de

crises et l'émergence de divers projets pour un système d'alerte précoce performant. Ce dernier aspect fait face tout de même à des faiblesses que l'on pourrait réduire. Il s'agit de l'inexistence d'un système d'alerte global géré par un acteur identifié au niveau national et ayant des démembrements au niveau décentralisé. La création d'une pareille structure prenant en compte à la fois l'alerte météorologique déjà en place (et qui fonctionne tant bien que mal), et les systèmes d'alerte alimentaire et sanitaire, ainsi que les vigilances lancées par les comités de veille, est une nécessité. Ce système global est déjà envisagé dans les plans de contingence du Burkina Faso et du Mali, mais tarde à être opérationnalisé. Il devrait s'appuyer sur l'organisation de la gestion des risques déjà existants, c'est-à-dire être coordonné au niveau de la plateforme nationale de réduction des risques comme nous le préconisons dans la Figure IV-5.

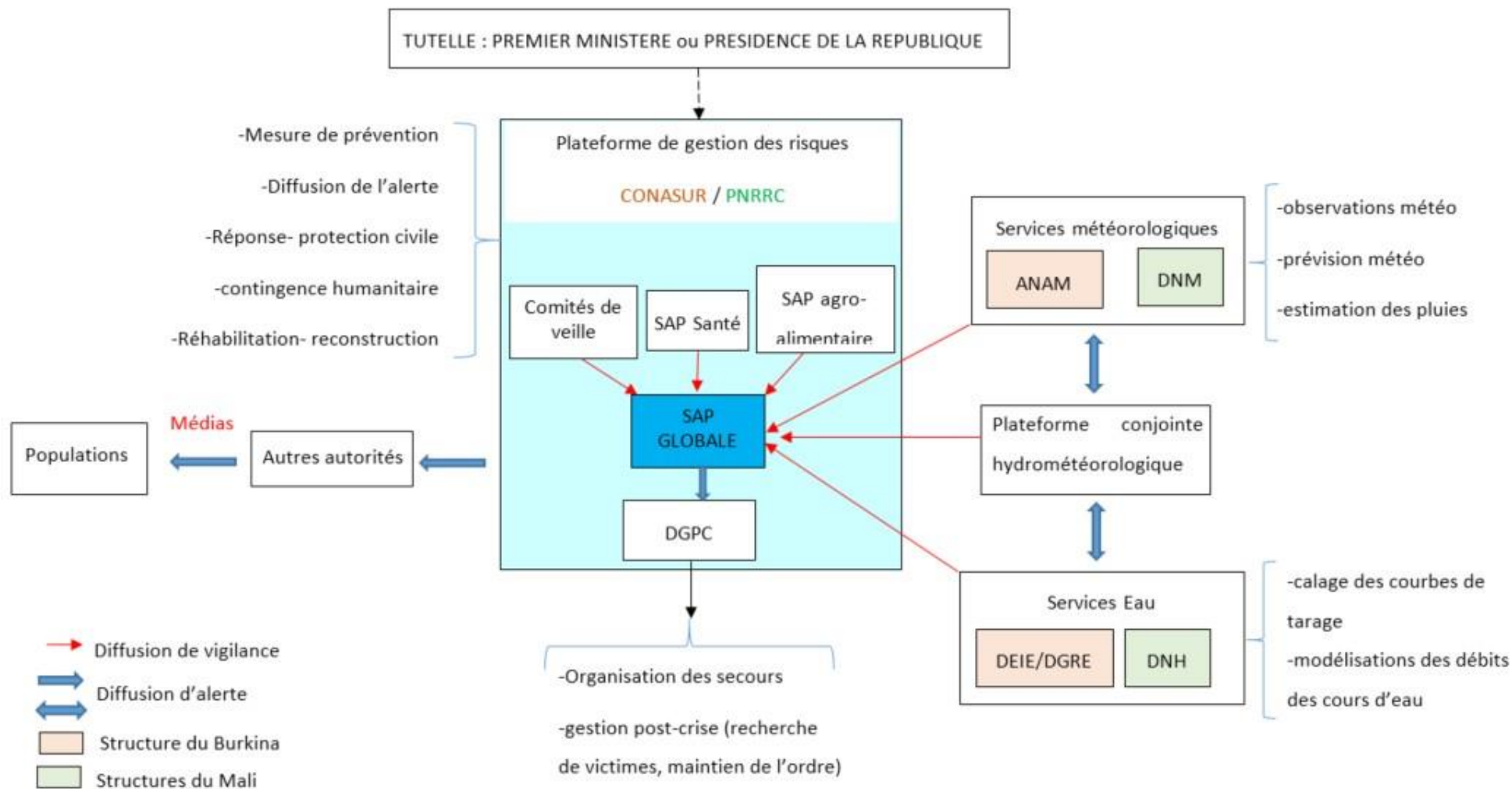


Figure IV-5 : Proposition d'une chaîne d'alerte précoce Inondations (source : auteur)

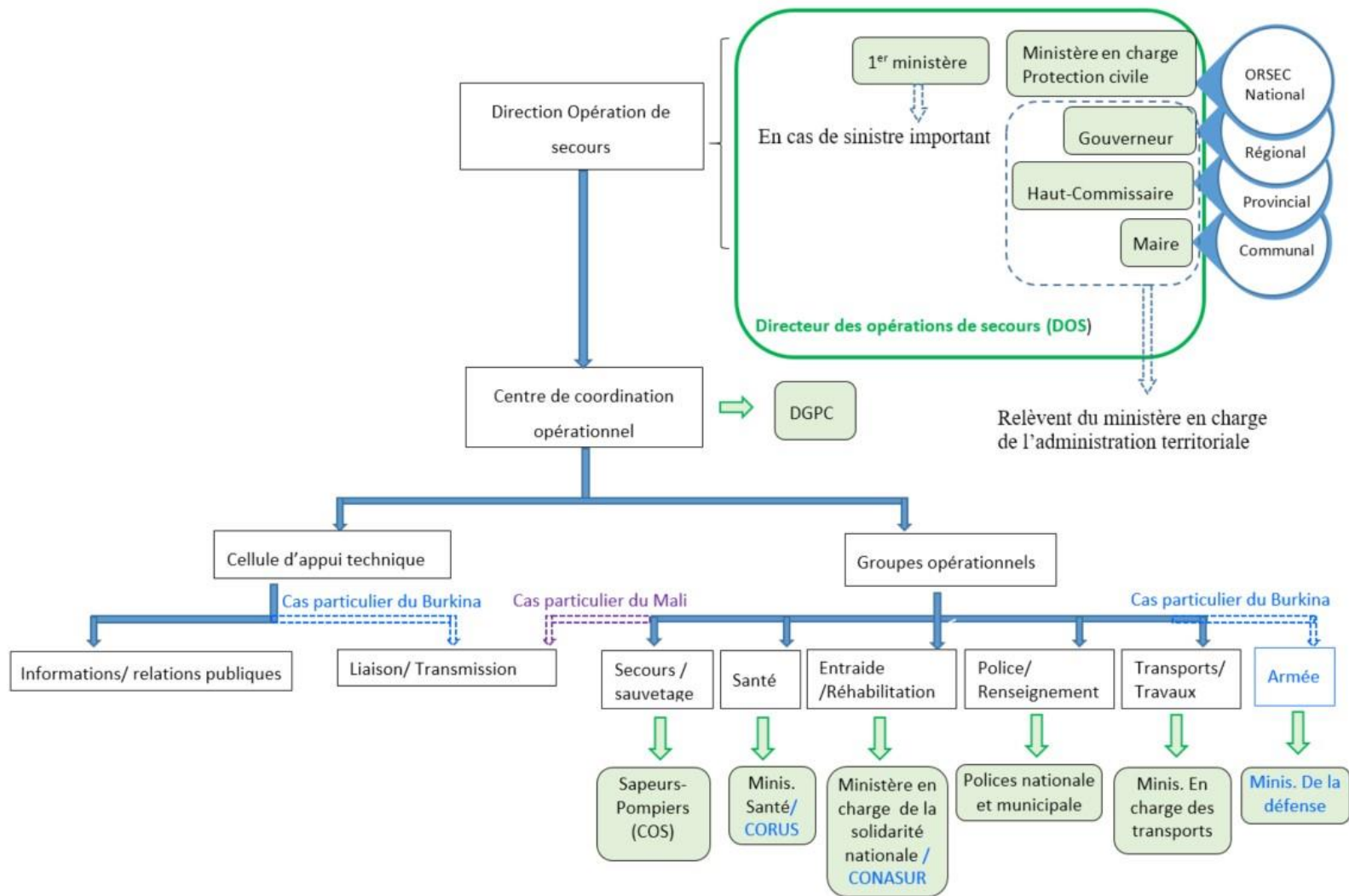
L'inscription de l'alerte dans un cadre sous-régional est de plus en plus envisagée pour réellement être précoce et efficiente. Cette idée commence d'ailleurs à porter écho auprès de certains premiers responsables communaux.

C'est dans les grands-ensembles qu'on va pouvoir se développer. Il faut qu'on conjugue les efforts des pays pour sortir de cette situation. Si les pays sahéliens comprennent ça comme ils ont fait pour le G.5, nous allons nous en sortir ».

Elu, commune 4 Bamako.

En résumé, la gestion de crise ainsi s'établit d'abord par une gestion pré-crise, à travers la mise en place de systèmes de vigilances et d'alertes, ainsi que la prise de mesures structurelles telles que l'ouverture de vannes des barrages par les structures gestionnaires de la ressource en eau (DNH/DGRE ainsi que les structures rattachées). Elle passe ensuite par une gestion de la crise qui repose sur l'application des plans ORSEC, le sauvetage des personnes et leur mise en sécurité par la structure en charge de la protection civile (DGPC) et son bras armé (la Brigade des Sapeurs-Pompiers). Concernant cette partie sur laquelle nous nous sommes appuyés dans nos travaux, il est ressorti certaines limites en termes de clarté des responsabilités des différents acteurs, que l'on se situe à Ouagadougou ou à Bamako. Il semble en effet au regard des textes régissant la création de chaque structure de gestion que des superpositions de compétences existent. La DGPC (Figure IV-6) a été identifiée dans les deux villes comme la structure compétente en matière de coordination opérationnelle des secours. Cependant ses missions assez larges empiètent sur celles de coordination des plateformes nationales de réduction des risques.

Au final, une gestion post-crise doit être mise en place à travers la maîtrise sanitaire, le soutien aux sinistrés, le maintien de l'ordre et la reconstruction. L'existence de plans sectoriels prenant en compte ces aspects dans les deux villes est un point positif à relever. Globalement, la gestion des risques s'appuie également sur le retour d'expérience sur des crises ayant eu lieu par le passé et les leçons qui ont pu être tirées de ces crises. L'existence de rapport de type PDNA (Post Disaster Need Assessment) pour les catastrophes du 1^{er} septembre 2009 à Ouagadougou et du 16 mai 2019 à Bamako est une initiative qu'il faut saluer et pérenniser pour améliorer la gestion. Les études géohistoriques constituent à ce propos de belles opportunités. L'analyse des systèmes de gestion déployés dans les pays voisins et des résultats obtenus est également un bon moyen de tirer profit d'expériences diverses dans la sous-région et constitue une opportunité pour chaque ville d'améliorer son système de gouvernance.



COS : Commandant des Opérations de Secours

Figure IV-6 : Organisation des secours en cas de crise

CONCLUSION PARTIE IV

En définitive, la gestion des inondations en milieu urbain incombe aux acteurs étatiques et aux autorités locales et demeure intrinsèquement liée à la gestion des aménagements urbains. Au terme de cette partie, il ressort que le cadre règlementaire de gestion des inondations à Ouagadougou et Bamako est relativement bien fourni. Cependant la nécessaire imbrication avec les textes juridiques régissant les domaines de l'urbanisme et de l'assainissement n'est pas toujours au rendez-vous, établissant un vide juridique compromettant la bonne gestion des risques. Par ailleurs, le cadre urbain souffre de plusieurs maux caractérisés par une gestion urbaine chaotique minée par la fragilisation des pouvoirs municipaux, du fait des relations d'interconnaissances, qui empêche l'application effective de la réglementation et des sanctions.

On assiste ainsi à Ouagadougou comme à Bamako à un accaparement des terres par les populations les plus riches ou ayant des affinités avec les premiers responsables, au détriment des populations les moins bien nanties et les plus vulnérables. Ces dernières sont pratiquement contraintes d'occuper les marges des villes, accentuant ainsi leur vulnérabilité. On note également la faiblesse des politiques mises en œuvre pour assurer un assainissement urbain adéquat. Cette situation se matérialise par la prolifération de décharges sauvages et la surcharge des ouvrages d'évacuation des eaux pluviales par tout type de matériaux et de déchets. Elle est autant le résultat de l'échec des politiques en matière d'assainissement solide que du mauvais comportement des populations, qui, souvent profitent des premières pluies pour évacuer, parfois à la faveur de la nuit, les divers encombrants qu'ils ont en leur possession.

Cependant les résultats encourageants de certains projets urbains laissent paraître une lueur d'espoir pour la réduction des risques au niveau des villes sahéliennes. Ce succès de certains projets urbains est fortement lié au processus d'intégration des populations, qui si elles sont bien formées et informées, peuvent être elles même les instigatrices de changement notable au niveau des villes.

L'aide la plus noble c'est celle qui vient de nous ; aujourd'hui les populations sont capables de faire face à n'importe quelle catastrophe, car nous avons été formés ; nous avons des balises pour signaler la montée des eaux ».

Elu commune 4, Bamako.

Les systèmes d'alerte précoce constituent donc un socle important à renforcer pour amorcer une gestion efficace des inondations. Les résultats de nos enquêtes à Ouagadougou et Bamako ont

montré que ce système d'alerte précoce a tout intérêt à reposer sur les médias traditionnels pour la transmission des informations. Ainsi, la radio et la télévision sont des canaux à privilégier à Bamako pour 79 % des personnes interrogées, tandis qu'à Ouagadougou ce sont plutôt la radio, les messageries instantanées (SMS) et les crieurs publics vers lesquels il faut se tourner (79,9 % des personnes interrogées privilégient ces canaux à Ouagadougou). Cependant, la communication d'informations concernant les risques se doit d'être gérée avec beaucoup d'attention pour éviter au maximum les fausses alertes et les conséquences négatives concernant l'interprétation de ces informations. Il y va de la crédibilité du système d'alerte et de la confiance que les populations y accordent pour adapter leurs comportements et adopter des mesures préventives. En somme, la bonne information constitue le pouvoir et est à la base de la résilience, puisqu'elle permet aux populations de développer une certaine culture du risque (Carpenter et al., 2001; Janssen et al., 2006; Provitolo, 2007b). Il faut cependant rappeler que cette culture du risque ne garantit pas la résilience même si elle peut y contribuer grandement (Benitez et al., 2020)

Par ailleurs, notre travail a permis de faire ressortir que la gestion des inondations dans les villes d'étude est principalement cadrée sur une approche sectorielle et économiste du territoire. Aussi, elle reste fortement liée à la présence de réseau hydrographique, aspect déterminant dans la délimitation de zones inondables. Or, ce réseau d'eau s'inscrit dans un fonctionnement plus large en lien avec les bassins versants. De ce fait, il ne serait pas dénué de sens d'avoir une approche de gestion liée au bassin versant plutôt qu'aux différents territoires. Loin de vouloir complexifier cette gestion, nous pensons que l'implication directe par exemple des agences de l'eau et autorités de bassins dans la gestion des inondations pourrait apporter un plus. En effet, ils agissent déjà indirectement notamment en termes de protection et d'entretien des cours d'eau dans la phase de prévention, mais leur prise en compte dans l'organisation sectorielle serait un avantage. Elle pourrait également favoriser la mise en œuvre de mesures alternatives douces, s'imbriquant parfaitement avec le fonctionnement hydrologique des bassins versants. Par ailleurs une gestion impliquant les bassins hydrographiques est une bonne passerelle vers une gestion plus régionale des inondations à travers la coopération entre villes et entre États, notamment pour les phases de prévision et d'alerte. Après tout, au-delà des aspects pompeux d'une utilisation creuse et vide de termes tels que la « bonne gouvernance », c'est sur le terrain et de manière pratique que sont attendues les différentes politiques mises en œuvre pour un processus de réduction des risques réussi.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Résumé des contributions scientifiques de la thèse

Au terme de notre étude, plusieurs éléments se dégagent. Tout d'abord, l'analyse de l'état de l'art a révélé que le risque inondation a fait l'objet de plusieurs recherches au Sahel, même s'il est moins bien documenté que le risque lié à la sécheresse. Cependant, peu d'études se sont penchées à la fois sur les aspects physiques et sociaux du risque avec en plus une dimension comparative entre villes. Au Sahel en effet, la plupart des études se cantonnent à analyser soit la vulnérabilité biophysique des territoires en lien avec l'endommagement potentiel (Bani, 2011; Bani et Yonkeu, 2016; Bouvier et al., à paraître; Braccio & Tiepolo, 2016), soit la vulnérabilité sociale (Alou, 2018; Tazen et al., 2019). Quelques rares études (Karambiri et al., 2015; Tomety, 2017) ont eu une approche un peu plus systémique de la vulnérabilité aux inondations, mais occultent l'influence des politiques et se focalisent sur un seul territoire. Pour pallier cette insuffisance, nous avons réalisé une recherche systémique et comparative dans deux villes du Sahel. L'objectif principal de notre travail de thèse était ainsi de contribuer à la gestion des risques en évaluant comparativement la vulnérabilité de Ouagadougou et de Bamako face aux inondations, afin de proposer des outils d'amélioration de cette gestion. Pour atteindre cet objectif, une démarche pluridisciplinaire et systémique (cf. annexe 19) a été employée, reposant sur trois volets dont nous résumons les principaux résultats dans les paragraphes qui suivent.

Première contribution : Évaluation de la vulnérabilité biophysique en lien avec l'aléa géohistorique

Le premier volet avait pour objectif d'analyser la vulnérabilité biophysique des territoires d'étude face aux inondations. Tout d'abord, l'analyse géohistorique et l'étude des extrêmes pluviométrique ont offert des informations intéressantes sur les localités (quartiers ou secteurs) les plus impactées par les inondations. Il ressort de ce travail que les inondations intervenues à Ouagadougou et à Bamako sont pour la plupart dues à des événements pluvieux normaux (si l'on ne tient pas compte de la variabilité pluviométrique au sein des villes). Ces informations recueillies de l'analyse géohistorique ont été utilisées par la suite pour interpréter les résultats de l'analyse de la vulnérabilité biophysique. Cette analyse a conduit à la réalisation de cartes indiquant les secteurs et quartiers les plus susceptibles d'être impactés par une inondation. Les résultats de nos travaux montrent que près d'un tiers du territoire de Bamako est vulnérable

biophysiquement aux inondations contre 18 % environ du territoire de Ouagadougou. Cette différence est en lien avec la présence du fleuve dans la ville de Bamako et ses caractéristiques géomorphologiques plus propices au ruissellement intense et aux fortes crues. Les localités vulnérables sur le plan biophysique sont pour la plupart situées à proximité des cours d'eau, que l'on soit à Bamako ou à Ouagadougou, avec des niveaux de vulnérabilité plus faible à mesure que l'on s'éloigne du réseau hydrographique. Nos résultats confirment donc notre hypothèse de départ selon laquelle les facteurs environnementaux entraînent une vulnérabilité physique différentielle qui varie selon les villes et les quartiers.

Deuxième contribution : Évaluation de la vulnérabilité sociale

Nous avons au terme de notre travail pu établir que la vulnérabilité est également un construit social évoluant spatialement en fonction des caractéristiques sociales des populations étudiées, ce qui confirme également notre deuxième hypothèse. Ces résultats sont matérialisés par les cartes de vulnérabilité sociale que nous avons établies. En regardant de plus près, nous observons que les populations les plus vulnérables se concentrent dans les marges urbaines des quartiers, situés en zone périphérique pour le cas de Ouagadougou et de manière plus diffuse pour le cas de Bamako. Ces quartiers marginaux sont principalement caractérisés par la pauvreté et l'accès limité aux informations. Pour réduire la vulnérabilité sociale, il est nécessaire de mettre en place des politiques de lutte contre la pauvreté et d'élaborer des systèmes d'alerte précoce et de sensibilisation qui puissent être diffusés efficacement aux populations. La sensibilisation a déjà été amorcée par les États à travers la diffusion, dans la presse écrite, de conduites à tenir en cas d'inondation. Mais il se pose la question de l'efficacité et de l'adéquation de ce mode de sensibilisation par écrit dans des pays où le taux d'analphabétisme va au-delà des 60 % (INSD, 2015b).

Troisième contribution : Compréhension des Politiques publiques et des interactions entre acteurs dans la gestion des inondations

Le troisième aspect de notre étude en lien avec la gestion des inondations a permis de faire ressortir les difficultés de coordination entre les acteurs et les limites de certaines politiques adoptées pour la gouvernance des territoires. Au terme de l'analyse nous pouvons retenir que l'inadéquation de ces politiques et les conflits de compétences qui opposent les différents acteurs sont à la base de plusieurs difficultés :

-un étalement important des villes,
-l'insuffisance et parfois l'absence d'infrastructures, principalement d'assainissement (eaux pluviales et déchets solides), même dans les zones loties

-les difficultés liées au foncier, à l'occupation anarchique du territoire et à la prolifération de l'habitat spontané.

Ces problèmes de gouvernance s'additionnent à l'incivisme des populations et aux vulnérabilités physiques et sociales, ce qui rend les villes de Bamako et de Ouagadougou très sensibles aux inondations et sujettes à des situations catastrophiques, difficilement gérables en l'état actuel.

Globalement, les cas d'étude de cette thèse montrent que la vulnérabilité au Sahel a une forte dimension spatiale, influencée par les dimensions sociales et biophysiques et par le cadre institutionnel qui prévaut. Se prémunir contre les inondations, les affronter, s'en protéger et s'en relever dépend ainsi autant des caractéristiques intrinsèques de l'individu (sociodémographiques, revenus, connaissances) que de ses capacités à évaluer de manière juste les dangers, à adopter des comportements adaptés et à faire face au risque ainsi que de l'environnement politique et biophysique dans lequel il évolue. La vulnérabilité apparaît ainsi comme clé de lecture de l'organisation des territoires, des dynamiques de l'espace et de l'évolution d'un système territorial en phase avec des systèmes de valeurs propres à chaque ville.

Notre travail a fait émerger les logiques d'acteurs et de thématiques en lien avec l'assainissement des villes, la gouvernance de manière globale et l'accès au foncier qui sont autant de préoccupations pour les gestionnaires que pour les populations. Des insuffisances dans l'organisation globale des territoires ont pu être relevées que l'on soit dans le contexte bamakois ou ouagalais. Ils ont trait, entre autres, aux insuffisances en termes structurels (infrastructures d'assainissement, ouvrages alternatifs de protection contre les crues), mais également aux limites de fonctionnement du fait de politiques toujours en processus de maturation, et aux logiques d'interaction entre acteurs, encore entachées de rivalité et de conflits de compétences de tout genre. Ils ont aussi un lien avec l'incivisme et l'adoption de comportements inadaptés par les populations.

Tout au long de notre étude, nous avons utilisé les exemples ouagalais et bamakois pour montrer la spécificité de la vulnérabilité urbaine au Sahel. Les recoupements entre les facteurs de vulnérabilité de ces deux territoires montrent qu'ils peuvent être inscrits dans des cadres d'analyse plus larges applicables à d'autres espaces sahéliens. Bien que les mesures identifiées

comme permettant une amélioration de la vulnérabilité urbaine en contexte malien ou burkinabè soient spécifiques à chaque ville identifiée, elles peuvent en revanche être source d'inspiration pour d'autres villes et/ou pays du Sahel. En effet, dans la mesure où ces localités sont confrontées aux mêmes défis environnementaux et climatiques et à des contraintes sociales et politiques similaires, s'inspirer de l'une ou l'autre étude de cas serait un plus. Les expériences ouagalaise et bamakoise en matière de vulnérabilité présentées dans le cadre de nos travaux pourraient ainsi servir de tremplin pour une meilleure intégration sous-régionale en matière de gestion des inondations et des risques naturels en général.

Limites de l'étude

Du fait de l'ampleur des facteurs pouvant intervenir dans la vulnérabilisation des territoires, des simplifications ont dû bien évidemment être faites, pour parvenir à un diagnostic de la vulnérabilité en zone urbaine. Ces simplifications constituent les principales limites de cette étude.

Elles concernent dans un premier temps l'analyse géohistorique des événements pluvieux ayant entraîné des inondations dans les villes d'étude. Celle-ci s'est essentiellement fondée sur des données de presse et d'archives collectées en ligne ou dans des bibliothèques. Les informations recueillies dans les différentes coupures de presse sont essentiellement le reflet de la perception de leurs auteurs sur les événements mentionnés. Ainsi, certaines inondations, parce qu'elles n'ont pas été jugées impactées pour certains journaux peuvent n'avoir pas fait l'objet d'un article. L'analyse géohistorique réalisée est par conséquent loin d'être exhaustive sur les périodes fixées, mais elle présente l'intérêt de donner un ordre d'idées sur les quartiers qui reviennent le plus souvent lorsqu'on parle d'inondations à Bamako ou à Ouagadougou.

Aussi, la caractérisation des pluies ayant occasionné une inondation par analyse des extrêmes pluviométriques repose sur une simplification majeure. Nous n'avons considéré que les pluies journalières en une station par ville, occultant l'existence d'une variabilité pluviométrique au sein même de chaque ville. Cette simplification s'est imposée à nous, puisque nous ne disposions pas de données pluviométriques issues de plusieurs pluviomètres répartis dans les villes. Les structures que nous avons approchées pour les données soit n'avaient pas ce type d'informations aussi désagrégées soit n'ont pas voulu les mettre à notre disposition. Ainsi, alors que nous qualifions de normal un phénomène pluvieux survenu dans le quartier accueillant la station météo de la ville, il est bien possible que dans un quartier voisin, un événement pluvieux anormal se soit produit. Nos conclusions sur ces aspects sont donc à prendre à titre informatif et n'ont de véritable force qu'au niveau des points où ont été mesurées

les pluies. Cette situation met en lumière les difficultés d'accès et de disponibilité des données pour la recherche dans les États sahéliens.

Une troisième limite concerne les facteurs retenus comme intervenants dans la vulnérabilité biophysique. Compte tenu des difficultés d'accès et de l'insuffisance des données, seulement 5 facteurs en lien avec l'occupation du sol, la pente, l'altitude, les types de sols et la proximité au cours d'eau ont été retenus. Même s'ils ne peuvent à eux seuls rendre compte de toutes les sensibilités de vulnérabilités biophysiques, ils présentent l'avantage d'être les principaux facteurs de vulnérabilité d'après la littérature. Aussi, pour déterminer un indice de vulnérabilité, nous avons procédé à la pondération de ces facteurs en nous appuyant sur l'avis d'experts. Il se trouve donc une certaine part de subjectivité qu'il peut se révéler intéressante de prendre en compte dans des travaux futurs.

Par ailleurs, les modes de gestion de chaque ville ont été analysés en nous focalisant sur leur mise en œuvre au niveau de la ville, en considérant une sorte de cohérence d'application pour chaque quartier ou secteur. Or des spécificités spatiales semblent se démarquer en fonction des secteurs et des quartiers dont nous n'avons pas tenu compte dans l'analyse des politiques.

Quelques solutions envisageables

Certains points clés de notre travail sont à retenir comme proposition de solutions pour réduire les crises liées aux inondations dans nos villes d'étude. Il s'agit de :

- la nécessité d'une reconsidération de la vulnérabilité et de la gestion des risques sous des angles plus globaux de développement durable, d'accès au foncier et de mise en œuvre de stratégies d'aménagement urbain adéquat;
- la nécessité d'une promotion sur les territoires de mesure alternative permettant le stockage et la réutilisation des eaux pluviales pour des besoins domestiques ou agricoles;
- la nécessité d'un décloisonnement politique et de la mise en place d'un système d'alerte précoce global, prenant en compte l'organisation de la gestion des risques au niveau national. En effet, les problématiques de gestion des risques demeurent toujours insuffisamment incluses dans les politiques de développement des villes et tendent à dédouaner les États de leurs responsabilités;
- La nécessité de la sensibilisation et de la formation du public sur les problématiques environnementales et de gestion des inondations. Elle pourrait se faire à travers par exemple l'utilisation de théâtres forum ou de sketchs pour permettre une prise de conscience des populations et des actions citoyennes. Du reste, la sensibilisation et

l'éducation des populations peuvent permettre une prise de conscience de leur pouvoir de réduire le risque. Il faut leur donner, comme le souligne Rousseau (2001), « *les moyens de devenir les propres artisans de leur bien-être plutôt que de rester les éternels bénéficiaires de la charité ou de l'aide* ».

- La nécessité d'une clarification des compétences des acteurs. Le niveau gouvernemental gagnerait en effet à assainir la scène politique à travers des actions pour la suppression du chevauchement des compétences. Cela devrait permettre de faire émerger des niveaux hiérarchiques appropriés qui permettront de renforcer la planification du territoire.

Par ailleurs, la recherche sur les risques permettra d'aboutir à des résultats concluants et à des propositions de solutions adaptées seulement si elle peut s'appuyer sur un ensemble de données fiables sur les territoires. Pourtant, tout au long de notre travail, nous avons été confronté à un manque criard d'informations, soit parce qu'elles n'existent pas (des recherches et projets doivent donc être mobilisés dans ce sens), soit parce qu'elles font l'objet de rétention par les administrations (pour des raisons pécuniaires ou juste subjectives). Puisque les travaux de recherche sont plus à visée sociale et que les administrations sont les principales bénéficiaires de ces résultats, nous préconisons que les États adoptent des règlements clairs pour la mise à disposition des données aux chercheurs.

Fortifiée par l'espoir suscité par les solutions envisageables pour réduire les crises liées aux inondations et consciente des limites de nos travaux, nous reprenons de la motivation pour améliorer nos travaux en envisageant plusieurs pistes, qui sont présentées dans la dernière section.

Perspectives de recherche

Finir cette thèse n'est pas une fin en soi : elle constitue certes une étape importante, mais demeure bien plus, c'est-à-dire le début de la suite. Ainsi, comme pour tout travail humain, cette thèse pourrait faire l'objet d'améliorations futures afin de parfaire la contribution à une gestion efficiente du risque inondation au Sahel. Des perspectives de recherche ont ainsi été identifiées à l'issue de nos travaux, principalement fondées sur leurs limites.

Tout d'abord, il est important de rappeler que la méthode de cartographie de la vulnérabilité biophysique a été appliquée en effectuant certaines simplifications. Ainsi, les informations liées à la variabilité pluviométrique, aux paramètres d'infiltration des sols et au réseau de gestion des eaux pluviales n'ont pas été utilisées puisque difficilement mobilisables. Pourtant elles se sont révélées importantes dans d'autres études sur les inondations en

permettant une caractérisation fine de la vulnérabilité biophysique. Un projet de recherche peut donc être imaginé pour accéder à ces informations et les prendre en compte dans notre méthodologie.

Aussi, le poids de chaque paramètre dans la modélisation de la vulnérabilité biophysique reste quelque peu entaché d'une certaine subjectivité compte tenu du faible nombre d'experts ayant participé à sa détermination. L'organisation d'ateliers de discussion entre acteurs au sortir desquels une pondération consensuelle serait déterminée pourrait rendre plus robuste le travail.

Ensuite, la gestion des risques implique une cartographie des zones urbaines inondées qui serait d'autant plus intéressante qu'elle serait automatique et prendrait en compte des paramètres hydrologiques et hydrauliques obtenus par modélisation, en plus des paramètres physiques déjà présentés dans le cadre de ce travail. Les potentialités de la télédétection sont un moyen prometteur d'analyser ces aspects physiques de la vulnérabilité des territoires.

En outre, des pistes d'amélioration des méthodes d'analyse de la vulnérabilité socioéconomique peuvent être énoncées. Nous envisageons l'utilisation d'analyse coût-bénéfice, pour affiner les analyses particulièrement dans les secteurs identifiés comme étant vulnérables. Par ailleurs, l'analyse de la vulnérabilité sociale sur la base de données d'enquête présente le désavantage de limiter le suivi temporel de la vulnérabilité, à cause des coûts énormes engagés pour réaliser chaque enquête. Il serait intéressant de pouvoir réadapter cette analyse en se basant sur les données disponibles issues du recensement au niveau des collectivités, afin d'établir l'impact dans le temps de l'adoption de certaines politiques sur la vulnérabilité des populations. Il s'agirait par exemple d'introduire des questions spécifiques identifiées dans notre travail comme ayant un lien avec la vulnérabilité sociale dans le recensement des populations. Ces questions concerneraient par exemple le niveau social, les connaissances et les comportements des populations. Les travaux de Cutter seraient d'un grand apport méthodologique par exemple pour le traitement de ces données, encore faudrait-il que les municipalités prennent conscience de l'intérêt de mettre à disposition de la recherche de telles informations.

Aussi, la vulnérabilité institutionnelle n'a pas été analysée dans le cadre d'une démarche spatiale et a laissé supposer que chaque ville était uniformément vulnérable sur le plan politique. Or l'application de ces politiques sur une même ville n'est pas la même partout et dépend des logiques internes des acteurs de chaque quartier ou de chaque arrondissement ou commune. Prendre en compte la spatialisation de la vulnérabilité politique n'a pas encore été envisagé dans les recherches à notre connaissance, contrairement à la vulnérabilité sociale. Une approche

qualitativiste peut être envisagée dans ce sens et est une ouverture pour d'autres travaux futurs. Ce serait par exemple l'occasion de réaliser des entretiens auprès d'acteurs locaux par quartiers, secteurs ou arrondissements et de faire ressortir par une analyse du discours les zones qui font l'objet de négligence dans l'action institutionnelle.

Enfin, la vulnérabilité est intrinsèquement liée aux comportements des populations notamment en termes d'assainissement. L'impact de ce secteur sur la survenue des inondations a été brièvement abordé dans le cadre de ces travaux, mais pourrait être mieux approfondi tout comme son effet sur la santé. La prise en compte du volet sanitaire dans l'analyse de la vulnérabilité des populations face aux risques ne cesse de montrer son intérêt dans un contexte mondial marqué par les épidémies de tout genre, qui fragilisent le tissu social. L'ouverture vers le volet sanitaire des vulnérabilités face aux risques nous tient particulièrement à cœur et devrait augurer des axes de recherche passionnants pour l'après-thèse.

RÉFÉRENCES

- Adger, W. N. (2006). Vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3), 268-281. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006>.
- AFP- Agence France Presse (2018). Les pertes économiques liées aux catastrophes climatiques explosent partout dans le monde, consulté le 13/09/2020 sur <https://www.20minutes.fr/economie/2352087-20181010-france-monde-pertes-economiques-liees-catastrophes-climatiques-explosent>.
- AFRISTAT. (2004). Rapport d'analyse régional Phase 1- l'emploi, le chômage et les conditions d'activité dans la principale agglomération de sept États membres de l'UEMOA- principaux résultats de l'enquête 1-2-3 de 2001-2002 (p. 66). Projet PARSTAT- UEMOA.
- AGRHYMET. (2010). Le Sahel face aux changements climatiques—Enjeux pour un développement durable. *Bulletin mensuel, Numéro spécial*, 43.
- Aguilar, E., Peterson, T., Obando, P. R., Frutos, R., Retana, J. A., Solera, M., Soley, J., García, I. G., Araujo, R., & Santos, A. R. (2005). Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 110(23), 1-15.
- Akoglu, H. (2018). User's guide to correlation coefficients. *Turkish journal of emergency medicine*, 18(3), 91-93.
- Alou, A. A. (2018). La ville de Niamey face aux inondations fluviales. Vulnérabilité et résilience des modes d'adaptation individuels et collectifs [Doctorat en Géographie]. Université Grenoble Alpes.
- Amalric, M. (2019). Habiter l'environnement pour une géographie sociale environnementale : Nature, paysage, risque [HDR]. Université de Bretagne occidentale.
- Antea Group. (2020). Étude d'impact environnemental et social pour le projet de construction du tronçon nord de la boucle 225kV autour de Bamako (98094/VD; p. 234).
- Aribi, F., & Sghaier, M. (2021). Livelihood vulnerability assessment to climate change and variability : The case of farm households in South-East Tunisia. *Environment, Development and Sustainability*, 1-28.
- Assemblée nationale. (2016). Commission d'enquête parlementaire sur le foncier urbain au Burkina Faso (p. 38) [Rapport de synthèse]. Assemblée nationale.
- Baccini, A. (2010). Statistique Descriptive Multidimensionnelle (pour les nuls). Institut de Mathématiques de Toulouse. <https://www.math.univ-toulouse.fr/~baccini/zpedago/asdm.pdf>.

- Balica, S., Douben, N., & Wright, N. G. (2009). Flood vulnerability indices at varying spatial scales. *Water science and Technology*, 60(10), 2571-2580.
- Bani, S. S. (2011). Implications des facteurs physiques dans les risques d'inondation à Ouagadougou : Cartographie des zones à risques et mesures de préventions.
- Bani, S. S., & Yonkeu, S. (2016). Risques d'inondation dans la ville de Ouagadougou : Cartographie des zones à risques et mesures de prévention. *Journal Ouest-Africain des Sciences de Gestion*, 1(1), 1-18.
- Banque mondiale. (2011). Analyse environnementale du milieu urbain- Volume 2 : Profil environnemental des villes de Bamako, Gao, Mopti et Sikasso (Rapport final N° 60788-ML; p. 69). Département du développement durable Banque Mondiale, Région Afrique.
- Banque Mondiale. (2016). Communiqué de Presse, consulté le 14/09/2020 sur <https://www.banquemondiale.org/fr/news/press-release/2016/11/14/natural-disasters-force-26-million-people-into-poverty-and-cost-520bn-in-losses-every-year-new-world-bank-analysis-finds>.
- Barké, K., & Salifou, M. (2015). Analyse des phénomènes climatiques extrêmes dans le sud-est du Niger. *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 28. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/184575>.
- Barroca, B., & Hubert, G. (2008). Urbaniser les zones inondables, est-ce concevable ? Développement durable et territoires. *Économie, géographie, politique, droit, sociologie*, Dossier 11, Article Dossier 11. <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.7413>.
- Barroca, B., Pottier, N., & Lefort, E. (2005). Analyse et évaluation de la vulnérabilité aux inondations du bassin de l'Orge aval. 1-12.
- Basara, N. (2019). L'érosion des littoraux à falaises meubles en Bretagne : Aléa, enjeux et gestion du risque [Thèse de Géographie]. Université de Bretagne occidentale.
- Bastié, J., & Dézert B. (1980). *L'espace urbain*. (Masson) Paris, 381 p.
- Bawa, I. H. (2018). Sentiment d'efficacité personnelle et performances des étudiants de l'Université de Lomé : Impact du sexe. *Les cahiers du CEDIMES*, 12(3), 29-39
- Becerra, S. (2012). Vulnérabilité, risques et environnement : L'itinéraire chaotique d'un paradigme sociologique contemporain. *VertigO- la revue en sciences de l'environnement*, 12(1), 1-27. <https://doi.org/10.4000/vertigo.11988>.
- Becerra, S., Peltier, A., Antoine, J. M., Labat, D., Chorda, J., Ribolzi, O., Daupras, F., & Dartus, D. (2013). Comprendre les comportements face à un risque modéré d'inondation - Etude de cas dans le périurbain toulousain (Sud-Ouest de la France). *Hydrological Sciences Journal*, 58(5), 945-965. <https://doi.org/10.1080/02626667.2013.786181>.

- Bechler-Carmaux, N., Mietton, M., & Lamotte, M. (2000). Le risque d'inondation fluviale à Niamey (Niger). *Aléa, vulnérabilité et cartographie/ River flood risks in Niamey (Niger). Hazards, vulnerability and mapping. Annales de géographie*, 109(612), 176-187.
- Bell, V.A., Houghton-Carr, H.A., Miller, J., Rameshwaran, P., Rickards, N., & Warnaars, T. (2019). Modéliser les futures inondations et les ressources en eau en Afrique de l'ouest. *Ied Afrique, Numéro spécial*, [en ligne].
- Benitez, F., Reghezza-Zitt, M., & Meschinet de Richemond, N. (2020). Culture du risque cyclonique et résilience individuelle en Guadeloupe et à Saint-Martin. *EchoGéo*, 51, Article 51. <https://doi.org/10.4000/echogeo.18567>.
- Bertoni, J. C. (2006). Inondations urbaines en Amérique latine : Réflexions sur le rôle des facteurs de risque. 123-141.
- Bertrand, M. (2012). Gouvernance des services essentiels à Bamako, Mali. Contribution au Chapitre ' ' Métropoles ' ' du Rapport GOLD III (p. 59).
- Bertrand, M. (2019). Banlieues populaires de Bamako : Ici aussi, « on est tous dans le brouillard ». In *Vulnérabilités résidentielles (La Tour d'Aigues, p. 163-179)*. Éditions de l'aube.
- Bhagat, R. S., & Bisen, D. K. (2015). Flood Study of Wainganga River in Maharashtra Using GIS & Remote Sensing Techniques. *International Journal of Science and Research*, 782-785.
- Bikienga, I., & Garane, A. (2012). Etude sur la prévention et la gestion des catastrophes et crises humanitaires au Burkina Faso- Contexte général des catastrophes et crises humanitaires au Burkina Faso (p. 126) [Version finale]. SP/CONASUR.
- Birkmann, J. (2007). Risk and vulnerability indicators at different scales: Applicability, usefulness and policy implications. *Environmental Hazards*, 7(1), 20-31. <https://doi.org/10.1016/j.envhaz.2007.04.002>.
- Birkmann, J., & Wisner, B. (2006). Measuring the unmeasurable : The challenge of vulnerability [Report of the Second Meeting of the UNU-EHS Expert Working Group on Measuring Vulnerability, 12-15 October 2005]. UNU-EHS.
- Bodian, A. (2014). Caractérisation de la variabilité temporelle récente des précipitations annuelles au Sénégal (Afrique de l'Ouest). 18.
- Boissier, L. (2013). La mortalité liée aux crues torrentielles dans le sud de la France : Une approche de la vulnérabilité humaine face à l'inondation.
- Bonaccorsi, J., Jacquino, F., & Vogt, M. (2018). Regard pluridisciplinaire sur les usages sociaux de géovisualisations 3D pour la sensibilisation au risque d'inondation - un exemple rhodanien. *Revue internationale de Géomatique*, 28(1), 69-94. <https://doi.org/10.3166/rig.2017.00038>.

- Bonnefoy, N. (2018). Catastrophes climatiques : Mieux prévenir, mieux reconstruire, mission d'information sur la gestion des risques climatiques et l'évolution de nos régimes d'indemnisation (note de synthèse N° 628; p. 4).
- Bonnet, E. (2002). Risques industriels : Évaluation des vulnérabilités territoriales : Le cas de l'estuaire de seine [Doctorat en Géographie]. Université Le Havre.
- Bonnet, E., Almaric, M., Nikiema, A., Robert, E., & Hangnon, H. (2017a). Comportements des Ouagalais face aux inondations (p. 4) [Note de politique]. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02362050>.
- Bonnet, E., Almaric, M., Nikiema, A., Robert, E., & Hangnon, H. (2017b). Connaissances des inondations par les Ouagalais (p. 4) [Note de politique]. IRD. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02362045>.
- Boudou, M. (2015). Approche multidisciplinaire pour la caractérisation d'inondations remarquables : Enseignements tirés de neuf évènements en France (1910-2010). Université Paul Valéry-Montpellier III.
- Boulbry, G. (2006). Enquêtes verbales et biais méthodologiques. *La Revue des Sciences de Gestion*, n°222(6), 69-78
- Bouraima, Z. (2019). Sociologie de l'assainissement : Latrinsation, représentations sociales et logiques d'action dans les villes moyennes au Burkina Faso. 431.
- Bourhis, J.-P. L. (2007). Du savoir cartographique au pouvoir bureaucratique. Les cartes des zones inondables dans la politique des risques (1970-2000). *Genèses*, n° 68(3), 75-96.
- Bouvier, C. (2004). De la pluie à l'inondation : Contribution à la compréhension et à la prévision des évènements extrêmes sur petits bassins tropicaux et méditerranéens [Habilitation à diriger des recherches de l'Ecole doctorale Sciences de la Terre et de l'Eau, Université Montpellier II]. http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-03/010041698.pdf
- Bouvier, C., Alcoba, M., Cazenave, F., Chahinian, N., Coulibaly, G., Crès, A., Crespy, A., Gosset, M., Fowe, T., Miller, J., Turko, M., & Sawadogo, L. (à paraître). Modélisation à fine résolution spatiale des inondations dans une agglomération urbaine, par couplage d'un modèle hydrologique et d'un modèle de transfert en réseau. *La Houille Blanche-Revue internationale de l'eau*, 10.
- Box, G. E. P. (1979). Robustness in the strategy of scientific model building, *Robustness in Statistics*.
- Boyard-Micheau, J., & Camberlin, P. (2015). Reconstitution de séries de pluies quotidiennes en Afrique de l'Est : Application aux caractéristiques des saisons des pluies. *Climatologie*, 12, 83-105.

- Boyer, F., & Delaunay, D. (2009). Ouaga2009—Peuplement de Ouagadougou et développement urbain (p. 250) [Rapport provisoire].
- Braccio, S., & Tiepolo, M. (2016). Chapitre 10- Analyse du risque d'inondation à Niamey, Niger. In *Risque et adaptation climatique dans la région Tillabéri, Niger- pour renforcer les capacités d'analyse et d'évaluation* (L'Harmattan).
- Breysse. (2009), Historique, vocabulaire, perception – le risque, consulté le 24/06/2021 sur http://www.unit.eu/cours/cyberrisques/etage_1/co/Module_Etage_1_14.html.
- Bronfort, S. (2017). Les stratégies d'adaptation face au risque d'inondation dans les zones d'habitat spontanés de Ouagadougou, Burkina Faso [Master en sciences et gestion de l'environnement, à finalité spécialisée pays en développement]. Université de Liège.
- Bruckmann, L., Amanejieu, A., Moffo, M. O. Z., & Ozer, P. (2019). Analyse géohistorique de l'évolution spatio-temporelle du risque d'inondation et de sa gestion dans la zone urbaine de Douala (Cameroun). *Physio-Géo*, Volume 13, 91-113. <https://doi.org/10.4000/physio-geo.8038>.
- Buckle, P., Marsh, G., & Smale, S. (2001). *Assessing resilience and vulnerability : Principles, strategies and actions* (N° 15/2000; EMA Project, p. 50). Victorian Government Publishing Services.
- Cadier, E., Zevallos, O., & Basabe, P. (1996). Le glissement de terrain et les inondations catastrophiques de la Josefina en Équateur. *Bull. Inst. fr. études andines*, 25(3), 421-441.
- CADRI. (2015). Rapport d'évaluation des capacités nationales pour la réduction des risques, la préparation et la réponse aux urgences au Mali (p. 78). Capacity for disaster reduction initiative.
- CAEB. (2018). Étude diagnostique sur les goulots d'étranglement des grands collecteurs et l'acheminement des déchets des dépôts de transit au dépôt final à Bamako (p. 104) [Rapport final- Étude diagnostique]. Programme WATERSHED.
- Camara, F. (2017). Les titres fonciers autour de Bamako : Modes d'accès et impacts sur les usages. *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Volume 17 Numéro 1, Article Volume 17 Numéro 1. <https://doi.org/10.4000/vertigo.18547>.
- Cannon, T. (2000). Vulnerability analysis and disasters. In *Floods* (Parker J.A., eds, Vol. 1, p. 45-55)
- Cardona, O. D. (2004). The need for rethinking the concepts of vulnerability and risk from a holistic perspective : A necessary review and criticism for effective risk management. In *Mapping Vulnerability : Disasters, Development and People* (1st edition, p. 37-51). Routledge.

- Carpenter, S., Walker, B., Anderies, J., & Abel, N. (2001). From Metaphor to Measurement : Resilience of What to What? *Ecosystems*, 4, 765-781. <https://doi.org/10.1007/s10021-001-0045-9>.
- Centre for Research on the Epidemiology of Disasters- CRED. (2019). *Disasters in Africa : 20 years review (2000-2019)*. 56, 2.
- Cerema. (2016). *Référentiel national de vulnérabilité aux inondations (p. 128) [Guide]*. Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer (MEEM).
- Cherqui, F. (2005). *Méthodologie d'évaluation d'un projet d'aménagement durable d'un quartier-méthode ADEQUA*.
- Civiate, M., & Mandel, F. (2008). *La mesure de la hauteur des précipitations (comprendre la météo, p. 11)*. Météo France.
- Coeur, D. (2012). *Guide méthodologique pour la collecte des informations historiques sur les inondations (Base de données historiques sur les Inondations (BDHI) N° 3; p. 40)*.
- Colbeau-Justin, L. (2002). *Stratégies de faire face dans le cas d'une inondation catastrophique : Analyse des paramètres psychosociaux dans les procédures de gestion de crise (p. 89) [Rapport pour le Programme de recherche RIO2]*. Ministère de l'Écologie et du Développement durable.
- Comby, E., & Lay, Y.-F. L. (2011). *Raconter la crise : les extrêmes hydrologiques au prisme de la presse locale (Drôme)*. *VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement*, Hors-série 10.
- Condamines, C. (1988). *Argent, association, Tiers Monde*.
- Condomines, B., & Hennequin, E. (2013). *Étudier des sujets sensibles : les apports d'une approche mixte*. 2(5), 12-27.
- Coulibaly, M., Mamadou, D. D., BocarFassikoye, F., Diarra, D., Traore, K. M., & Reij, C. P. (2012). *Le captage des eaux de pluie*. GCoZA Rapport, 72.
- CRED. (2020). *Human Cost of Disasters (2000-2019) (N°. 61; p. 2)*. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters CRED; UCLouvain; USAID. <https://cred.be/sites/default/files/CRED-Disaster-Report-Human-Cost2000-2019.pdf>
- Cutter, S. L. (2003). *The Vulnerability of Science and the Science of Vulnerability*. *Annals of the Association of American Geographers*, 93(1), 1-12. <https://doi.org/10.1111/1467-8306.93101>.
- Cutter, S. L., Boruff, B. J., & Shirley, L. W. (2003). *Social vulnerability to environmental hazards*. *Social Science Quarterly*, 84(2), 242-261.

- Cutter, S. L., Burton, C. G., & Emrich, C. T. (2010). Disaster resilience indicators for benchmarking baseline conditions. *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, 7(1), 1-22. <https://doi.org/10.2202/1547-7355.1732>.
- Cutter, S. L., & Emrich, C. T. (2017). Social vulnerability index (SoVI®) : Methodology and limitations. Columbia, SC: Hazards and Vulnerability Research Institute, 1-6.
- Cutter, S. L., Mitchell, J. T., & Scott, M. S. (2000). Revealing the vulnerability of people and places : A case study of Georgetown County, South Carolina. *Annals of the association of American Geographers*, 90(4), 713-737.
- CYPRES. (nd), Aléas dans Glossaire des risques majeurs, consulté le 04/01/2019 sur <https://www.cypres.org/Default/glossaire-des-risques-majeurs.aspx#>.
- Da, M. L. C., & Bonnet, E. (2020). Risques d'inondations au Sahel : Modélisation des facteurs sociaux porteurs de dommages structurels aux ménages de Bamako (Mali). *Regardsuds, Numéro spécial*, 75-89.
- Danvidé, T. B. (2015). Gouvernance des politiques de planification urbaine et gestion des inondations à Cotonou (Bénin) [Thèse de doctorat en géographie humaine et régionale, Université Paris 8 et en urbanisme et gestion de l'environnement, Université d'Abomey-Calavi]. <http://www.theses.fr/2015PA080149>
- Dauphiné, A., & Provitolo, D. (2013). Risques et catastrophes. Observer, spatialiser, comprendre, gérer (Armand Collin).
- Dauvergne, S. (2011). Les espaces urbains et péri-urbains à usage agricole dans les villes d'Afrique subsaharienne (Yaoundé et Accra) : Une approche de l'intermédiation en géographie [Doctorat en Géographie]. École Normale Supérieure de Lyon.
- Dazé, A., Ambrose, K., & Ehrhart, C. (2010). Analyse de la vulnérabilité et de la capacité d'adaptation au changement climatique (1re édition). CARE International.
- Deepak, S., Rajan, G., & Jairaj, P. (2020). Geospatial approach for assessment of vulnerability to flood in local self-governments. *Geoenvironmental Disasters*, 7(1), 1-19.
- Décret n°2009-793/PRES/PM/MHU/MATD/MEF/MID/MAHRH/MECV portant réglementation des servitudes des canaux primaires d'évacuation des eaux pluviales, des zones inondables inconstructibles et des zones submersibles dans la ville de Ouagadougou., Pub. L. No. 2009-793/PRES/PM/MHU/MATD/MEF/MID/MAHRH/MECV, Journal officiel n° 50 du 10 décembre 2009 (2009).
- Delaunay, D., & Boyer, F. (2017). Habiter Ouagadougou (Monographie N° 5; Monographies sud-nord, Collection de documents scientifiques pour la valorisation des recherches sur les transformations sociétales au sud, p. 84). Institut d'étude du développement économique et social (IEDES), Université Paris 1 Panthéon Sorbonne.

- Dembélé, O., & Ouattara, I. (2019). Contribution du SIG à la Prévention et à la Gestion des Risques d'inondation dans le District de Bamako au Mali. *European Scientific Journal ESJ*, 15(30). <https://doi.org/10.19044/esj.2019.v15n30p256>.
- Dembélé, S. (2017). Dynamique socio-spatiale de la ville de Bamako et environs [Doctorat de Géographie]. Université de Caen Normandie.
- Demoraes, F., & D'Ercole, R. (2009). Risques et accessibilité des lieux dans le District métropolitain de Quito (Équateur). *M@ppemonde*, 3(95), 1-20.
- D'Ercole, R., & Metzger, A. (2009). La vulnérabilité territoriale : Une nouvelle approche des risques en milieu urbain. *Cybergeo : European Journal of Geography* [A ligne], Document 447, 16.
- De Sardan, J.-P. O. (2008). La crise humanitaire vue d'en bas. *Afrique contemporaine*, 225, 217-294.
- De Sardan, J.-P. O. (2011). Aide humanitaire ou aide au développement ? La « famine » de 2005 au Niger. *Ethnologie française*, 41, 415-429.
- Dequincey O. et Thomas P. (2017). Aléas et risques dans Planet Terre- Ressources scientifiques pour l'enseignement des sciences de la Terre et de l'Univers, consulté le 18/01/2019 sur <https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/FEL2017.xml>.
- Descroix, L., Diongue Niang, A., Dacosta, H., Panthou, G., Quantin, G., & Diedhiou, A. (2013). Évolution des pluies de cumul élevé et recrudescence des crues depuis 1951 dans le bassin du Niger moyen (Sahel). *Climatologie*, Volume 10. <https://doi.org/10.4267/climatologie.78>.
- Dewan, A. (2013). *Floods in a megacity : Geospatial techniques in assessing hazards, risk and vulnerability*. Springer.
- Diallo, B. (2020). Politique de logements sociaux et problématiques d'attribution au Mali : Cas des 1008,320 et 501 de Yirimadio en commune VI du District de Bamako. *Revue Africaine des Sciences sociales et de la Santé publique*, 2(1), 111-125.
- Dianoux, C. (2007). Incidence de la longueur du questionnaire sur la stabilité des réponses. *Revue française du marketing*, 4/5 (214), 27-40.
- Diawara, H., Maiga, F., Ballo, A., & Malle, K. S. (2019). Évaluation des zones à risque d'inondation sur les berges du fleuve Niger dans le district de Bamako. *Presses de l'UL*, 1(16), 193-208.
- Diongue, M. (2014). Périphérie urbaine et risques d'inondation à Dakar (Sénégal) : Le cas de Yeumbeul Nord. *Eso, travaux & documents, Résumé des travaux*, 37, 45-54.
- Djiré, M., & Kéita, A. (2016). Cadre d'analyse de la gouvernance foncière- Mali (p. 197). Banque Mondiale, IPAR, FAO.

- Douglas, I., Alam, K., Maghenda, M., McDonnell, Y., Mclean, L., & Campbell, J. (2008). Unjust waters : Climate change, flooding and the urban poor in Africa. *Environment and Urbanization*, 20(1), 187-205. <https://doi.org/10.1177/0956247808089156>
- Douglas, I. (2017). Flooding in african cities, scales of causes, teleconnections, risks, vulnerability and impacts. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 26, 34-42. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.09.024>
- Dunglas, J. (2005). Typologie des aléas et connaissance de la vulnérabilité. Le point de vue de l'ingénieur. *Annales des mines*.
- Durkheim, E. (1912). Les formes élémentaires de la vie religieuse. Le système totémique en Australie. (cinquième édition-1968). Les Presses universitaires de France.
- El Sanharawi, M., & Naudet, F. (2013). Comprendre la régression logistique / Understanding logistic regression. *Journal français d'Ophthalmologie*, 36(8), 710-715. <https://doi.org/10.1016/j.jfo.2013.05.008>.
- ENS Lyon. (2015). Risques dans Géoconfluences, consulté le 20.11.2018 sur <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/risque-s>.
- Essone Nkoghe, J. P. (2012). Transports actifs et stratégies d'accès à l'emploi des populations des quartiers périphériques dans les villes africaines : Le cas de Ouagadougou [Doctorat en études urbaines]. Université du Québec à Montréal.
- Farsi, M. N., & Bard, P.-Y. (2004). Estimation des périodes propres de bâtiments et vulnérabilité du bâti existant dans l'agglomération de Grenoble. *Revue française de génie civil*, 8(2-3), 149-179.
- Fatemi, F., Ardalan, A., Aguirre, B., Mansouri, N., & Mohammadfam, I. (2017). Social vulnerability indicators in disasters : Findings from a systematic review. *International journal of disaster risk reduction*, 22, 219-227.
- Felli, R. (2014). Adaptation et résilience : Critique de la nouvelle éthique de la politique environnementale internationale. *Éthique publique. Revue internationale d'éthique sociétale et gouvernementale*, 16 (vol. 16, n° 1), Article 1. <https://doi.org/10.4000/ethiquepublique.1371>.
- Fenneteau, H. (2015). Enquête : Entretien et questionnaire (3e édition). Les topos. <https://www.dunod.com/entreprise-economie/enquete-entretien-et-questionnaire>
- Ferry, L., Muther, N., Coulibaly, N., Martin, D., Mietton, M., Coulibaly, Y. C., Olivry, J. C., Paturel, J. E., Barry, M. A., & Yéna, M. (2012). Le fleuve Niger de la forêt tropicale guinéenne au désert saharien - Les grands traits des régimes hydrologiques. 27.
- Fort, E., Lobies, P., & Bergeret, A. (2011). Phénomène de rupture professionnelle chez des salariés en consultation en service de maladie professionnelle. Analyse factorielle et classification.

- Archives des Maladies professionnelles et de l'Environnement, 72(5), 426-438.
<https://doi.org/10.1016/j.admp.2011.09.008>.
- Fortin, G., Poirier, C., Duhamel, F., & Germain, D. (2020). Risques d'inondation et vulnérabilité : L'exemple du bassin versant de la rivière Kennebecasis, Nouveau-Brunswick, Canada. *Idées d'Amériques*, 15. <https://doi.org/10.4000/ideas.7999>.
- Fournet, F., Meunier-Nikiema, A., & Salem, G. (2008). Ouagadougou, 1850-2004 : Une urbanisation différenciée. Institut de Recherche pour le Développement (IRD). Collection « Petit atlas urbain ». 146 p.
- Fouchier, C. (2010). Développement d'une méthodologie pour la connaissance régionale des crues [Doctorat en Hydrologie]. Université Montpellier II.
- Fujiki, K. (2017). Étude prospective des impacts sociaux d'une inondation majeure en région Ile-de-France. Disparités socio-spatiales dans la prise en charge des populations franciliennes en situation de crise et post-crise : Une analyse cartographiée et quantifiée des besoins des ménages, de l'évacuation à la reconstruction [Thèse de Géographie]. Université de Lyon (Université Jean Moulin Lyon 3).
- Fulleriger, D. (1996). Incertitude du risque industriel majeur [Thèse de doctorat de troisième cycle]. Université de Savoie, École Supérieure d'ingénieurs de Chambéry.
- Gabert, J. (2018). Mémento de l'assainissement-mettre en oeuvre un service d'assainissement complet, durable et adapté (Éditions du Gret). Éditions Quae. 844 p.
<https://doi.org/10.35690/978-2-7592-2737-2>.
- Gascon, E. (2017). Conception par l'opportunité pour des villes éco-résilientes aux inondations [Doctorat en Architecture et aménagement de l'espace]. Université Paris-Saclay.
- GIEC. (2007). Bilan 2007 des changements climatiques [Rapport de synthèse]. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.
- Gleyze, J.-F., & Reghezza, M. (2007). La vulnérabilité structurelle comme outil de compréhension des mécanismes d'endommagement. *Géocarrefour*, 82(1-2).
- Gómez-Quintero, J. D., Martínez, J. G., & Maldonado, L. (2020). Socioeconomic vulnerability and housing insecurity : A critical factor in child care in Spain. *Children and Youth Services Review*, 114, 105021.
- Gosset, M., Cazenave, F., Zougmore, F., Doumounia, A., & Kacou, M. (2015). Rainfall measurements from cellular networks microwave links : An alternative ground reference for satellite validation and hydrology in Africa. *Environmental Science*.
- Gouvernement du Burkina Faso. (2009). Plan national multirisque de préparation et de réponse aux catastrophes.

- Griot, C. (2007). Vulnérabilité et transport de matières dangereuses : Une méthode d'aide à la décision issue de l'expertise de la Sécurité Civile. *Cybergeog: European Journal of Geography*.
- Guengant, J.-P. (2009). Évolution passée et future de la ville de Ouagadougou.
- Guerrin, J. (2014). Une inondation négociée ? Politisation d'un risque naturel sur le Rhône.
- Guillard-Gonçalves, C., Cutter, S. L., Emrich, C. T., & Zêzere, J. L. (2015). Application of Social Vulnerability Index (SoVI) and delineation of natural risk zones in Greater Lisbon, Portugal. *Journal of Risk Research*, 18(5), 651-674. <https://doi.org/10.1080/13669877.2014.910689>.
- Guissou, R., Kaboré, A., Bayel, B. K., Ilboudo, F., Le, T., & Yameogo, S. (2014). Second rapport d'étude diagnostique sur les risques agricoles et alimentaires et les outils de gestion au Burkina Faso. 66.
- Gwatkin, D. R., Rutstein, S., Johnson, K., Suliman, E., Wagstaff, A., & Amouzou, A. (2007). Socio-Economic Differences in Health, Nutrition, and Population Within Developing Countries : An Overview (Country Reports on HNP and Poverty N° 48361; p. 301). The World Bank. <http://jama.jamanetwork.com/article.aspx?doi=10.1001/jama.298.16.1943>.
- Habibi, B., Meddi, M., & Boucefiane, A. (2013). Analyse fréquentielle des pluies journalières maximales Cas du Bassin Chott-Chergui. *Nature & Technology*, 8, 41B.
- Halimatou, A. T., Kalifa, T., & Kyei-Baffour, N. (2017). Assessment of changing trends of daily precipitation and temperature extremes in Bamako and Ségou in Mali from 1961-2014. *Weather and climate extremes*, 18, 8-16.
- Hallegatte, S., Vogt-Schilb, A., Bangalore, M., & Rozenberg, J. (2016). Unbreakable- Building the resilience of the poor in the face of natural disasters (Climate Change and Development Series, p. 201) [Résumé de rapport]. World Bank Group. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1003-9>.
- Hammond, M. J., Chen, A. S., Djordjević, S., Butler, D., & Mark, O. (2015). Urban flood impact assessment : A state-of-the-art review. *Urban Water Journal*, 12(1), 14-29.
- Hangnon, H., De Longueville, F., & Ozer, P. (2015). Précipitations « extrêmes » et inondations à Ouagadougou : Quand le développement urbain est mal maîtrisé. 497-502.
- Hauhout, C. (2008). Analyse du risque pluvial dans les quartiers précaires d'abidjan. Etude de cas à Attécoubé. *Geo-Eco-Trop*, 32, 75-82
- Heitz, C., Brun, J., Rozan, A., & Martin, B. (2018). Analyse diachronique de la vulnérabilité par l'évaluation des dommages potentiels : Quels enjeux dans le temps? *Vertigo: la revue électronique en sciences de l'environnement*, 18(3).

- Hingray, B. (1999). Comportement et modélisation hydraulique des zones bâties en situation d'inondation : Le cas des zones cloisonnées d'habitat individuel de Ouagadougou [Mémoire Géosciences-Montpellier, Institut des sciences de la terre de l'eau et de l'espace de Montpellier]. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-06/010017725.pdf
- Holand, I. S., Lujala, P., & Rød, J. K. (2011). Social vulnerability assessment for Norway : A quantitative approach. *Norsk Geografisk Tidsskrift-Norwegian Journal of Geography*, 65(1), 1-17.
- Hostache, R. (2007). Analyse d'images satellitaires d'inondations pour la caractérisation tridimensionnelle de l'aléa et l'aide à la modélisation hydraulique [Sciences of the Universe (Physics)]. École Nationale du Génie Rural, des Eaux et Forêts (ENGREF).
- Hostache, R., Matgen, P., Schumann, G., Puech, C., Hoffmann, L., & Pfister, L. (2009). Water level estimation and reduction of hydraulic model calibration uncertainties using satellite SAR images of floods. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47(2), 431-441.
- Hountondji, Y.-C., De Longueville, F., & Ozer, P. (2011). Trends in extreme rainfall events in Benin (West Africa), 1960-2000. *Proceedings of the 1st International Conference on Energy, Environment and Climate Change*.
- Hours, B. (1992). Les ONG mercenaires du village planétaire ou gardiennes des ghettos. In *Vers quel désordre mondial?* (p. 35-50). https://www.persee.fr/doc/AsPDF/homso_0018-4306_1992_num_105_3_2662.pdf
- Hours, B. (2002). L'action humanitaire : Thérapie et/ou idéologie de la globalisation ? *Sud/Nord*, no 17(2), 9-18.
- Howe, L. D., Hargreaves, J. R., Gabrysch, S., & Huttly, S. R. A. (2009). Is the wealth index a proxy for consumption expenditure? A systematic review. *Journal of Epidemiology & Community Health*, 63(11), 871-877. <https://doi.org/10.1136/jech.2009.088021>.
- Hubert, G., & Ledoux, B. (1999). *Le Coût du risque... : L'évaluation des impacts socio-économiques des inondations*. Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées.
- Huete A. R. (1988). A Soil—Adjusted Vegetation Index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25, 295-309.
- Hugon, P. (2017). Les trappes à vulnérabilité et les catastrophes : Niveaux d'analyse et approches systémiques. *Mondes en développement*, 45(180), 13-34. <https://doi.org/10.3917/med.180.0013>.
- Husson, F., Lê, S., & Pagès, J. (2016). *Analyse de données avec R (2e édition revue et augmentée)*. Presses universitaires de Rennes.

- INERIS. (2014). Risque dans PRIMARISK®- Plateforme des ressources intégrées pour la maîtrise des risques majeurs, consulté le 15/12/2018 sur <https://primarisk.ineris.fr/glossary/term/2117>.
- INSD. (1998). Analyse des résultats de l'enquête sur les dépenses des ménages de Ouagadougou (Projet d'harmonisation des statistiques des prix dans les pays de l'UEMOA, p. 83). Institut National de la Statistique et de la Démographie. Http://cns.bf/IMG/pdf/edmo_1996.pdf.
- INSD. (2015). Tableau de bord démographique (p. 61). INSD.
- INSD. (2019). Recueil des concepts, définitions, indicateurs et méthodologies utilisés dans le système statistique national (version finale 2e édition; p. 320). Institut National de la Statistique et de la Démographie.
- INSTAT. (2017). Enquête régionale intégrée sur l'emploi et le secteur informel (ERI-ESI) (Rapport final; p. 265). Institut National de la Statistique.
- Jaglin, S. (1995). Gestion urbaine partagée à Ouagadougou : Pouvoirs et périphéries (1983—1991). 671.
- Janssen, M., Schoon, M., Ke, W., & Borner, K. (2006). Scholarly networks on resilience, vulnerability and adaptation within the human dimensions of global environmental change. *Global Environmental Change*, 16, 240-252. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.04.001>.
- Javadi, S., Hashemy, S., Mohammadi, K., Howard, K., & Neshat, A. (2017). Classification of aquifer vulnerability using K-means cluster analysis. *Journal of hydrology*, 549, 27-37.
- Jonkman, S. N., & Kelman, I. (2005). An analysis of the causes and circumstances of flood disaster deaths : An analysis of the causes and circumstances of flood disaster deaths. *Disasters*, 29(1), 75-97. <https://doi.org/10.1111/j.0361-3666.2005.00275.x>.
- Judge, V. (2019). Apport de l'apprentissage automatique pour la modélisation et l'analyse des changements d'occupation du sol. Université Bourgogne Franche-Comté.
- Kaboré, W. F. R. (2016). Évènements pluvieux extrêmes et inondations dans l'espace « Grand Ouaga » au Burkina Faso [Mémoire de master]. Institut international d'ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE).
- Kah, E., & Pruvot, M. (2002). Maximiser la représentativité de groupes dans un échantillonnage spatial. *Cybergeo : European Journal of Geography*. <https://doi.org/10.4000/cybergeo.3721>
- Karambiri, H. (2009). Brève analyse fréquentielle de la pluie du 1er septembre 2009 à Ouagadougou (Burkina Faso) (p. 4) [Note technique]. 2iE.
- Karambiri, H., Tazen, F., Traore, K., Bologo/Traore, M., & Coulibaly, M. G. (2015). Floods vulnerability index « Grand Ouaga Area » (Burkina Faso) (Technical Report VI; p. 47). AMMA-2050.

- Kédowidé, C. M. G. (2010). Modélisation géomatique par évaluation multicritère pour la prospection des sites d'agriculture urbaine à Ouagadougou. *Vertigo*, 10(2), 20. <https://doi.org/10.4000/vertigo.10368>.
- Keïta, M. (2018). Typologie urbaine et accessibilité géographique potentielle des établissements de santé dits « modernes » dans le district de Bamako (Mali). *Espace populations sociétés. Space population societies*, 2018/1-2, Article 2018/1-2. <https://doi.org/10.4000/eps.7707>.
- Kellens, W., Zaalberg, R., Neutens, T., Vanneuville, W., & De Maeyer, P. (2011). An Analysis of the Public Perception of Flood Risk on the Belgian Coast. *Risk Analysis*, 31(7), 1055-1068. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2010.01571.x>.
- Kessler, M.-C., Lascoumes, P., & Thoenig, J.-C. (1998). Évaluation des politiques publiques.
- Kouassi, A., Nassa, R., Yao, K., Kouame, K., & Biemi, J. (2018). Modélisation statistique des pluies maximales annuelles dans le District d'Abidjan (sud de la Côte d'Ivoire). *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*, 31(2), 147-160.
- Koueta, O. (2019). Ouaga : la ceinture verte agonise, consulté le 01/06/2021 sur <https://www.burkina24.com/2019/06/06/ouaga-burkina-la-ceinture-verte-agonise/>
- Koumassi, D. H., Tchibozo, A. E., Vissin, E., & Houssou, C. (2014). Analyse fréquentielle des évènements hydro-pluviométriques extrêmes dans le bassin de la Sota au Bénin. *Afrique Science: Revue internationale Des Sciences et Technologie*, 10(2), Article 2. <https://doi.org/10.4314/afsci.v10i2>.
- Kursah, M. B. (2013). Application of GIS in flood detection for road infrastructure planning in north-eastern corridor of Northern Ghana. *International Journal of Applied*, 3(5), 94-106.
- Laganier, R. (2006). Territoires, inondation et figures du risque. La prévention au prisme de l'évaluation. L'Harmattan.
- Lallau, B., & Rousseau, S. (2009). De la vulnérabilité à la résilience : Une approche par les capacités de la gestion des risques. In *Risques et environnement: Recherches interdisciplinaires sur la vulnérabilité des sociétés* (A. Peltier et S. Beccera (dir.), p. 213-234). L'Harmattan.
- Lang, M., Coeur, D., Bard, A., Bacq, B., Becker, T., Bignon, E., Blanchard, R., Bruckmann, L., Delsérieys, M., & Edelblutte, C. (2013). Les inondations remarquables en France : Premiers éléments issus de l'enquête EPRI 2011. *La Houille Blanche*, 5, 37-47.
- Lavallée, S., & Maljean-Dubois, S. (2016). L'Accord de Paris : Fin de la crise du multilatéralisme climatique ou évolution en clair-obscur ? *Revue juridique de l'environnement*, Volume 41(1), 19-36.
- Le Duff, M., Dumas, P., & Allenbach, M. (2019). L'approche géohistorique pour la cartographie des risques naturels : Application au risque de submersion marine à Ouvéa (Nouvelle-

- Calédonie). *Physio-Géo. Géographie physique et environnement*, Volume 14, 277-306.
<https://doi.org/10.4000/physio-geo.9431>
- Le Jallé, C., (2013). La gestion des eaux pluviales (GEP) en milieu urbain dans les pays en développement - État des lieux et pistes de réflexion pour un futur programme de recherche-action (p. 38). Programme Solidarité Eau.
- Le Lay, Y.-F., & Rivière-Honegger, A. (2009). Expliquer l'inondation : La presse quotidienne régionale dans les Alpes et leur piedmont (1882-2005). *Géocarrefour*, 2009(Vol. 84/4), 259-270. <https://doi.org/10.4000/geocarrefour.7555>
- Lefaso.net. (2011). Protection civile : Conduite à tenir en cas d'inondation, d'éclair et de tonnerre. Lefaso.net. <https://lefaso.net/spip.php?article43429>.
- Leone, F., Asté, J.-P., & Velasquez, E. (1995). Contribution des constats d'endommagement au développement d'une méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité appliquée aux phénomènes de mouvements de terrain (Contribution of damaging reports to the development of an appraisal methodology of vulnerability, applied to mass movements). *Bulletin de l'Association de géographes français*, 72(4), 350-371.
- Leone, F., & Vinet, F. (2006). La vulnérabilité, un concept fondamental au coeur des méthodes d'évaluation des risques naturels. In *La vulnérabilité des sociétés et territoires face aux menaces naturelles* (Ouvrage collectif sous la direction de Leone F. et Vinet F., Vol. 4).
- Leone & Vinet. (2006). *La vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles-analyse géographique* (Analyses géographiques).
- Leone, F., Deymier, J., Chapelon, L., Colas, A., & Jomelli, V. (2011). Debris flows et accessibilité routière dans les Alpes françaises : Caractérisation et modélisation des vulnérabilités physiques, fonctionnelles, et territoriales. *Actes du XXIVe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Rovereto, Italy*, 369-374.
- Lhéréty, H. (2011). La solitude du thésard de fond. *Sciences humaines*, 10, 10-10.
- Lhomme, S., Serre, D., Diab, Y., & Laganier, R. (2010). Les réseaux techniques face aux inondations ou comment définir des indicateurs de performance de ces réseaux pour évaluer la résilience urbaine. *Bulletin de l'Association de géographes français*, 487-502.
- Loba, A. D. F. V. (2020). Restitution et présentation de travaux de recherche suivant la formulation IMRAD. *Kafoudal- Revue des sciences sociales de l'Université Peleforo Gon Coulibaly de Korhogo*, 6, 1-6.
- Lubès, H., Masson, J. M., Servat, E., Paturel, J. E., Kouame, B., & Boyer, J. F. (1994). Caractérisation de fluctuations dans une série chronologique par applications de tests statistiques - Étude bibliographique (ICCARE N° 3; p. 22). ORSTOM.

- Mama, V. J., & Oloukoi, J. (2003). Évaluation de la précision des traitements analogiques des images satellitaires dans l'étude de la dynamique de l'occupation du sol. *Téledétection*, 3(5), 429-441.
- Mara, F. (2010). Développement et analyse des critères de vulnérabilité des populations sahéniennes face à la variabilité du climat : Le cas de la ressource en eau dans la vallée de la Sirba au Burkina Faso [Thèse de doctorat en sciences de l'environnement, Université du Québec à Montréal]. <https://archipel.uqam.ca/3608/>
- Margossian, N. (2006). Risques et accidents industriels majeurs- caractéristiques-règlementation-prévention (Dunod).
- Marie, J., Morand, P., & N'Djim, H. (2007). Avenir du fleuve Niger (nouvelle édition [en ligne]). IRD éditions. <http://books.openedition.org/irdeditions/5173>>. ISBN: 9782709917766. DOI: <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.5173>.
- Mariko, A. (2003). Caractérisation et suivi de la dynamique de l'inondation et du couvert végétal dans le Delta intérieur du Niger (Mali) par télédétection [Doctorat en Structure et évolution terre et planètes]. Université Montpellier II.
- Masse A., 2013, Développement et automatisation de méthodes de classification à partir de séries temporelles d'images de télédétection - Application aux changements d'occupation des sols et à l'estimation du bilan carbone. Université de Toulouse, 235 p.
- MEDD. (2004). Les inondations (p. 24) [Dossier d'information sur les risques naturels majeurs]. Ministère de l'Écologie et du Développement durable, Direction de la prévention des risques majeurs, sous-direction de la prévention des risques majeurs.
- Meschinet de Richemond, N., & Reghezza, M. (2010). La gestion du risque en France : Contre ou avec le territoire? *Annales de géographie*, 3(673), 248-267. <https://doi.org/10.3917/ag.673.0248>.
- Mesplé-Somps, S., Selod, H., Spielvogel, G., & Blankespoor, B. (2018). Urbanisation et croissance dans les villes du Mali. In J. Brunet-Jailly, J. Charmes, & D. Konaté (Éds.), *Le Mali contemporain* (p. 545-580). IRD Éditions. <Http://books.openedition.org/irdeditions/21242>.
- Meyer, N., Ferlicot, S., Vieillefond, A., Peyromaure, M., & Vielh, P. (2004). Intérêt de l'analyse factorielle des correspondances multiples en histopathologie. *Annales de Pathologie*, 24(2), 149-160. [https://doi.org/10.1016/S0242-6498\(04\)93938-7](https://doi.org/10.1016/S0242-6498(04)93938-7).
- Michaux, M. (2008). *Les mots-clés de la géographie*. Éditions Eyrolles.
- Nasiri, H., Yusof, M. J. M., & Ali, T. A. M. (2016). An overview to flood vulnerability assessment methods. *Sustainable Water Resources Management*, 2(3), 331-336.
- Ngo, A. T. (2014). Évaluation environnementale du risque d'inondation dans le delta du fleuve Ha Thanh (centre Viêt-Nam) [Doctorat en Géographie]. Université d'Orléans.

- Niang, A. J. (2008). Les processus morphodynamiques, indicateurs de l'état de la désertification dans le sud-ouest de la Mauritanie. Approche par analyse multisource.
- Nikiema, A. (2012). Approches de la gestion urbaine des déchets ménagers à Ouagadougou (Burkina Faso). *Éléments de compréhension*, 17.
- Nouaceur, Z. (2020). La reprise des pluies et la recrudescence des inondations en Afrique de l'Ouest sahélienne. *Physio-Géo*, Volume 15, 89-109. <https://doi.org/10.4000/physio-geo.10966>.
- Nouaceur, Z., & Gilles, S. (2013, 13/06). Changements climatiques et inondations urbaines au Sahel- Études de cas : Nouakchott (Mauritanie), Ouagadougou (Burkina Faso). L'évaluation environnementale comme outil de prévention et de gestion des catastrophes. Colloque international de Lomé, Lomé, Togo.
- November, V. (2002). Les territoires du risque : Le risque comme objet de réflexion géographique. (Numéro BOOK). Peter Lang.
- Observatoire sur la responsabilité sociétale des entreprises (ORSE). (2003). Analyse comparative d'indicateurs de développement durable. Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie.
- Ologunorisa, T. E. (2004). An assessment of flood vulnerability zones in the Niger Delta, Nigeria. *International journal of environmental studies*, 61(1), 31-38.
- ONU Habitat. (2002). Qu'est-ce qu'une ville ? United Nations.
- ONU Habitat. (2014). Les expulsions forcées (Fiche d'information n°25; p. 66). Haut-commissariat des Nations Unies pour les Droits de l'Homme.
- Ouattara, A. (2005). Gestion foncière et front d'urbanisation au Burkina Faso : Le cas de Ouagadougou. In *L'aménagement au défi de la décentralisation en Afrique de l'ouest* (Presses Univ. du Mirail, p. 312).
- Ouédraogo, A., & Sanfo, F. A. (2018). La gestion institutionnelle des inondations du 1er septembre 2009 au Burkina Faso (Monographie N° 7; p. 28). Institut du développement économique et social.
- Ouedraogo, J., & Ndiaye, R. (2008). La réduction des risques de catastrophes naturelles en Afrique de l'Ouest et en Afrique centrale : Perspectives locales. *enda Tiers-Monde*.
- Ould Sidi Cheikh, M. A., Ozer, P., & Ozer, A. (2007). Risques d'inondations dans la ville de Nouakchott. *Revue internationale de géologie, de géographie et d'écologie tropicales*, 31, 19-42.
- Ozer, P., Laminou Manzo, O., Tidjani, A. D., Djaby, B., & De Longueville, F. (2017). Évolution récente des extrêmes pluviométriques au Niger (1950-2014). *Geo-Eco-Trop*, 3(41, n.s.), 375-384.

- Ozer, P., & Mahamoud, A. (2013). Recent Extreme Precipitation and Temperature Changes in Djibouti City (1966–2011). *Journal of Climatology*, 2013, e928501. <https://doi.org/10.1155/2013/928501>
- Panda, A., & Sahu, N. (2019). Trend analysis of seasonal rainfall and temperature pattern in Kalahandi, Bolangir and Koraput districts of Odisha, India. *Atmospheric Science Letters*, 20(10), e932.
- Panthou, G. (2013). Analyse des extrêmes pluviométriques en Afrique de l'Ouest et de leurs évolutions au cours des 60 dernières années [Doctorat spécialité Océan Atmosphère et Hydrologie]. Université de Grenoble.
- Parker, D. J. (Éd.). (2000). *Floods* (1st edition). Routledge.
- Passy, P., & Thery, S. (2018). Utilisation des modules SAGA GIS dans QGIS. In *QGIS et outils génériques* (ISTE éditions, Vol. 1, p. 119-163).
- Pelling, M. (2003). *Natural Disasters and Development in a Globalizing World* (Routledge). Taylor & Francis Group.
- Periyasamy, P., Yagoub, M. M., & Sudalaimuthu, M. (2018). Flood vulnerable zones in the rural blocks of Thiruvallur District, South India. *Geoenvironmental Disasters*, 5(1), 1-16.
- PGRCI. (2020). Étude de planification de la gestion des risques climatiques (GRC) pour évaluer les codes/textes de construction et d'établissements existants en termes de risques et de dangers liés aux inondations au Mali [Rapport final].
- Picon, B., Allard, P., Claeys-Mekdade, C., & Killian, S. (2006). *Gestion du risque inondation et changement social dans le delta du Rhône : Les « catastrophes » de 1856 et 1993-1994*. Editions Quae.
- Pierre Louis, L., Guigma, L., Dakissaga, P. C., Hangnon, H., Sanogo, S., Aweh, M., & Samate, W. O. (2017). État des villes au Burkina Faso 1995-2015 (p. 234). Programme Pays urbain du Burkina Faso, ministère de l'urbanisme et de l'habitat.
- Pigeon, P. (2002). Réflexions sur les notions et les méthodes en géographie des risques dits naturels. *Annales de géographie*, 627-628, 452-470.
- Posner, R. A. (2004). *Catastrophe : Risk and Response*. Oxford University Press, USA. https://books.google.bf/books?hl=fr&lr=&id=udfIRRm9C5kC&oi=fnd&pg=PR9&dq=catastrophe&ots=n0qCj5zAm6&sig=IFOVU-0UCEYpNRI36oZOfyFtjwA&redir_esc=y#v=onepage&q=catastrophe&f=false.
- Programme de gestion urbaine (PGU). (2001). *Gouvernance locale, pauvreté et partenariat dans le district de Bamako* (p. 162) [Plan stratégique du développement du district de Bamako]. Mairie du District de Bamako. https://mirror.unhabitat.org/downloads/docs/BamakoCDS_ReportFrench.pdf.

- Projet CDS. (2008). Etude diagnostique de l'agglomération de Ouagadougou. G2 conception.
- Provitolo, D. (2003). Modélisation et simulation de catastrophe urbaine : Le couplage de l'aléa et de la vulnérabilité. *Prévention des risques naturels*, 400, 232-268.
- Provitolo, D. (2005). Un exemple d'effets de dominos : La panique dans les catastrophes urbaines. *Cybergeo*. <https://doi.org/10.4000/cybergeo.2991>.
- Provitolo, D. (2007a). Vulnérabilité aux inondations méditerranéennes en milieu urbain : Une nouvelle démarche géographique. *Annales de géographie*, 653(1), 23. <https://doi.org/10.3917/ag.653.0023>.
- Provitolo, D. (2007b). Vulnérabilité aux inondations méditerranéennes en milieu urbain : Une nouvelle démarche géographique. 1, 23-40.
- Qazi, K. A. (2006). Changement climatique, inondations et gestion des crues : Le cas du Bangladesh. *Herodote*, no 121(2), 73-94.
- Quenault, B. (2015a). La vulnérabilité, un concept central de l'analyse des risques urbains en lien avec le changement climatique. *Les Annales de la recherche urbaine*, 110(1), 138-151. <https://doi.org/10.3406/aru.2015.3175>.
- Quenault, B. (2015b). De Hyōgo à Sendai, la résilience comme impératif d'adaptation aux risques de catastrophe : nouvelle valeur universelle ou gouvernement par la catastrophe ? *Développement durable et territoires. Économie, géographie, politique, droit, sociologie*, Vol. 6, n°3, Article Vol. 6, n°3. <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.11010>.
- Quinn, P., Beven, K., Chevallier, P., & Planchon, O. (1991). The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models. *Hydrological Processes*, 5(1), 59-79. <https://doi.org/10.1002/hyp.3360050106>.
- Rea, L. M., & Parker, R. A. (1997). *Designing and Conducting Survey Research : A Comprehensive Guide* (CA: Josey-Bass Publishers). John Wiley & Sons.
- Reghezza, M. (2006). La vulnérabilité : Un concept problématique. In F. Leone et F. Vinet, *La vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles. Analyses géographiques*, Montpellier, PULM, coll. Géorisque (p. 35-40).
- Reghezza-Zitt, M. (2015). Territorialiser ou ne pas territorialiser le risque et l'incertitude. La gestion territorialisée à l'épreuve du risque d'inondation en Île-de-France. *L'Espace politique. Revue en ligne de géographie politique et de géopolitique*, 26, Article 26. <https://doi.org/10.4000/espacepolitique.3543>.
- Reghezza-Zitt, M. (2017). Penser la vulnérabilité dans un contexte de globalisation des risques grâce aux échelles spatiales et temporelles. *Espace populations sociétés. Space population societies*, 2016/3, Article 2016/3. <https://doi.org/10.4000/eps.6641>.

- Renard, F. (2010). Le risque pluvial en milieu urbain. De la caractérisation de l'aléa à l'évaluation de la vulnérabilité : Le cas du Grand Lyon [Doctorat en Géographie et Aménagement]. Université Jean Moulin Lyon 3.
- Renard, F., & Chapon, P.-M. (2010). Une méthode d'évaluation de la vulnérabilité urbaine appliquée à l'agglomération lyonnaise. *L'espace géographique*, 39(1), 35-50.
- Renisio, T., & Sinthon, R. (2014). L'analyse des correspondances multiples au service de l'enquête de terrain- pour en finir avec le dualisme « quantitatif »/ « qualitatif ». *Genèses*, n°97, 109-125.
- Rérolle, C., Faisant, M., Telmon, N., & Saint-Martin, P. (2015). Mise en évidence des profils individuels des assurés impliqués dans les expertises de sécurité sociale. *La Revue de Médecine Légale*, 6(2), 53-59. <https://doi.org/10.1016/j.medleg.2015.06.001>.
- RGPH. (1987). Recensement général de la population et de l'habitat (du 1er au 14 avril 1987).
- RGPH. (2019). Cinquième Recensement général de la Population et de l'Habitation du Burkina Faso (Résultats préliminaires 5e RGPH). Institut National de la Statistique et de la Démographie (INSD).
- Ritschard, G., Zighed, D., & Nicoloyannis, N. (2001). Maximisation de l'association par regroupement de lignes ou de colonnes d'un tableau croisé. *Mathématiques et sciences humaines*, 39(154-155), 81-97. <https://doi.org/10.4000/msh.2841>.
- Robineau, O. (2014). Les quartiers non-lotis : Espaces de l'entre-deux dans la ville burkinabé. *Carnets de géographes*, 7, 1-11. <https://doi.org/10.4000/cdg.478>.
- Rousseau, C. (2001). Capabilités, risque et vulnérabilité. [Http://data.over-blog-kiwi.com/0/06/34/58/201302/ob_0dbe187435f56682b6c9c67c2270b030_sarousseau.pdf](http://data.over-blog-kiwi.com/0/06/34/58/201302/ob_0dbe187435f56682b6c9c67c2270b030_sarousseau.pdf).
- Rufat, S. (2010). Existe-t-il une "mauvaise" résilience? *Le Manuscript*. [Https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00693161](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00693161).
- Rufat, S., Tate, E., Burton, C. G., & Maroof, A. S. (2015). Social vulnerability to floods : Review of case studies and implications for measurement. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 14, 470-486. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2015.09.013>.
- Ruin, I. (2007). Conduite à contre-courant. Les pratiques de mobilité dans le Gard : Facteur de vulnérabilité aux crues rapides [Doctorat en Géographie]. Université Joseph Fourier.
- Ruin, I., & Lutoff, C. (2004). Vulnérabilité face aux crues rapides et mobilités des populations en temps de crise. *La Houille Blanche*, 6, 114-119. <https://doi.org/10.1051/lhb:200406016>.
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234-281. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)
- Saaty, T. L. (2008). Decision-making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>.

- Sadia, C. (2014). Risque climatique et réactivité des populations urbaines vulnérabilisées face à la montée des eaux de mer à Gonzagueville, Abidjan (Côte d'Ivoire). [VertigO] La revue électronique en sciences de l'environnement, 14(1).
- Sana, A. (2001). Contribution à l'élaboration d'un plan de restauration de la ceinture verte de Ouagadougou [Mémoire]. Université de Ouagadougou.
- Sanou, M., & Ouedraogo, E. (1998). Profil de pauvreté urbaine et accès aux services sociaux de base (p. 60). INSD.
- Sarr, M., Zoromé, M., Seidou, O., Bryant, C., & Gachon, P. (2013). Recent trends in selected extreme precipitation indices in Senegal - A change point approach. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2013.09.032>
- Savadogo, M., Somda, J., Seynou, O., Zabré, S., & Nianogo, A. (2011). Catalogue des bonnes pratiques d'adaptation aux risques climatiques au Burkina Faso. Ouagadougou, Burkina Faso: UICN Burkina Faso.
- Scarwell, H.-J., & Laganier, R. (2017a). Chapitre 1 : Les excès hydrologiques : processus, rythmes et impacts anthropiques. In *Risque d'inondation et aménagement durable des territoires* (p. 21-53). Presses universitaires du Septentrion. <http://books.openedition.org/septentrion/15682>.
- Scarwell, H.-J., & Laganier, R. (2017b). Chapitre 2 : L'intégration matérielle du risque par le biais des mesures structurelles. In *Risque d'inondation et aménagement durable des territoires* (p. 117-162). Presses universitaires du Septentrion. <http://books.openedition.org/septentrion/15687>.
- Schneiderbauer, S. (2007). Risk and Vulnerability to Natural Disasters from Broad View to Focused Perspective : Theoretical background and applied methods for the identification of the most endangered populations in two case studies at different scales.
- SDAGO. (2019). Le portrait du Grand Ouaga (p. 234) [Rapport finalisé]. Ministère de l'urbanisme et de l'habitat- Direction de la viabilisation et de la topographie.
- Senou O. (nd). Rapport de la Cour suprême du Mali sur l'influence des conventions internationales sur le droit interne de l'environnement. Association des hautes juridictions de cassation ayant en partage l'usage du français (AHJUCAF), consulté le 28/05/2021 sur <http://v1.ahjucaf.org/Rapport-de-la-Cour-supreme-du-Mali.html>.
- Sidibé, S. (1993). L'environnement urbain de Bamako. 204.
- Soma, A., Bonnet, E., & Compaoré, G. (2014). Perception et culture du risque d'inondation par les riverains des barrages de Ouagadougou. *Revue de Géographie de l'Université de Ouagadougou*, 35-49

- Soma, A. (2015). Vulnérabilité et résilience urbaines : Perception et gestion territoriale des risques d'inondation dans la ville de Ouagadougou [Doctorat en Géographie]. Université Ouaga I Pr Joseph KI-ZERBO.
- SOMAGEF. (2019). Étude de la définition des indicateurs de vulnérabilité et production des cartes des infrastructures situées dans les zones d'inondation du PGRCI (Projet de gestion des risques climatiques et d'inondation au Mali en vue de préserver des vies humaines et des biens (PGRCI), p. 123) [Rapport final]. Ministère de l'Environnement, de l'assainissement et du Développement durable.
- Sory, I. (2019). Les politiques publiques foncières dans l'impasse à Ouagadougou. *Afrique contemporaine*, N° 269-270(1), 135-154.
- Soulet, M.-H. (2005). La vulnérabilité comme catégorie de l'action publique. *Pensée plurielle*, no 10(2), 49-59.
- SP/CONEDD. (2007). Renforcer l'auto-évaluation nationale des Capacités à renforcer (ANCR) pour la Gestion de l'Environnement (p. 62). Ministère de l'Environnement et du cadre de vie (MECV).
- Tanguy, M. (2012). Cartographie du risque d'inondation en milieu urbain adaptée à la gestion de crise : Analyse préliminaire (Rapport de recherche N° R1395; p. 103). [Http://espace.inrs.ca/id/eprint/1641](http://espace.inrs.ca/id/eprint/1641).
- Tanguy, M. (2016). Développement d'une méthode de caractérisation et d'évaluation du risque humain lié aux inondations en milieu urbain [Thèse de doctorat]. Université du Québec.
- Tazen, F., Traoré, K., Ouedraogo, H., Bologo/Traoré, M., Coulibaly, G., & Karambiri, H. (2019). Évaluation de la vulnérabilité des populations aux inondations à Ouagadougou : Cas des secteurs de paspanga, Kilwin et Kossodo. *AGRIDAPE*, numéro spécial.
- Tchindjang, M., Mbevo Fendoung, P., & Bopda, A. (2019). Une Afrique Atlantique avec des villes sous l'eau ! Construire des villes côtières sans inondations? In *Construire la ville portuaire de demain en Afrique Atlantique* (p. 612-652). Editions management & société (EMS).
- Tenmiya. (2003). Organisation de la précollecte et appui aux petits opérateurs « transporteurs des déchets solides » du quartier de Basra, ville de Nouakchott (Rapport final Déchets D07; p. 84). PDM; PS-Eau; programme gestion durable des déchets et de l'assainissement urbain.
- Texier, P. (2009). Vulnérabilité et réduction des risques liés à l'eau dans les quartiers informels de Jakarta- Réponses sociales, institutionnelles et non in institutionnelles [Doctorat en Géographie]. Université Paris-Diderot - Paris VII.
- Thomas, H. (2008). Vulnérabilité, fragilité, précarité, résilience, etc. Recueil Alexandries. article697.html

- Thouret, J.-C., & D'ercole, R. (1996). Vulnérabilité aux risques naturels en milieu urbain : Effets, facteurs et réponses sociales. *Cahiers des sciences humaines*. ORSTOM, 32(2), 407-422.
- Thouret, J.-C., Leone, F., & Moriniaux, V. (2003). Aléas, vulnérabilité et gestion des risques naturels. In *Questions de géographie- les risques* (Éditions du temps, p. 37-70).
- Tomety, Y. D. (2017). Exposition et vulnérabilité face aux risques d'inondation au Burkina Faso : Cas de la ville de Dori [Mémoire de fin d'études]. Université de Liège, Liège, Belgique.
- Torterotot, J. P. (1993). Le coût des dommages dus aux inondations : Estimation et analyse des incertitudes [Phd thesis]. École Nationale des Ponts et Chaussées, <https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-00421862>.
- Torterotot, J. P., Kauark-Leite, L. A., & Roche, P.-A. (1992). Analysis of individual real-time responses to flooding and influence on damage to households. In *Floods and flood management* (p. 363-387). Springer.
- Traoré, Y. (2019). Schéma directeur d'assainissement de Bamako : Des propositions de CN-CIEPA pour sa mise en œuvre, consulté le 04/05/2021 sur <http://news.abamako.com/h/216514.html>.
- Turner, B. L., Kasperson, R. E., Matson, P. A., McCarthy, J. J., Corell, R. W., Christensen, L., Eckley, N., Kasperson, J. X., Luers, A., Martello, M. L., Polsky, C., Pulsipher, A., & Schiller, A. (2003). A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(14), 8074-8079. <https://doi.org/10.1073/pnas.1231335100>.
- UNESCO. (2017). Réduction des Risques de Catastrophe, consulté le 04/01/2021 sur <http://www.unesco.org/new/fr/natural-sciences/special-themes/disaster-risk-reduction/>
- UN-Habitat. (2014). Plus de la moitié de la population mondiale vit désormais dans des villes – ONU. <https://www.un.org/development/desa/fr/news/population/world-urbanization-prospects.html>, consulté le 15/07/2018
- UICN. (2013). Guide juridique de gestion des ressources en eau au Burkina Faso (p. 44). Union internationale pour la conservation de la nature et de ses ressources (UICN).
- UNDRO. (1980). Natural disasters and vulnerability analysis [Report of Experts Group Meeting of 9–12 July 1979]. UNDRO.
- UNISDR. (2009). Terminologie pour la Prévention des risques de catastrophe, Genève, Stratégie internationale de prévention des catastrophes des Nations unies, consulté le 05/12/2018 sur http://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologyFrench.pdf.
- UNISDR. (2015). Cadre d'action de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe 2015-2030 (p. 40). The United Nations Office for Disaster Risk Reduction.

- UNISDR. (2016). Report of the open-ended intergovernmental expert working group on indicators and terminology relating to disaster risk reduction (A/71/644; p. 41). United Nations General Assembly.
- Verlynde, N. (2018). De la perception du risque d'inondation aux propositions d'adaptation en territoire de côtes basses densément peuplées : Le cas de la communauté urbaine de Dunkerque [Doctorat de Géographie]. Université du littoral Côte d'Opale. NNT:2018DUNK0500. tel-02085107
- Veyret, Y., & Reghezza, M. (2005). Aléas et risques dans l'analyse géographique. *Annales des mines*, 40, 61-69.
- Veyret, Y., & Reghezza, M. (2006). Vulnérabilité et risques. L'approche récente de la vulnérabilité. 43, 9-13.
- Villeneuve, J. P., Hubert, P., Mailhot, A., & Rousseau, A. N. (2005). La modélisation hydrologique et la gestion de l'eau. *Revue des sciences de l'eau*, 11, 19-39. <https://doi.org/10.7202/705327ar>.
- Vinet, F. (2010). Le risque inondation- Diagnostic et gestion (Éditions Tec & Doc Lavoisier), coll. « Science du Risque et du Danger (SRD) », 318 p.
- Vinet, F., Boissier, L., & Defosse, S. (2011). La mortalité comme expression de la vulnérabilité humaine face aux catastrophes naturelles : Deux inondations récentes en France (Xynthia, var, 2010). *Vertigo- La revue en sciences de l'environnement*, 11(2), 1-23. <https://doi.org/10.4000/vertigo.11074>.
- Wahnich, S. (2006). Enquêtes quantitatives et qualitatives, observation ethnographique : Trois méthodes d'approche des publics. *Bulletin des Bibliothèques de France*, 51, 8-12.
- Ward, J. H. (1963). Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. *Journal of the American Statistical Association*, 58(301), 236-244. <https://doi.org/10.1080/01621459.1963.10500845>
- Weiss, K., Girandola, F., & Colbeau-Justin, L. (2011). Les comportements de protection face au risque naturel : De la résistance à l'engagement. *Pratiques psychologiques*, 17(3), 251-262.
- Wilhelmi, O. V., & Morss, R. E. (2013). Integrated analysis of societal vulnerability in an extreme precipitation event : A Fort Gollins case study. *Environmental Science & Policy*, 26, 49-62. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2012.07.005>
- Wilson, T. (2006). Les risques de blessures et de décès par imprudence lors des inondations. *Responsabilité & environnement*, 43, 57-63.
- Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T., & Davis, I. (2003). *At risk- Natural hazards, people's vulnerability and disasters* (2nd edition). Routledge.

- World Bank. (2010). Inondations du 1er septembre 2009 au Burkina Faso -Évaluation des dommages, pertes et besoins de construction, de reconstruction et de relèvement (Rapport final N° 56803-BF; p. 120). World Bank. <http://documents.worldbank.org/curated/en/279691468228286575/pdf/568030v10FRENCE1ept0090Rapport0Final.pdf>.
- World Food Program. (2017). Creation of a wealth index (p. 26) [VAM Guidance Paper].
- Yabi, H., Sossou, K. B., Akindele, A. A., Balogoun, R. A., & Ogouwale, E. (2019). Effets des actions des PTF et échelle d'adaptation des communautés rurales aux inondations dans le doublet Karimama-Malanville (Bénin, Afrique de l'Ouest). *European Scientific Journal*, 15(9), 336-352. <https://doi.org/10.19044/esj.2019.v15n9p336>
- Yalcouye, H. (2014). Stratégies opérationnelles vision Bamako 2030 (p. 139) [Dossier de contexte]. Atelier international de maîtrise d'oeuvre urbaine.
- Yin, J., Yin, Z., Wang, J., & Xu, S. (2012). National assessment of coastal vulnerability to sea-level rise for the Chinese Coast. *Journal of Coastal Conservation*, 16(1), 123-133.
- Yoon, D. K. (2012). Assessment of social vulnerability to natural disasters : A comparative study. *Natural Hazards*, 63(2), 823-843.
- Zha, Y., Gao, Y., & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24, 583-594.
- Zio, E. (2016). Challenges in the vulnerability and risk analysis of critical infrastructures. *Reliability engineering & system safety*, 152, 137-150.

LEXIQUE

Cadre juridique : regroupe les textes législatifs (lois) émis par l'Assemblée nationale et les textes réglementaires formulés par le gouvernement et les institutions habilitées.

Documents de référence : regroupent les programmes, stratégies, plans et projets mis en œuvre par un gouvernement dans le cadre de la gouvernance du territoire.

Lotissement : opération d'aménagement ayant pour objet la division d'un terrain nu à plus de deux lots viabilisés destinés à l'habitation et/ou aux activités connexes (article 2 de la loi n°017-2006/an du 18 mai 2006 portant code de l'urbanisme et de la construction au Burkina Faso).

Mesures non structurelles : elles s'entendent comme toutes mesures ne comportant pas de construction qui utilisent les connaissances et la pratique visant à réduire les risques et les impacts, en particulier par le biais de politiques et de lois, la sensibilisation du public, la formation et l'éducation (UNISDR, 2009, p.21)

Non aedificandi : se dit d'une zone déterminée qui ne peut recevoir aucun édifice du fait de contraintes réglementaires.

Plans : document qui définit les tâches principales, attribue les responsabilités, identifie les différentes étapes et prend en compte les aspects pratiques de mise en œuvre d'une stratégie comme le financement.

Politiques : lorsqu'elles sont entendues comme des documents, elles englobent les règlements, directives et principes d'action d'un gouvernement. Une politique fixe les objectifs et les principes directeurs en dégagant les grandes lignes d'une vision commune et en résumant les principes d'intervention. Les politiques sont déclinées en plusieurs stratégies plus détaillées

Programme/Politique : « *Le terme programme désigne, en principe, une séquence d'actions, limitée dans le temps et surtout définie précisément dans ses moyens et ses objectifs opératoires. La notion de politique, quant à elle, renvoie plutôt à un ensemble complexe de programmes, procédures et régulations concourant à un même objectif général* » (Kessler et al., 1998).

Stratégies : une stratégie définit les méthodes et moyens d'intervention. Elle est à un niveau de détail supérieur à la politique.

Urbanisation : action d'urbaniser, de promouvoir et de favoriser le développement des villes par la transformation de l'espace rural en espace urbain

Urbanisme : art de construire, de transformer, d'aménager les villes suivant les règles de l'hygiène et de l'esthétique et en assurant une certaine commodité aux populations.

Titre foncier : titre de propriété délivré aux personnes physiques ou morales pour l'occupation des terres urbaines et rurales destinées à tout usage.

ANNEXES

Annexe 1 : Quelques facteurs de vulnérabilité d'après Veyret (Veyret & Reghezza, 2005)

Quelques facteurs de vulnérabilité

La densité de population, l'extension du bâti

Facteurs techniques (quelques exemples parmi beaucoup d'autres)

Mauvaise qualité de la construction

Mauvaise maîtrise de l'eau

Sous-dimensionnement des ouvrages d'évacuation et de traitement des eaux usées

Facteurs économiques

Population pauvre, dépourvue de moyens de transports et souvent de système d'information

Habitat de médiocre qualité

Difficulté à laisser les maigres biens que cette population possède

Facteurs culturels

Ignorance du danger, absence de conscience du risque (risque banalisé, intégré au quotidien)

Acceptation pour raisons religieuses

Facteurs institutionnels et politico-administratifs

Trop de niveaux politico-administratifs de décision

Manque de coordination entre ces différents acteurs

Absence de programme de prévention

Absence de réflexion sur les programmes de planification

Législation laxiste

Acteurs politiques, gestionnaires parfois peu impliqués, corruption

Facteurs structurels

Vulnérabilité fonction de la localisation et du moment précis de l'impact

Dysfonctionnements fonctionnels et techniques imprévisibles

Facteurs fonctionnels

Absence d'une prévision efficace

Absence de système d'alerte

Mauvaise gestion de crise,

Annexe 2 : Formules de calcul des indices pluviométriques de l'ETTCDMI

Indice	Unité	Nom	Formules
PRCPTOT	mm	Précipitation annuelle totale	$PRCPTOT_j = \sum RR_w$, avec RR_w , la pluviométrie journalière enregistrée en un jour humide w ($RR \geq 1mm$) de la période j et W le nombre de jours humides sur la période j
JP	jours	Nombre de jours humides (>1 mm)	Dénombrer le nombre de jours où $RR_{ij} \geq 1 mm$
SDII	mm/jour	Lame d'eau moyenne précipitée par jours pluvieux	$SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^W RR_{wj}}$, avec RR_w la pluviométrie journalière enregistrée pour chacun des jours humides w ($RR \geq 1mm$) de la période j et W le nombre total de jours humides
R10mm	jours	Nombre de jours où $RR \geq 10$ mm (pluies fortes)	Dénombrer le nombre de jours où $RR_{ij} \geq 10 mm$ avec RR_{ij} la précipitation journalière du jour i dans la période j
R20mm	jours	Nombre de jours où $RR \geq 20$ mm (pluies très fortes)	Dénombrer le nombre de jours où $RR_{ij} \geq 20 mm$ avec RR_{ij} la précipitation journalière du jour i dans la période j
CWD	jours	Nombre de jours pluvieux consécutifs	Dénombrer le plus grand nombre de jours consécutifs où $RR_{ij} \geq 1 mm$
Rx1day	mm	Précipitations maximales de l'année durant 1 journée	$RX1day_j = \max (RR_{ij})$; avec RR_{ij} la précipitation journalière di jour i dans la période j
Rx5day	%	Précipitations maximales de l'année durant 5 jours	$RX5day_j = \max (RR_{kj})$; avec RR_{kj} la quantité de pluie enregistrée pour un intervalle de 5 jours consécutifs se terminant le jour k de la période j .

			Dénombrer le nombre de jours où $RR_{wj} > RR_{wn95}$ avec RR_{wj} , la pluviométrie journalière enregistrée en un jour humide w ($RR \geq 1mm$) de la période j et RR_{wn95} , le 95e percentile de précipitation des jours humides
R95p	jours	Nombre de jour de pluies intense ($RR > 95e$ percentile)	
			Dénombrer le nombre de jours où $RR_{wj} > RR_{wn99}$ avec RR_{wj} , la pluviométrie journalière enregistrée en un jour humide w ($RR \geq 1mm$) de la période j et RR_{wn99} , le 99e percentile de précipitation des jours humides
R99p	jours	Nombre de jours de pluies extrêmes ($RR > 99e$ percentile)	
			$R95pTOTj = \sum RR_{wj} W_{w=1}$ où $RR_{wj} > RR_{wn95}$, avec RR_{wj} , la pluviométrie journalière enregistrée en un jour humide w ($RR \geq 1mm$) de la période j et RR_{wn95} , le 95e percentile de précipitation des jours humides calculé sur la période 1981-2010.
R95pTOT	mm	Précipitations totales quand la pluie est intense ($RR > 95e$ percentile)	
			$R99pTOTj = \sum RR_{wj} W_{w=1}$ où $RR_{wj} > RR_{wn99}$, avec RR_{wj} , la pluviométrie journalière enregistrée en un jour humide w ($RR \geq 1mm$) de la période j et RR_{wn99} , le 99e percentile de précipitation des jours humides calculé sur la période 1981-2010.
R99pTOT	mm	Précipitations totales quand la pluie est extrême ($RR > 99e$ percentile)	

Annexe 3 : Description des tests de tendance et de ruptures

❖ Autocorrélogramme et son intervalle de confiance (WMO, 1966 ; Chatfield, 1989)

Il s'agit d'une mesure qui permet de déterminer le caractère aléatoire d'une série chronologique. Le coefficient d'autocorrélation d'ordre k est donné par l'expression

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{N-k} (X_t - \bar{X}_1)(X_{t+k} - \bar{X}_2)}{\sqrt{[\sum_{t=1}^{N-k} (X_t - \bar{X}_1)^2 \sum_{t=1}^{N-k} (X_{t+k} - \bar{X}_2)^2]}}$$

avec \bar{X}_1 la moyenne des observations $X_i, i = 1, N - k$, et \bar{X}_2 la moyenne des observations $X_i, i = k + 1, N$

Pour un seuil de confiance de $1-\alpha/2$ donné, la région de confiance est définie par $\pm \frac{U_{1-\alpha/2}}{\sqrt{N}}$ avec U la variable normale centrée réduite

❖ **Test de corrélation sur le rang (Kendall&Stuart, 1943)**

Il permet d'évaluer le caractère aléatoire d'une série chronologique de données. Il s'appuie sur le calcul du coefficient de corrélation sur le rang de Kendall noté τ

$$\tau = \frac{S}{D},$$

où S est le score de Kendall donné par $S = \sum \text{sign}(X_j - X_i) \text{sign}(Y_j - Y_i)$ et D la valeur maximale de S

❖ **Test de tendance de Mann-Kendall (Mann, 1945 ; Kendall, 1975)**

Il est utilisé pour l'analyse de tendance linéaire à la hausse ou à la baisse dans une série chronologique. Il repose sur la corrélation du rang de Kendall des pluies annuelles $z(t)$ avec le temps t. Si la p-value $< \alpha$ (seuil de significativité), l'hypothèse H_0 (il n'y a pas de tendance est rejetée) et on conclut à l'existence d'une tendance significative au seuil choisi.

❖ **Test de Buishand (1982, 1984) et ellipse de Bois (1971,1986)**

Ils sont utilisés pour analyser la stationnarité d'une série chronologique. La statistique de Buishand provient d'une formulation donnée par Gardner (1969) qui s'écrit :

$$G = \sum_{k=1}^{N-1} P_k \left\{ \frac{S_k}{\sigma_X} \right\}^2 \text{ avec } S_k = \sum_{i=1}^k (X_i - \bar{X})$$

L'ellipse de Bois repose sur le tracé d'intervalles de confiances des écarts cumulés de la variance d'une série.

❖ **Test de Mann-Whitney (test de Pettit)**

Le test de Pettit est utilisé pour analyser la stationnarité d'une série chronologique et détecter les éventuelles ruptures. L'absence de rupture dans la série x_i de taille N constitue l'hypothèse nulle. La mise en œuvre du test implique qu'à tout instant t compris entre 1 et N, les séries chronologiques $(x_i)_{i=1 \text{ à } t}$ et $(x_i)_{i=t+1 \text{ à } N}$ font partie de la même population. La variable à tester $U_{t,N}$ est définie par

$$U_{t,N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N D_{ij},$$

où $D_{ij} = \text{sgn}(x_i - x_j)$ avec $\text{sgn}(x) = 1$ si $x > 0$; 0 si $x = 0$ et -1 si $x < 0$

Si l'hypothèse nulle est rejetée, une estimation de la date de rupture est donnée à l'instant t, définissant le maximum en valeur absolue de la variable $U_{t,N}$

❖ **Méthode bayésienne de Lee et Heghinian (1977)**

La méthode de Lee et Heghinian fournit un outil graphique de détection des ruptures. Elle repose sur la distribution a posteriori de la position dans le temps d'un changement. L'absence

de rupture dans la série constitue l'hypothèse nulle. Le modèle de base de la procédure est le suivant :

$$x_i = \begin{cases} \mu + \epsilon_i, & i = 1, \dots, \tau \\ \mu + \delta + \epsilon_i, & i = \tau + 1, \dots, N \end{cases}$$

les ϵ_i sont indépendants et normalement distribués de moyenne nulle et de variance σ^2 ; τ et δ représentent respectivement la position dans le temps et l'amplitude d'un changement éventuel de moyenne.

❖ Procédure de Segmentation de Hubert (1989)

La procédure de segmentation de Hubert est une méthode qui arrive à séparer au moyen d'un algorithme des segments contigus dans la série dont les moyennes sont significativement différentes vis-à-vis du test de Scheffé. C'est une méthode adaptée à la recherche de multiples changements dans une série chronologique. Elle peut donc être utilisée comme un test de stationnarité. L'hypothèse nulle (stationnarité de la série) est acceptée si la procédure ne parvient pas à segmenter la série à tester et elle est rejetée dans le cas contraire.

Annexe 4 : Tests d'hypothèse de l'analyse fréquentielle et considérations théoriques des modèles fréquents choisis

L'application de l'analyse fréquentielle est conditionnée par l'indépendance, la stationnarité et l'homogénéité des séries chronologiques étudiées.

❖ Test d'homogénéité : test de Wilcoxon

Un échantillon de données aléatoires est considéré comme homogène lorsque les données qui le constituent proviennent de la même distribution et ont été collectées dans les mêmes conditions. Pour vérifier cette hypothèse, le **test de Wilcoxon** a été utilisé. Il s'agit du test le plus utilisé pour vérifier l'homogénéité d'échantillon de données. Il permet d'effectuer des comparaisons entre deux sous échantillons d'une série et de vérifier si leurs moyennes sont significativement différentes.

Considérons une série de données notées respectivement $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ et $x_{n+1}, x_{n+2}, \dots, x_m$, dont les moyennes sont respectivement M_1 et M_2 . Le test permet de comparer les hypothèses suivantes :

$$H_0 : M_1 = M_2;$$

$$H_1 : M_1 \neq M_2$$

La statistique du test utilisée (V) est distribuée asymptotiquement selon une loi normale centrée réduite. Cette statistique s'exprime comme suit :

$$V = [W - 0.5m(n+1) + 0.5] / \sqrt{\text{Var}(W)}$$

$$W = \sum_{i=1}^m R_i s(R_i)$$

où R_i : est le rang du classement des variables aléatoires des deux échantillons combinés et triés en ordre croissant et $s(R_i)$: facteur multiplicateur égal à (0) si la donnée est effectuée après le changement, $s(R_i)$ est égal à l'unité si la donnée est réalisée après.

La variance de la statistique s'exprime par la formule suivante :

$$\text{Var}(V) = \frac{n(m-n)(m+1)}{12} - \frac{n(m-n) \sum_{i=1}^k (d_k^3 - d_k)}{12m(m-1)}$$

k étant le nombre de groupes distincts contenant des observations égales, d_k le nombre d'observations égales dans chacun des groupes.

Les règles de décision à un seuil α donné pour effectuer ce test sont les mêmes que pour une loi normale : si $\text{Abs}(V) > Z_{\alpha/2}$, on rejette H_0 , sinon, nous acceptons H_0 .

$\text{Abs}(V)$: Valeur absolue de la statistique V et $Z_{\alpha/2}$ est le quantile de probabilité au dépassement $\alpha/2$ de la loi normale centrée réduite.

❖ Test d'indépendance : test de Wald-Wolfowitz

Par définition un échantillon est dit indépendant si aucune corrélation n'existe entre deux évènements distincts c'est-à-dire qu'aucune donnée n'est influencée par une donnée qui la précède. De manière mathématique, une collection d'évènements pris deux à deux dans l'échantillon vérifie l'équation : $Prob(x_i, x_j) = Prob(x_i)Prob(x_j)$.

Le test non paramétrique de Wald-Wolfowitz a été utilisé pour vérifier l'indépendance de nos données.

Soient $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$, n variables aléatoires, le test permet de comparer les deux hypothèses suivantes :

$$H_0 : X_1, X_2, X_3, \dots, X_n \text{ sont indépendantes ou}$$

$$H_1 : X_1, X_2, X_3, \dots, X_n \text{ ne sont pas indépendantes}$$

La statistique de Wald-Wolfowitz W se calcule comme suit :

$$W = \sum_{i=1}^{n-1} X_i X_{i+1} + X_1 X_n$$

Lorsque n est suffisamment grand, la statistique W suit une distribution normale U de moyenne \bar{W} et de variance $Var(W)$. La moyenne et la variance sont données comme suit:

$$\bar{W} = \frac{S_1^2 - S_2}{n - 1}$$

$$Var(W) = \frac{S_1^2 - S_4}{n - 1} - \bar{W}^2 + \frac{S_1^4 - 4S_1^2 S_2 + 4S_1 S_3 + S_2^2 - 2S_4}{(n - 1)(n - 2)}$$

où $S_r = n * M_r$

$$M_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i^r$$

M_r est le moment non centré d'ordre r de statistique standardisée U :

$$U = \frac{w - \bar{w}}{\sqrt{Var(w)}}$$

Cette statistique est distribuée asymptotiquement selon une loi normale centrée réduite. Les règles de décision à un seuil α donné pour ce test sont les mêmes que celles de la loi normale.

❖ **Test de stationnarité : test de Mann-Kendall**

Une série est dite stationnaire si les données qui la compose ont des caractéristiques statiques (moyenne, variance ou moments...) c'est-à-dire qui ne varient pas dans le temps. Le test de Mann-Kendall permet de vérifier cette hypothèse de stationnarité. Il compare les hypothèses suivantes :

H₀ les caractéristiques statiques des variables aléatoires sont constantes dans le temps

H₁ les caractéristiques statiques des variables aléatoires ne sont pas constantes dans le temps

Soient n variables aléatoires X₁, X₂, X₃ X_n classées par ordre chronologique.

La statistique S de ce test s'exprime par l'équation :

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{signe} (X_j - X_i)$$

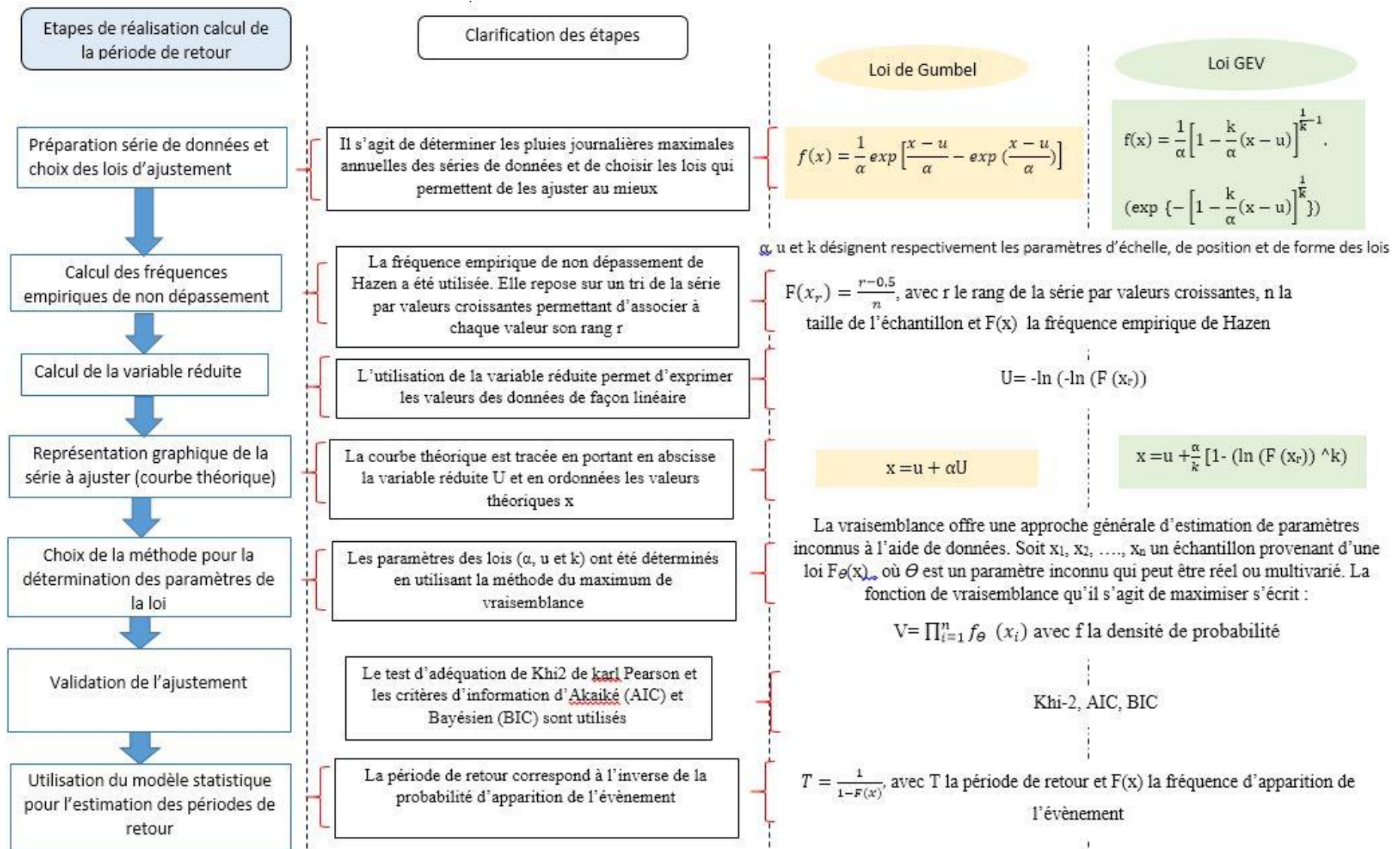
La fonction *signe*(X) fait référence au signe de la variable X et prend les valeurs 1, 0 ou -1 selon que la variable X soit positive, nulle ou négative. Sous l'hypothèse nulle, la statistique {S} est distribuée asymptotiquement selon une loi normale de moyenne nulle et de variance Var{S} tel que :

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} [n(n - 1)(2n + 5) - \sum_t t(t - 1)(2t + 5)]$$

Où t désigne le nombre de données d'observations identiques et \sum_t concerne les ensembles d'observations identiques dans l'échantillon. La statistique (K) standardisée est distribuée selon une loi normale centrée réduite.

Plus la statistique du test S est proche de zéro plus les observations seront considérées comme stationnaires.

❖ Précision sur les étapes d'ajustement des données aux lois de probabilité et détermination des périodes de retour



Annexe 5 : Échelle de comparaison binaire d'après Saaty (1981) et Griot (2003)

Degré d'importance numérique	Degré d'importance verbale	Définition
1	Importance	Les deux éléments contribuent autant à l'explication de l'objectif
3	Un élément est un peu plus important que l'autre	L'expérience et l'appréciation personnelle de l'expert favorisent légèrement un élément par rapport à l'autre
5	Un élément est plus important que l'autre	L'expérience et l'appréciation personnelle de l'expert favorisent vraiment un élément par rapport à l'autre
7	Un élément est beaucoup plus important que l'autre	L'expérience et l'appréciation personnelle de l'expert favorisent fortement un élément par rapport à l'autre
9	Un élément est absolument plus important que l'autre	La dominance d'un élément par rapport à l'autre est démontrée par l'expérience et l'appréciation personnelle
2,4, 6,8	Valeurs intermédiaires entre deux appréciations voisines	Utilisées pour affiner le jugement lorsqu'un compromis est nécessaire entre deux appréciations
1/, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7, 1/8, 1/9	Valeurs réciproques des appréciations précédentes	

Annexe 6 : Modèle de grille d'archivage de l'information

a- Évènement du 16 mai 2019 à Bamako

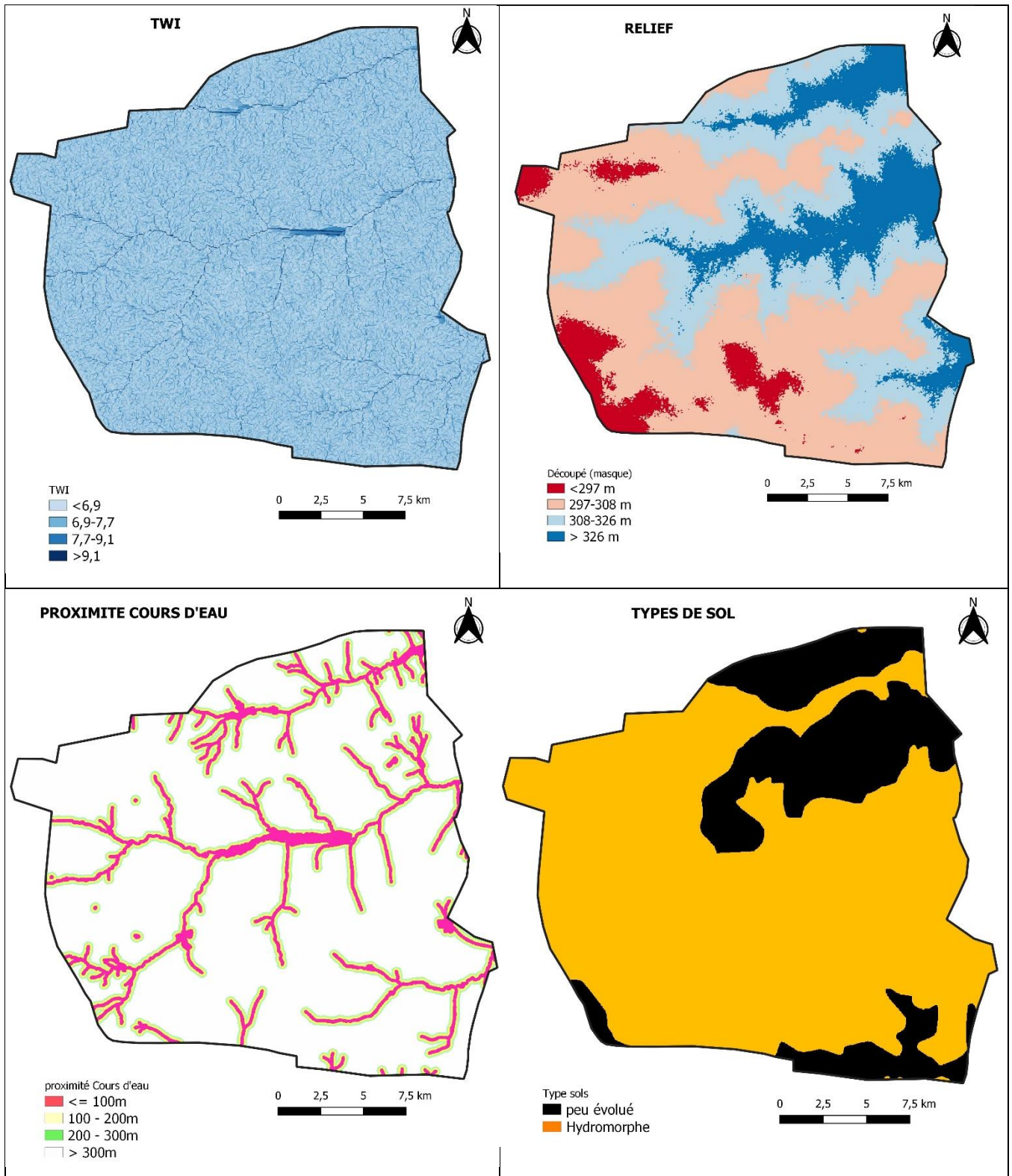
Métadonnées			Extension spatiale			Information inondation :			Gravité		
N°	Date	Référence Journal (date, page, type...)	Communes, Quartiers touchés	Lieux-dits, Secteurs,	Type	Hauteurs, durées et débits associés	Facteurs aggravants associés	Dommages personnes (décès, sinistrés)	Dommages biens	Actions des autorités	
15	16/05/2019	mediacongo.net du 17 mai 2019 ; RFI du 17 mai 2019; BD-CATNAT; Rapport OCHA du 20 mai 2019 ; Rapport Rapid PDNA de juillet 2019	Daoudabougou; Niamakoro, Kalabancoro, misabougou, faladié; Hippodrome, Niarela, TSF, Baco-djicoroni, Dianeguella, magnambougou, banconi, tièbani, kabala, yirimadio, sotuba		Inondation pluviale	138,3 mm à Sotuba et 58 mm à Bamako ville	courte durée de pluie: 4 heures	16 morts, 2 portés disparus, 2 blessés	2576 personnes sinistrés (368 ménages), 120 maisons détruites	déplacement de membre du gouvernement; 82 ménages relogés dans 3 écoles	

b- Évènement du 31 août 2020 à Ouagadougou

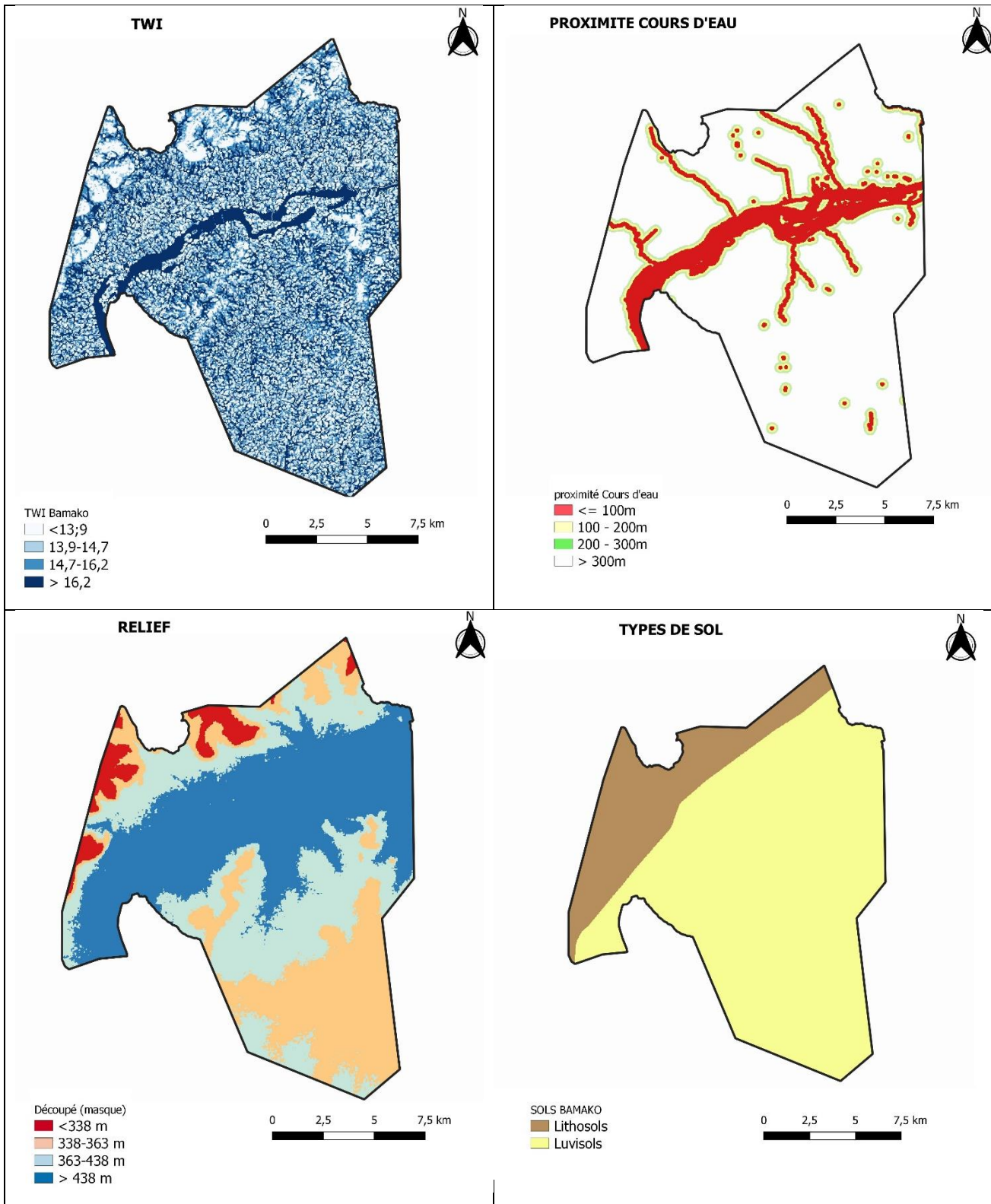
Métadonnées			Extension spatiale			Information inondation :			Gravité		
N°	Date	Référence Journal (date, page, type...)	Communes, Secteurs, Quartiers touchés	Lieux-dits,	Type	Hauteurs, durées et débits associés	Facteurs aggravants associés	Dommages personnes (décès, sinistrés)	Dommages biens	Actions des autorités	
35	31/08/2020	minute.bf du 1/09/2020; koaci.com du 31 août 2020; Sidwaya du 6 septembre 2020	kilwin, bissighin et rimkieta, karpala, cité bassinko et Nioko; tanghin, parc Bangr-weogo, somgandé, toukin, hôtel silmandé, arrondissement n°4, pont Anayélé		Inondation pluviale	niveau d'eau supérieur à 1 m par endroit	Forte pluie la veille; des caniveaux non recouverts	2 décès (dont une femme enceinte emportée par les eaux); plusieurs sinistrés	d'énormes dégâts matériels; des embouteillages	le maire de la ville s'est rendu sur les lieux: il a interpellé les populations et leur a demandé de quitter les zones inondables.	

Annexe 7 : Cartes des facteurs intervenant dans la vulnérabilité biophysique

a- Cartes de Ouagadougou (indice TWI, Relief, proximité cours d'eau, Types de sol)

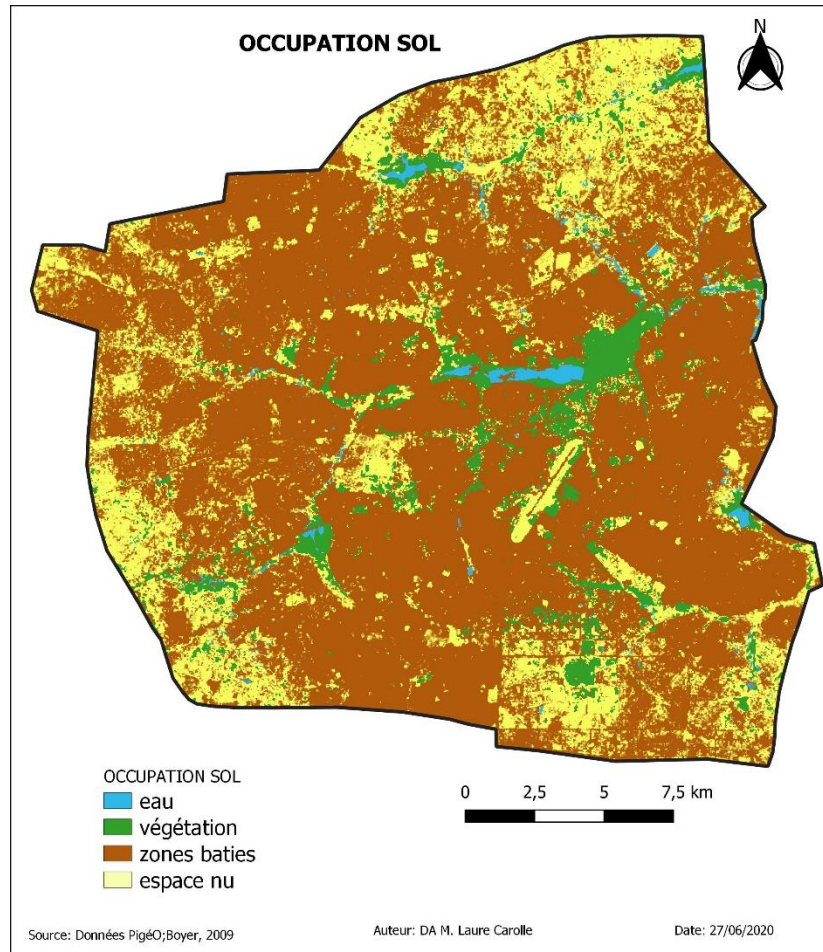


b- Cartes de Bamako (indice TWI, Relief, proximité cours d'eau, Types de sol)

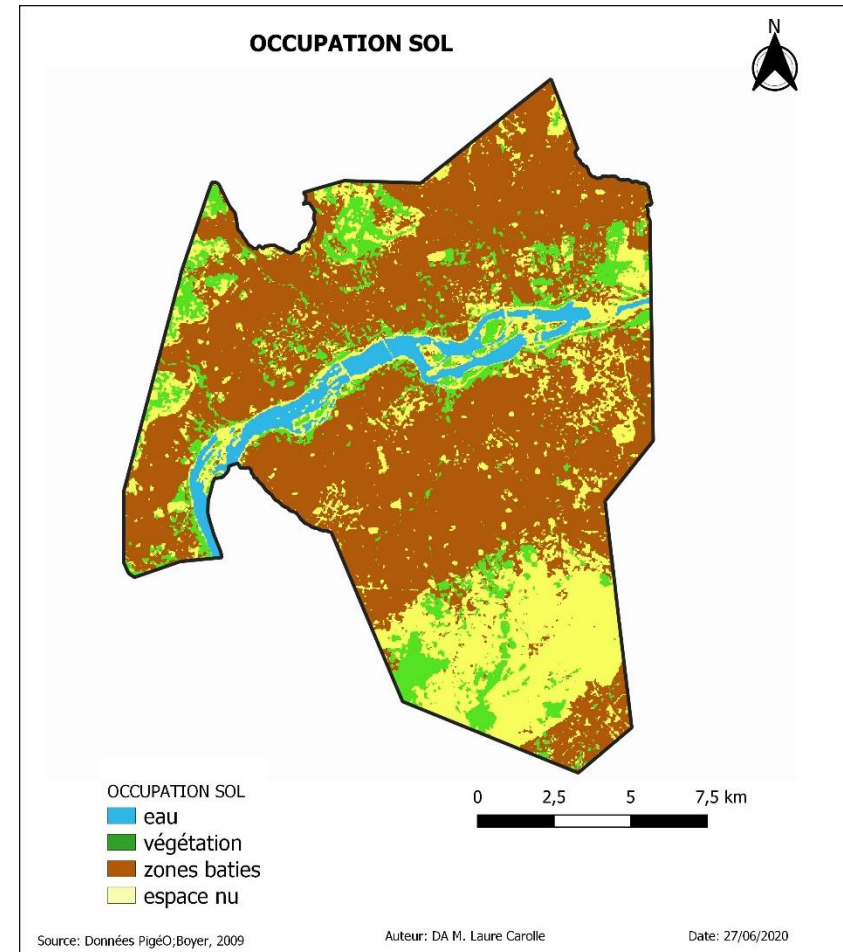


c- Cartes d'Occupation du sol

OUAGADOUGOU



BAMAKO



Annexe 8 : Questionnaires

BAMAKO

Le questionnaire administré aux populations de Bamako se présente comme suit :

Bonjour, Je participe à un projet de recherche dont l'objectif général est de comprendre le fonctionnement et les effets des inondations à Bamako. Je voudrais vous inviter à participer à cette enquête qui vous occupera environ 15 min et qui est anonyme.

- 1- Habitez-vous ici depuis plus de 2 ans ?
- 2- Êtes-vous résident ?
- 3- Êtes-vous le ou la chef de famille ou leur enfant ou cousin ?

4- Quel est votre âge ?

PARTICIPATION VOLONTAIRE

Votre ménage et vous avez été choisis pour faire partie de notre enquête à passage unique sur les inondations. Le questionnaire est anonyme et nous vous assurons du respect de la confidentialité lors de votre participation à l'étude et sur le contenu des réponses. Dans l'exploitation des résultats, il ne sera nullement fait mention de votre identité ou de toute déclaration susceptible de vous reconnaître. Les résultats de l'étude pourront offrir des outils aux autorités concernées leur permettant de mieux prévenir le risque inondation. Votre participation est libre et volontaire. Le fait de ne pas participer n'entraîne aucune sanction quelconque. Pour répondre aux questions, vous aurez à choisir vos réponses dans une liste que je vais vous proposer.

5- Consentez-vous à répondre ?

A- Informations sur la personne

6- Sexe :

7- Quelle est votre situation matrimoniale ?

8- Combien de personnes vivent régulièrement (plus de 6 mois) sous le toit et sous l'autorité du chef de ménage ?

9- Quelle est votre religion principale ?

10- Quelle est votre profession principale ?

OUAGADOUGOU

Le questionnaire administré aux populations de Ouagadougou se présente comme suit :

Bonjour, je participe à un projet de recherche dont l'objectif général est de comprendre le fonctionnement et les effets des inondations à Ouagadougou. Je voudrais vous inviter à participer à cette enquête qui vous occupera environ 15 min et qui est anonyme.

1- Habitez-vous ici depuis plus de 2 ans ?

2- Êtes-vous résident ?

3- Êtes-vous le ou la chef de famille ou leur enfant ou cousin ?

4- Quel est votre âge exactement ?

5- Consentement à répondre

PARTICIPATION VOLONTAIRE

Votre ménage et vous avez été choisis pour faire partie de notre enquête à passage unique sur les inondations. Le questionnaire est anonyme et nous vous assurons du respect de la confidentialité lors de votre participation à l'étude et sur le contenu des réponses. Dans l'exploitation des résultats, il ne sera nullement fait mention de votre identité ou de toute déclaration susceptible de vous reconnaître. Les résultats de l'étude pourront offrir des outils aux autorités concernées leur permettant de mieux prévenir le risque inondation. Votre participation est libre et volontaire. Le fait de ne pas participer n'entraîne aucune sanction quelconque.

A- Informations personnelles sur la personne

1- Sexe :

2- Quelle est votre situation matrimoniale ?

3- Combien de personnes vivent régulièrement (6 mois) sous le toit et sous l'autorité du chef de ménage ?

4- Quelle est votre religion ?

5- Quelle est votre profession principale ?

6- Quel est votre niveau d'instruction ?

7- Quel est le statut d'occupation de votre logement ?

<p>11- Préciser la profession principale autre ?</p> <p>12- Quel est votre niveau d'instruction ?</p> <p>13- Quel est le statut d'occupation de votre logement ?</p> <p>14- Depuis combien de temps le ménage vit-il dans le quartier ?</p> <p>15 –Comment vous débarrassez-vous de vos déchets ménagers (poubelles...) ?</p> <p>B- Je vais maintenant vous parler de votre connaissance des inondations en général (savoir, causes, responsabilité).</p> <p>16- De manière générale, avez-vous déjà connu une inondation à Bamako ?</p> <p>17- Selon vous, pour parler d'inondation, il faut que l'eau reste au moins :</p> <p>18- Selon vous, quand on parle d'inondation, il y a de l'eau au moins :</p> <p>19- Pour vous les inondations pendant la saison des pluies, c'est :</p> <p>20- Vous diriez que les conséquences des inondations sont une catastrophe :</p> <p>21- Diriez-vous que l'État est responsable des inondations ?</p> <p>22- Diriez-vous que les communautés sont responsables des inondations ?</p> <p>23- Diriez-vous que c'est chaque habitant qui est responsable des inondations ?</p> <p>24- Diriez-vous que l'inondation, c'est la volonté de Dieu ?</p> <p>25- Selon vous quelles sont les causes des inondations ?</p> <p>Urbanisation des zones inondables</p> <p>Installation anarchique en ville</p> <p>Crue du fleuve Niger</p> <p>Enablement du fleuve Niger</p> <p>Très forte pluie</p> <p>Absence de caniveaux</p> <p>Non-aménagement des berges</p> <p>Dépôt des ordures dans les caniveaux</p> <p>Changement climatique</p>	<p>8- Depuis combien de temps le ménage vit dans le quartier ?</p> <p>B- Je vais maintenant vous parler de votre connaissance des inondations en général.</p> <p>9- De manière générale, avez-vous déjà connu une inondation à Ouaga ?</p> <p>10- Selon vous, pour parler d'inondation il faut que l'eau reste au moins : jusqu'à deux heures, une demi-journée, une journée, plusieurs jours</p> <p>11- Selon vous, quand on parle d'inondation, il y a de l'eau au moins : jusqu'à la cheville, jusqu'au genou, jusqu'à la taille, jusqu'aux épaules</p> <p>12- Pour vous les inondations pendant la saison des pluies, c'est : normal, pas normal</p> <p>13- Vous diriez que les conséquences des inondations sont une catastrophe : Qui ne peut pas être évité Qui peut en partie être évité Qui peut largement être évité Qui peut totalement être évité</p> <p>14- Diriez-vous que l'État est responsable des inondations ?</p> <p>15- Diriez-vous que les communautés sont responsables des inondations ?</p> <p>16- Diriez-vous que c'est chaque habitant tout un chacun qui est responsable des inondations ?</p> <p>17- Diriez-vous que l'inondation, c'est la volonté de Dieu ?</p> <p>18- Selon vous quelles sont les causes des inondations ?</p> <p>Manque d'aménagement des barrages</p> <p>Urbanisation des zones inondables</p> <p>Absence de caniveaux</p> <p>Dépôt des ordures dans les caniveaux</p> <p>Changement climatique</p> <p>19- Diriez-vous que le quartier où vous habitez est exposé à l'inondation ? Très faiblement, Faiblement, Fortement, Très fortement, Pas du tout</p> <p>C- Nous allons maintenant parler de l'aménagement de votre concession pour les inondations</p>
---	--

<p>26- Diriez-vous que le quartier où vous habitez est exposé à l'inondation ?</p> <p>C- Nous allons maintenant parler de l'impact éventuel des inondations sur votre concession</p> <p>27- Cette parcelle a-t-elle déjà connu des dégâts suite à des inondations ?</p> <p>28- Quand pour la dernière fois ?</p> <p>29- Quelle était environ la hauteur d'eau dans la cour ?</p> <p>30- Comment qualifieriez-vous les dommages subis par la structure de votre maison ?</p> <p>31- Quels types de dégâts sur la maison avez-vous subis ?</p> <p>32- Après les inondations, quels dégâts avez-vous réparés dans votre maison ?</p> <p>33- En quel matériau avez-vous reconstruit les dégâts des murs de l'habitation ?</p> <p>34- Comment avez-vous reconstruit la maison ?</p> <p>35- Quel autre type de biens avez-vous perdus ?</p> <p>36- Après les inondations, quels biens avez-vous reconstitués et/ou rachetés ?</p> <p>37- Pour analyser les impacts possibles d'une inondation, nous voulons savoir combien votre ménage possède de biens dans cette liste ?</p> <p>Voiture</p> <p>Moto/mobylette</p> <p>Vélo</p> <p>Réfrigérateur</p> <p>Télévision</p> <p>Radio</p> <p>Téléphone portable</p> <p>38- Pour analyser les impacts de l'inondation, pouvez-vous nous dire combien de pièces en plus du salon il y a dans votre maison ?</p> <p>39- Êtes-vous raccordés pour l'électricité ?</p> <p>40- Êtes-vous raccordés à la SOMAGEP/EDM pour l'eau dans votre habitation ?</p> <p>41- De quel type de toilettes votre ménage dispose-t-il ?</p> <p>D- Comportement en cas d'inondation</p>	<p>20- Cette parcelle a-t-elle déjà connu des dégâts suite à des inondations ?</p> <p>21- Quand pour la dernière fois ?</p> <p>22- Cette année-là, parmi ces dégâts, lesquels avez-vous subis ? Pans de murs de la maison tombés</p> <p>Fissure sur les murs</p> <p>Toiture abîmée</p> <p>Détérioration des meubles et équipements dans la maison</p> <p>Perte des effets personnels</p> <p>Perte des animaux ou des cultures</p> <p>Pas de dégâts importants</p> <p>23- Quelle était environ la hauteur d'eau dans la cour ?</p> <p>Jusqu'à la cheville De la cheville aux genoux Des genoux à la taille De la taille aux épaules</p> <p>24- Suite aux dégâts, avez-vous racheté ce que vous avez perdu et/ou réparé vos dégâts ?</p> <p>25- Avez-vous reconstruit les murs tombés ?</p> <p>26- Avez-vous reconstruit la toiture ?</p> <p>27- Avez-vous reconstitué le matériel et les biens ?</p> <p>28- Avez-vous racheté les animaux et les cultures ?</p> <p>29- En quel matériau avez-vous reconstruit l'habitation ?</p> <p>30- Comment avez-vous reconstruit la maison ?</p> <p>31- Pour analyser les impacts possibles d'une inondation, nous voulons savoir combien votre ménage possède de biens dans cette liste ?</p> <p>Voiture</p> <p>Moto/mobylette</p> <p>Vélo</p> <p>Réfrigérateur</p> <p>Télévision</p> <p>Radio</p> <p>Téléphone portable</p> <p>32- Êtes-vous raccordé à Sonabel</p> <p>33- Êtes-vous raccordé à Onéa</p> <p>D- Je voudrais ensuite parler de la connaissance de la réglementation et des consignes</p> <p>34- Avez-vous connaissance d'une réglementation sur les inondations ?</p>
---	---

42- Si vous êtes chez vous et qu'on vous annonce une très grosse pluie ou une grosse inondation, que faites-vous ?

Je creuse pour laisser couler l'eau

Je nettoie les caniveaux

Je bouche les portes et les fenêtres

Je surélève les meubles et les biens

Je me prépare à partir au cas où l'eau monterait trop

Je ne fais rien

43- Si vous êtes hors de la maison, à l'annonce de cette très grosse pluie, pensez-vous qu'il faut :

Rester là où on est et attendre la fin de la pluie

Rentrer chez soi

Changer de quartier

Aller voir l'inondation

E- Je voudrais parler de la réglementation et des moyens d'alerte.

44- Avez-vous connaissance d'une réglementation sur les inondations ?

45- Pensez-vous que vous habitez dans une zone inondable ?

46- Quelle que soit la zone où vous habitez, pensez-vous qu'il y a des précautions à prendre vis-à-vis des inondations ?

47- Savez-vous s'il existe des consignes de prévention de la protection civile à prendre en cas d'inondation ?

48- Aujourd'hui, on est en mesure d'annoncer l'arrivée d'une très grosse pluie qui pourrait inonder, plusieurs heures avant qu'elle arrive. Si c'est possible, souhaitez-vous recevoir cette information directement ?

49- De préférence, par quel moyen, souhaiteriez-vous être prévenus ?

50- J'aimerais savoir à quel numéro de téléphone peut-on vous recontacter pour tester un système d'alerte inondation ? réponse facultative

51- Matériau principal de construction (de l'habitat principal)

52- Type de fondation

35- Il existe bien une réglementation sur les inondations, pensez-vous que vous habitez dans une zone :

36- Quelle que soit la zone où vous habitez, pensez-vous qu'il a des précautions à prendre vis-à-vis des inondations ?

37- Si oui, quelles consignes concernant les matériaux ?

38- Si oui, quelles consignes concernant la construction ?

39- Savez-vous qu'il existe des consignes de précaution à prendre en cas d'inondation, diffusée par la protection civile ?

E- Pour finir, nous allons parler des moyens d'alerte.

40- Aujourd'hui, on est en mesure d'annoncer l'arrivée d'une très grosse pluie qui pourrait inonder, plusieurs heures avant qu'elle arrive. Si c'est possible, souhaitez-vous recevoir cette information directement ?

41- Par quels moyens, classer selon votre préférence

42- Si vous êtes chez vous et qu'on vous annonce cette très grosse pluie, que faites-vous ?

Je creuse pour laisser couler l'eau

Je nettoie les caniveaux

Je bouche les portes et les fenêtres

Je surélève les meubles et les biens

Je ne fais rien

43- Si vous êtes hors de la maison, à l'annonce de cette très grosse pluie, pensez-vous qu'il faut :

Rester là où on est et attendre la fin de la pluie

Rentrer chez soi

Changer de quartier

Aller voir l'inondation

44- J'ai maintenant terminé ce questionnaire, je vous remercie. Avant de partir, j'aimerais savoir si vous accepteriez-vous d'être recontacté pour tester un système d'alerte d'inondation ?

45- À quel numéro peut-on vous recontacter ?

F- Observations avant de repartir (à faire par l'enquêteur sans la présence de l'enquêté)

46- Matériau principal de construction (de l'habitat principal)

53- Type de logement	47- Type de fondation
54- Présence de caniveaux devant la maison	48- Type de logement
55- Présence de bitume devant la maison	49- Concession contient un commerce
56- Localisation	50- Présence de caniveaux devant la maison
57- Date	51- La rue est-elle bitumée ?
58- Nom enquêteur	52- Zone d'échantillon
	Observations automatiques
	53- Localisation
	54- Date
	55- Nom enquêteur

Annexe 9 : Détermination de la taille de l'échantillon

Les valeurs des paramètres de la formule ont été déterminées selon la méthodologie ci-dessous :

❖ La Taille n de la population cible estimée

La dynamique de la population et des ménages a été appréciée à travers l'évolution du taux d'accroissement r et le calcul du nombre de ménages projeté à l'année de l'enquête (en 2017 pour Ouagadougou et 2018 pour Bamako).

$$r = \sqrt[n]{\frac{P_{t+n}}{P_t}} - 1 \text{ (De luca Barusse 2016) et}$$

$$P_n = P_0(1 + r)^n \text{ (Tamdjim 2018)}$$

Tableau récapitulatif du calcul projeté du nombre de ménages en 2017 et 2018

Données collectées	Ouagadougou		Bamako	
	Années	Nombre de ménage	Années	Nombre de ménage
	2006 (RGPH)	308 230	1998	155 645
	2015	565 671	2009 (RGPH 2009 ⁴⁹)	286 381
n = t₁ - t₀	9 ans		11 ans	
r	6,98 %		5,70 %	
Population projetée	2017	647 384	2018	471 636

✓ La proportion P réelle

Notre étude étant une étude multicritère nous avons fixé la valeur de P à 0,5. En effet, « dans le cas d'une étude multicritère ou lorsqu'aucune autre étude n'a été réalisée [...], elle [la valeur

⁴⁹ https://www.odsef.fss.ulaval.ca/sites/odsef.fss.ulaval.ca/files/fonds_gp/cdoc_381_odsef.pdf

de p] peut être fixée à 0,5 par défaut, ce qui permet d'avoir le plus grand échantillon possible. » (Gabert, 2018).

✓ **L'intervalle de confiance de l'échantillon et la marge d'erreur**

Nous avons opté pour un intervalle de confiance de 99 % avec une marge d'erreur de 3 % pour maximiser la taille de l'échantillon et assurer sa représentativité.

Tableau : Choix du paramètre t_p en fonction de l'intervalle de confiance (Gabert, 2018)

Intervalle de confiance	t_p
90 %	1,65
95 %	1,96
99 %	2,69

Annexe 10 : Exemple de guides d'entretien

À destination de personnes techniciennes

Thématiques à aborder	Sous-thèmes	Questions
Planification urbaine au niveau de la commune de Ouagadougou	Structure de l'interviewé	Pouvez-vous me parler en quelques mots de la DGSTM ? Quel est son rôle et ses domaines de compétences ?
	Enjeux liés à l'urbanisme	Pouvez-vous me parler de la commune de Ouagadougou en termes d'urbanisation et d'occupation de l'espace ? Quel constat faites-vous de l'évolution de la situation ?
	Enjeux liés à l'assainissement solide	Comment est géré l'assainissement solide au niveau de la ville et quelles sont à votre avis les difficultés du secteur à Ouagadougou ? Y a-t-il un suivi des quantités de déchets produits par la commune ? Le schéma directeur de gestion des déchets a-t-il été actualisé ?
	Gestion de l'assainissement pluvial	Des dispositifs de gestion des eaux pluviales existent notamment la présence de caniveaux pour l'évacuation des eaux pluviales : que pouvez-vous dire sur le mode de gestion des eaux pluviales à Ouagadougou et ces dispositifs existants ? y aurait-il des insuffisances ? De quel ordre ? Comment est géré cet assainissement pluvial au niveau de la commune ? puis-je avoir la version actualisée du Schéma directeur de drainage des eaux pluviales de Ouagadougou ?
Inondation	Constat et causes des inondations	Quel constat faites-vous sur les inondations à Ouagadougou et quelles en sont les causes à votre avis ?
	Conséquences des inondations	Quelles sont ou quelles ont été les conséquences des inondations à court et long terme sur votre commune ? (Sur le plan humain, sanitaire, infrastructures...)
	Focus sur les inondations les plus importantes que le district a connu	Pouvez-vous me parler de l'inondation la plus importante (d'après vous) survenue dans votre commune ? Que s'est-il passé ? Quelle appréciation faites-vous de la manière dont elle a été gérée par votre structure ? Par d'autres structures ?
	Dispositifs mis en place (en matière d'alerte, de gestion post-catastrophe, de surveillance...)	Existent-ils des dispositifs officiels (document de planification, moyen d'alerte, consignes de sécurité...) mis en place au niveau de votre structure par rapport aux inondations ? (durant les phases pré-catastrophe, catastrophe et post-catastrophe) ? Avez-vous connaissance de dispositif existant dans d'autres structures étatiques ?
Gestion des catastrophes au niveau communal	Difficultés rencontrées dans la gestion	Pouvez-vous me parler des difficultés rencontrées dans la gestion des catastrophes au niveau de votre structure ?
	Moyens de prévention des inondations : réglementation	Existent-ils des moyens de prévention ou des dispositions réglementaires pour réduire le risque de catastrophe au niveau communal ?
Rapport avec les autres acteurs du territoire	Les difficultés rencontrées	Avez-vous des difficultés particulières dans vos rapports avec les autres structures étatiques ou non étatiques qui gèrent les questions urbanistiques, d'assainissement et/ou de gestion des catastrophes ?
	Leviers d'action possible	Quels sont à votre avis les leviers d'action possible ?

Guide d'entretien à destination de population ayant pris part à l'enquête

Thématiques à aborder	Sous-thèmes	Questions
État actuel des milieux sur le district	Interviewer	Vous avez participé à l'enquête sur la vulnérabilité des populations de Bamako face aux inondations et avez accepté d'être recontacté en cas de nécessité : pouvez-vous me rappeler votre quartier d'habitation et depuis combien de temps vous êtes présent à Bamako ?
	Enjeux liés à l'urbanisme	Que pensez-vous de l'évolution de l'urbanisation et de l'occupation de l'espace à Bamako depuis que vous y êtes ?
	Enjeux liés à l'assainissement solide	Comment est géré l'assainissement solide au niveau de la ville de Bamako et de la commune dans laquelle vous habitez ? Et quelles sont à votre avis les difficultés du secteur à Bamako ? Que pensez-vous de votre mode de gestion des déchets ? De ceux de vos voisins immédiats ?
	Gestion des eaux pluviales au niveau du district	Des dispositifs de gestion des eaux pluviales existent notamment la présence de caniveaux pour l'évacuation des eaux pluviales : que pouvez-vous dire sur ces dispositifs existants ? y aurait-il des insuffisances ? De quel ordre ?
Inondation	Constat, causes des inondations et conséquences ?	Quel constat faites-vous sur les inondations à Bamako et au niveau de votre commune ? Quelles en sont les causes à votre avis ? Quelles en sont les conséquences ? Sur votre famille ? Votre quartier ?
	Focus sur les inondations les plus importantes que le district a connu	Pouvez-vous me parler de l'inondation la plus importante survenue à Bamako ? Que s'est-il passé ? quelles ont été les principales causes de cette catastrophe et quelle appréciation faites-vous de la manière dont elle a été gérée ? Qu'est-ce que vous faites en cas de risque inondation ?
	Dispositifs mis en place (en matière d'alerte, de gestion post-catastrophe, de surveillance...)	Avez-vous connaissance de dispositif officiel (document de planification, moyen d'alerte, consignes de sécurité...) mis en place par rapport aux inondations ? Qu'est qui y est dit ? Qu'en pensez-vous ? Comment avez-vous été mis au courant de l'existence de pareil dispositif ?
Gestion des catastrophes au niveau communal	Difficultés rencontrées dans la gestion	Pensez-vous qu'il y a des difficultés dans la gestion des catastrophes à Bamako de manière générale ?
	Moyens de prévention des inondations : réglementation	Existent-ils des moyens de prévention ou des dispositions réglementaires pour réduire le risque de catastrophe au niveau communal ? que pouvez-vous me dire par rapport à ces dispositifs ?
Rapport avec les autres acteurs du territoire	Les difficultés rencontrées	Les habitants ont-ils des difficultés particulières avec la loi ? les services étatiques ?
	Leviers d'action possible	Qu'est-ce qui peut être fait à votre avis pour lutter contre les inondations dans la ville ?

Annexe 11 : Liste des structures ayant pris part aux entretiens

Bamako		Ouagadougou	
Structures	Nombre d'entretiens	Structures	Nombre d'entretiens
Commune 3	1	DGPC	1
Commune 4	1	SP/CONASUR	1
Commune 5	1	Direction du Développement Durable	2
Commune 6	1	Direction Générale des Services Techniques municipaux- Direction des Infrastructures et de la Mobilité Urbaine	2
District de Bamako - CETAC	3	Mairie centrale	1
Cellule de Préfiguration de l'agence d'Urbanisme	1	DG COAC/Urbanisme	2
DGPC	2	Direction de la planification	1
Université de Bamako	2	Direction Générale des Services Sociaux	1
ENI Bamako	2	CORUS	1
		Direction générale du développement territorial	1
TOTAL	14		13

Annexe 12 : Recodage des variables intervenant dans l'indice de bien-être économique

Variables		Code : 1	Code : 0
code	signification	Modalités enrichissantes	Modalités appauvrissantes
statu_occu	Statut d'occupation du logement	locataire	propriétaire, hébergé gratuit
nb_menage	Nombre de personnes dans le ménage	<8	>=8
nb_car	Nombre de voitures	>=1	0
Nb_moto	Nombre de motos	>=1	0
Nb_velo	Nombre de vélos	>=1	0
Nb_frigo	Nombre de réfrigérateurs	>=1	0
Nb_tv	Nombre de téléviseurs	>=1	0
Nb_radio	Nombre de radios	>=1	0
Nb_phone	Nombre de téléphones portables	>=1	0
Sonabel	Accès à un branchement de la SONABEL	Oui	Non
Onea	Accès à un branchement de l'ONEA	Oui	Non
Type_toilet	Type de toilette	Chasse, Chasse + simple	Aucune, Simple*
Obsmat	Matériaux de construction	Semi_dur, dur	Banco, banco_a, tôle
obsmat_banco	Construction du logement en banco	Non	Oui
obsmat_bancoa	construction du logement en banco amélioré	Non	Oui
obsmat_semi_dur	Construction du logement en semi-dur	Oui	Non
obsmat_dur	Construction du logement en dur	Oui	Non
Obsfond	Matériaux des fondations de la maison	-dur -semi-dur	- banco amélioré -pas de fondation -pas visible
type_lgt	Type de logements	Concession, villa, immeuble	-celibatorium, unique, cour familiale, case, habitat précaire, autre

Annexe 13 : Exemple de processus de regroupement de modalités de faible modalité

Pour les données de Bamako, l'effectif des modalités de la variable « niveau d'étude » se présente comme suit :

Niveau d'étude	Effectif	Fréquence (en %)
Alphabétisé	85	4
Jamais Scolarisé	386	18,86
Médersa*	234	11,44
Primaire	305	14,91
Secondaire	541	26,44
Supérieur	495	24,19

La modalité « alphabétisé » a un effectif faible avec une fréquence <5 %. Nous avons procédé à un regroupement de la classe « alphabétisé » et « médersa » en une nouvelle classe « Alphabétisé » avec comme nouvel effectif 319 personnes soit un effectif de 15,59 %.

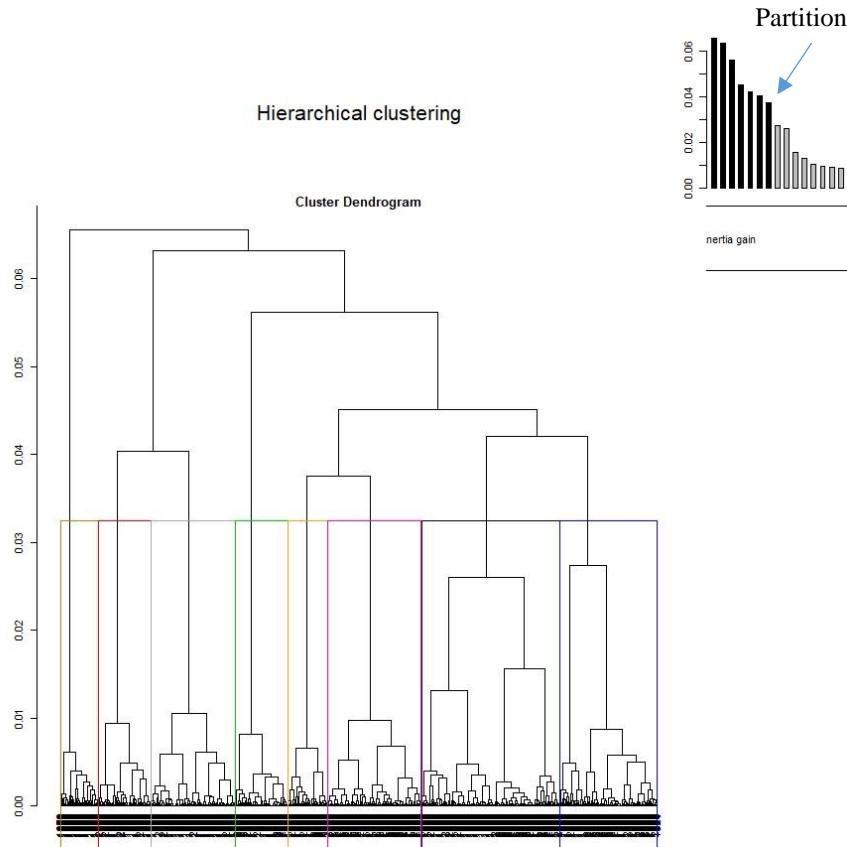
Annexe 14 : Zones de moyens d'existence du District de Bamako

	Caractéristiques	Quartiers
Périurbaine	Des quartiers généralement situés à la limite des communes ou le long des cours d'eau. Les populations pratiquent le maraîchage et la production de cultures pluviales. Le potentiel agricole est élevé en raison de l'accès plus facile à l'eau et la disponibilité des terres arables. Pour les ménages de la zone, la main d'œuvre agricole et non-agricole constitue une source importante de revenu qui complète ce qui est tiré de la production agricole. L'accès aux services de base est limité et le risque d'inondation pendant la saison pluvieuse est élevé.	Diagoni Koulouniko Lassa Sanankoro-farako Sénou Sirakoro Dounfing Sokonafing Yirimadio
Urbaine – supérieure	Des quartiers résidentiels, généralement dispersés dans les communes. La densité de population est moins élevée et le niveau d'infrastructures et aménagements est plus élevé que dans le reste de la ville. Il y a une concentration de hauts cadres, de grands commerçants et de diplomates.	Boukassoumbougou Djélibougou Hamdallaye Hippodrome Lafiabougou Quartier du Fleuve Quinzambougou Sema I Sotuba
Urbaine- intermédiaire	Des quartiers situés au centre des communes abritant les centres commerciaux et les principales infrastructures économiques. Le coût élevé de la location se traduit par une concentration de fonctionnaires et de grands commerçants. C'est une zone qui offre beaucoup d'opportunités de travail occasionnel, tant pour les résidents que pour les habitants des quartiers plus éloignés.	Badalabougou Badialan I, II, III Bagadadji Bamako-Coura Bamako-Coura-Bolibana Bozola Centre commercial Darsalam Djikoroni Para Doumazana Dravela Dravela Bolibana Faladié Kalaban-coura Kodabougou Korofina Nord Magnambougou Médina Coura Missira Niaréla Niomirambougou Ntomikorobougou Ouolofobougou Ouolofobougou Bolibana Quartier Mali Sébéninkoro Torokorobougou
Urbaine – inférieure	Des quartiers populaires où les conditions de l'habitat et d'hygiène et assainissement sont plus précaires. Le niveau d'infrastructures est faible. Ces quartiers se situent vers l'extérieur des communes et sont souvent limités par la périphérie de la ville. Cependant, les ménages n'ont pas d'accès à la terre et leurs moyens d'existence reposent entièrement sur la vente de main d'œuvre et le commerce. Une grande partie des ménages sont propriétaires de leurs habitats, le reste paye des loyers relativement peu élevés.	Baco Djikoroni Bakaribougou Banankabougou Banconi Bougouba Daoudabougou Dianéguéla Fadjiguila Garantiguibougou Kalabanougou Konebougou Korofina sud Koulouba Missabougou Niamakoro Point G Sabalibougou Samé Sibiribougou Sikoro Sokorodji Taliko TSF Zone Industrielle

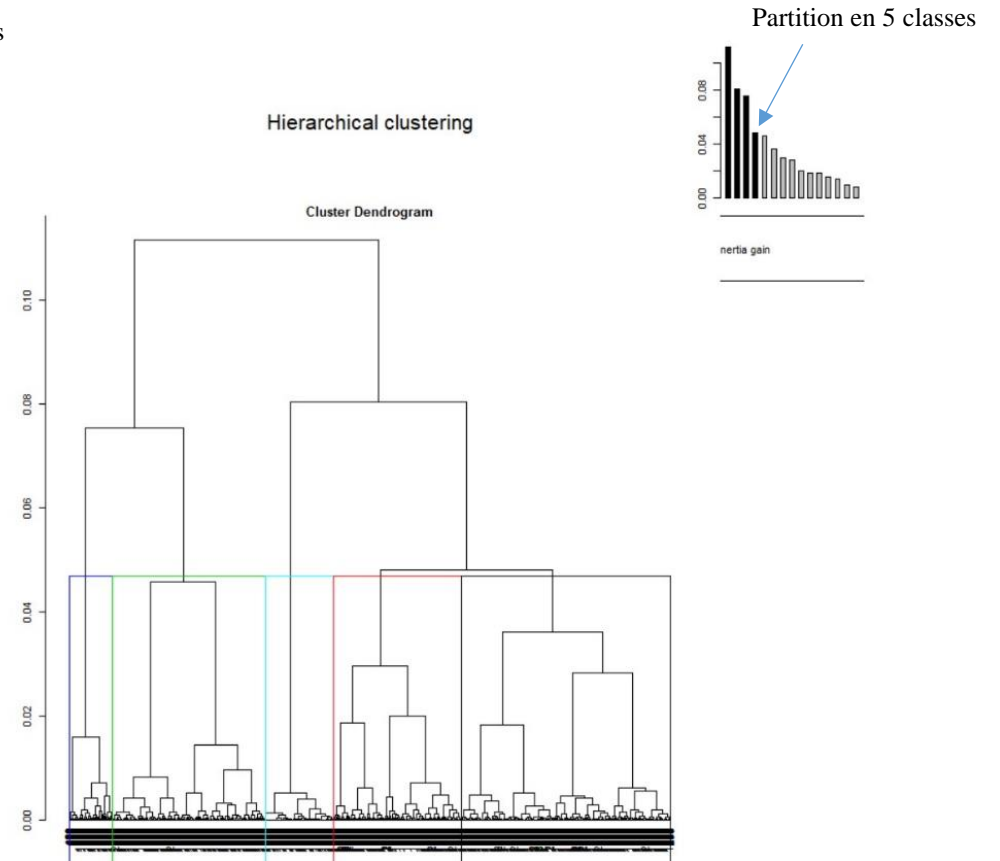
Source : USAID, 2015

Annexe 15 : Arbres hiérarchiques en fonction des axes factoriels 1 et 2

a- Ouagadougou



b- Bamako



Annexe 16 : Indice de vulnérabilité socio-spatiale à Bamako en fonction des modalités

a- BAMAKO

Niveau vulnérabilité	Modalité	Cla/Mod	Mod/Cla	Global	p.value	v.test
5	alert=alert_Oui	14,73	88,48	96,87	0,00	-7,98
	c_crue_fleuve=c_crue_fleuve_Oui	20,68	97,27	75,86	0,00	11,58
	c_insta_anarch=c_insta_anarch_Oui	16,68	98,79	95,50	0,00	3,51
	c_urba_inon=c_urba_inon_Oui	16,91	100,00	95,36	0,00	5,51
	catast=Non_évitabile	35,25	52,12	23,85	0,00	12,31
	consign_pc=consign_pc_Non	24,35	48,18	31,92	0,00	6,74
	consign_pc=consign_pc_NSP	52,94	40,91	12,46	0,00	14,89
	cpt_ext=Rester	11,15	37,27	53,91	0,00	-6,61
	cpt_ext=se_déplacer	21,95	62,73	46,09	0,00	6,61
	cpt_home_creuse=cpt_home_creuse_Oui	21,63	97,88	72,97	0,00	13,09
	gest_dechet=caniveau/rue	30,40	41,82	22,19	0,00	8,82
	gest_dechet=particuliers	13,07	50,30	62,07	0,00	-4,75
	niv_etud=alphabétisé	27,59	26,67	15,59	0,00	5,70
	niv_etud=JS	20,98	24,55	18,87	0,01	2,80
	niv_etud=Primaire	31,80	29,39	14,91	0,00	7,46
	normal_in=Normal	27,65	74,24	43,30	0,00	12,43
	percep_zone=percep_zone_Inondable	37,87	46,36	19,75	0,00	12,19
	percep_zone=percep_zone_Interdite	4,63	6,97	24,29	0,00	-8,85
	percep_zone=percep_zone_Rien	12,22	32,73	43,21	0,00	-4,23
	resp_com=resp_com_Oui	14,04	68,79	79,03	0,00	-4,80
Wealth_index=2	32,76	40,61	19,99	0,00	9,52	
4	c_crue_fleuve=c_crue_fleuve_Oui	15,91	98,02	75,86	0,00	10,44
	c_insta_anarch=c_insta_anarch_Oui	12,85	99,60	95,50	0,00	3,99
	c_urba_inon=c_urba_inon_Oui	12,81	99,21	95,36	0,00	3,57
	catast=Non_évitabile	49,80	96,43	23,85	0,00	27,13
	consign_pc=consign_pc_Non	36,60	94,84	31,92	0,00	22,79
	cpt_ext=Rester	16,32	71,43	53,91	0,00	6,05
	cpt_home_creuse=cpt_home_creuse_Oui	16,88	100,00	72,97	0,00	12,88

	gest_dechet=particuliers	18,11	91,27	62,07	0,00	11,15
	niv_etud=JS	28,24	43,25	18,87	0,00	9,63
	normal_in=Anormal	18,28	84,13	56,70	0,00	9,86
	percep_zone=percep_zone_Interdite	47,69	94,05	24,29	0,00	25,83
	resp_com=resp_com_Oui	13,79	88,49	79,03	0,00	4,15
	Wealth_index=1	16,83	27,38	20,04	0,00	3,01
	Wealth_index=2	41,08	66,67	19,99	0,00	17,59
3	c_crue_fleuve=c_crue_fleuve_Oui	5,22	55,10	75,86	0,00	-5,72
	c_insta_anarch=c_insta_anarch_Non	94,57	59,18	4,50	0,00	21,87
	c_urba_inon=c_urba_inon_Non	96,84	62,59	4,64	0,00	22,91
	catast=Large_évit	11,11	51,70	33,43	0,00	4,73
	consign_pc=consign_pc_Oui	5,71	44,22	55,62	0,00	-2,87
	cpt_ext=se_déplacer	10,92	70,07	46,09	0,00	6,07
	cpt_home_creuse=cpt_home_creuse_Non	14,47	54,42	27,03	0,00	7,28
	gest_dechet=particuliers	8,50	73,47	62,07	0,00	3,01
	niv_etud=Supérieur	12,32	41,50	24,19	0,00	4,80
	percep_zone=percep_zone_NSP	18,01	31,97	12,76	0,00	6,35
	Wealth_index=1	10,98	30,61	20,04	0,00	3,16
	Wealth_index=2	0,98	2,72	19,99	0,00	-6,37
2	alert=alert_Oui	24,77	99,39	96,87	0,00	4,17
	c_insta_anarch=c_insta_anarch_Oui	25,28	100,00	95,50	0,00	6,92
	c_urba_inon=c_urba_inon_Oui	25,32	100,00	95,36	0,00	7,04
	catast=Large_évit	37,13	51,42	33,43	0,00	9,53
	catast=Total_évit	64,54	40,89	15,30	0,00	16,80
	consign_pc=consign_pc_Oui	36,38	83,81	55,62	0,00	15,08
	cpt_ext=se_déplacer	39,45	75,30	46,09	0,00	15,13
	cpt_home_creuse=cpt_home_creuse_Oui	21,90	66,19	72,97	0,00	-3,83
	gest_dechet=particuliers	21,02	54,05	62,07	0,00	-4,19
	niv_etud=Secondaire	16,27	17,81	26,44	0,00	-5,13
	niv_etud=Supérieur	63,64	63,77	24,19	0,00	22,41
	normal_in=Normal	38,15	68,42	43,30	0,00	12,94
	percep_zone=percep_zone_Inondable	28,22	23,08	19,75	0,03	2,11
	percep_zone=percep_zone_Interdite	31,39	31,58	24,29	0,00	4,25
	percep_zone=percep_zone_NSP	32,57	17,21	12,76	0,00	3,31
	resp_com=resp_com_Oui	27,58	90,28	79,03	0,00	7,48
	Wealth_index=4	40,19	33,60	20,19	0,00	8,18
	Wealth_index=5	45,48	37,65	19,99	0,00	10,72
1	c_crue_fleuve=c_crue_fleuve_Oui	32,93	91,74	75,86	0,00	11,06
	c_insta_anarch=c_insta_anarch_Oui	28,51	100,00	95,50	0,00	7,45
	c_urba_inon=c_urba_inon_Oui	28,50	99,82	95,36	0,00	7,09

catast=Large_évit	35,96	44,17	33,43	0,00	6,21
catast=Partie_évit	41,00	41,29	27,42	0,00	8,40
consign_pc=consign_pc_Oui	35,85	73,25	55,62	0,00	9,98
cpt_ext=Rester	45,60	90,31	53,91	0,00	21,45
cpt_home_creuse=cpt_home_creuse_Oui	33,82	90,66	72,97	0,00	11,81
gest_dechet=particuliers	29,45	67,15	62,07	0,00	2,90
niv_etud=Secondaire	45,29	43,99	26,44	0,00	10,68
niv_etud=Supérieur	16,77	14,90	24,19	0,00	-6,20
normal_in=Anormal	41,12	85,64	56,70	0,00	16,92
percep_zone=percep_zone_Rien	38,46	61,04	43,21	0,00	9,93
resp_com=resp_com_Oui	24,92	72,35	79,03	0,00	-4,45
Wealth_index=1	47,56	35,01	20,04	0,00	9,94
Wealth_index=2	20,54	15,08	19,99	0,00	-3,46

b- OUAGADOUGOU

niveau vuln.	Catégories	Cla/Mod	Mod/Cla	Global	p.value	v.test
8	c_urba_inon=c_urba_inon_Oui	9,43	91,04	60,55	0,00	8,15
	consign_pc=consign_pc_Non	7,80	80,60	64,76	0,00	4,11
	cpt_home_nettoie=cpt_home_nettoie_No n	4,53	61,19	84,70	0,00	-6,87
	ext_cpt_reste=ext_cpt_reste_Non	7,91	88,06	69,77	0,00	5,11
	ext_cpt_voir=ext_cpt_voir_Oui	90,85	96,27	6,64	0,00	28,96
	niv_etud=JS	7,59	50,00	41,32	0,04	2,09
	precau=precau_Oui	5,75	74,63	81,33	0,05	-1,99
	resp_etat=resp_etat_Oui Wealth_index=1	5,42 8,67	65,67 27,61	75,95 19,98	0,01 0,03	-2,77 2,20
7	c_urba_inon=c_urba_inon_Oui	8,96	53,70	60,55	0,03	-2,15
	consign_pc=consign_pc_Non	14,52	93,06	64,76	0,00	10,21
	cpt_home_creuse=cpt_home_creuse_No n	19,34	79,17	41,37	0,00	11,94
	cpt_home_nettoie=cpt_home_nettoie_No n	11,38	95,37	84,70	0,00	5,14
	duree_in=2h	16,27	78,24	48,62	0,00	9,38
	ext_cpt_reste=ext_cpt_reste_Non	12,27	84,72	69,77	0,00	5,31
	ext_cpt_voir=ext_cpt_voir_Non	10,63	98,15	93,36	0,00	3,34
	niv_etud=JS	16,42	67,13	41,32	0,00	8,05

	normal_in=Anormal	9,57	84,26	88,96	0,03	-2,22
	percep_zone=percep_zone_Rien	12,88	92,59	72,67	0,00	7,69
	precau=precau_Non	81,48	91,67	11,37	0,00	30,97
	resp_etat=resp_etat_Oui	9,37	70,37	75,95	0,05	-1,98
	Wealth_index=1	17,10	33,80	19,98	0,00	5,04
	Wealth_index=2	14,49	28,70	20,03	0,00	3,23
6	consign_pc=consign_pc_NSP	18,43	57,97	20,31	0,00	10,09
	cpt_home_nettoie=cpt_home_nettoie_No	7,29	95,65	84,70	0,00	4,14
	n					
	duree_in=2h	7,80	58,70	48,62	0,01	2,44
	ext_cpt_voir=ext_cpt_voir_Non	6,82	98,55	93,36	0,00	2,86
	niv_etud=JS	9,63	61,59	41,32	0,00	4,94
	percep_zone=percep_zone_NSP	20,33	61,59	19,56	0,00	11,27
	precau=precau_NSP	74,36	84,06	7,30	0,00	24,50
	resp_etat=resp_etat_Oui	5,73	67,39	75,95	0,02	-2,36
5	c_urba_inon=c_urba_inon_Non	33,10	71,72	39,45	0,00	14,29
	consign_pc=consign_pc_Non	24,13	85,86	64,76	0,00	10,19
	cpt_home_creuse=cpt_home_creuse_Oui	22,35	71,98	58,63	0,00	6,01
	ext_cpt_reste=ext_cpt_reste_Oui	36,84	61,18	30,23	0,00	14,12
	ext_cpt_voir=ext_cpt_voir_Non	19,45	99,74	93,36	0,00	6,91
	niv_etud=JS	28,54	64,78	41,32	0,00	10,31
	normal_in=Anormal	19,46	95,12	88,96	0,00	4,62
	percep_zone=percep_zone_Rien	13,91	55,53	72,67	0,00	-8,08
	precau=precau_Oui	21,81	97,43	81,33	0,00	10,48
	resp_etat=resp_etat_Oui	12,08	50,39	75,95	0,00	-12,29
	Wealth_index=1	51,76	56,81	19,98	0,00	18,36
4	c_urba_inon=c_urba_inon_Oui	20,25	69,31	60,55	0,00	3,88
	consign_pc=consign_pc_Non	15,39	56,35	64,76	0,00	-3,73
	cpt_home_creuse=cpt_home_creuse_Oui	24,58	81,48	58,63	0,00	10,34
	duree_in=1/2j	24,76	48,15	34,39	0,00	6,09
8		14,63	40,21	48,62	0,00	-3,61
	ext_cpt_reste=ext_cpt_reste_Non	21,53	84,92	69,77	0,00	7,43
	ext_cpt_voir=ext_cpt_voir_Non	18,90	99,74	93,36	0,00	6,78
	niv_etud=alphabétisé	60,59	27,25	7,96	0,00	13,19
	niv_etud=JS	12,80	29,89	41,32	0,00	-5,04
	percep_zone=percep_zone_Rien	22,09	90,74	72,67	0,00	9,43
	precau=precau_Oui	21,29	97,88	81,33	0,00	10,71
	resp_etat=resp_etat_Oui	20,15	86,51	75,95	0,00	5,55
	Wealth_index=1	3,75	4,23	19,98	0,00	-9,56
	Wealth_index=2	40,89	46,30	20,03	0,00	13,00

	Wealth_index=3	4,92	5,56	19,98	0,00	-8,60
	Wealth_index=4	34,03	38,62	20,07	0,00	9,31
	Wealth_index=5	4,69	5,29	19,93	0,00	-8,77
3	c_urba_inon=c_urba_inon_Oui	12,83	71,86	60,55	0,00	3,78
	consign_pc=consign_pc_Oui	47,96	66,23	14,93	0,00	19,42
	cpt_home_creuse=cpt_home_creuse_No	14,71	56,28	41,37	0,00	4,82
	n					
	duree_in=1/2j	3,40	10,82	34,39	0,00	-8,64
	duree_in=2h	15,21	68,40	48,62	0,00	6,41
	ext_cpt_voir=ext_cpt_voir_Non	11,38	98,27	93,36	0,00	3,58
	niv_etud=JS	7,59	29,00	41,32	0,00	-4,08
	niv_etud=Primaire	14,40	23,38	17,55	0,02	2,39
	percep_zone=percep_zone_Inondable/Int	79,52	57,14	7,77	0,00	22,54
	erdite					
	precau=precau_Oui	12,77	96,10	81,33	0,00	6,99
	resp_etat=resp_etat_Oui	12,63	88,74	75,95	0,00	5,14
2	c_urba_inon=c_urba_inon_Non	18,39	56,99	39,45	0,00	6,25
	cpt_home_creuse=cpt_home_creuse_Oui	14,29	65,81	58,63	0,01	2,59
	ext_cpt_voir=ext_cpt_voir_Non	13,58	99,63	93,36	0,00	5,46
	precau=precau_Oui	15,36	98,16	81,33	0,00	9,09
	Wealth_index=3	59,95	94,12	19,98	0,00	29,49
1	c_urba_inon=c_urba_inon_Oui	24,03	82,06	60,55	0,00	9,85
	cpt_home_creuse=cpt_home_creuse_No	23,98	55,94	41,37	0,00	6,29
	n					
	duree_in=+1jour	30,03	28,76	16,99	0,00	6,36
	duree_in=1/2j	22,18	43,01	34,39	0,00	3,84
	duree_in=2h	10,30	28,23	48,62	0,00	-8,87
	ext_cpt_voir=ext_cpt_voir_Non	19,00	100,00	93,36	0,00	7,29
	niv_etud=Supérieur	72,89	52,51	12,77	0,00	22,21
	normal_in=Anormal	16,52	82,85	88,96	0,00	-3,97
	percep_zone=percep_zone_Rien	22,73	93,14	72,67	0,00	10,91
	precau=precau_Oui	20,71	94,99	81,33	0,00	8,40
	resp_etat=resp_etat_Oui	21,38	91,56	75,95	0,00	8,52
	Wealth_index=5	62,91	70,71	19,93	0,00	24,74

Annexe 17 : Décision de non-intervention du CONASUR dans les zones inondables identifiées



Annexe 18 : Suspension temporaire des dossiers de promotion immobilière au Burkina Faso

MINISTRE DE L'URBANISME,
DE L'HABITAT ET DE LA VILLE

CABINET

N°2021- 063 /MUHV/CAB



BURKINA FASO
Unité - Progrès - Justice

Ouagadougou, le 09 FEV 2021

Circulaire

A

Tout Responsable de Structure du Ministère
de l'Urbanisme, de l'Habitat et de la Ville
- OUAGADOUGOU -

Objet : Suspension temporaire du traitement
des dossiers de promotion immobilière

Aux termes de l'article 2, alinéa 3 de la loi n°057-2008/AN du 20 novembre 2008 portant promotion immobilière au Burkina Faso, « La promotion immobilière consiste à réaliser ou à faire réaliser :

- les opérations d'urbanisme et d'aménagement définies par le code de l'urbanisme et de la construction au Burkina Faso ;
- l'édification, l'amélioration, la réhabilitation et l'extension de constructions sur des terrains aménagés ;

Les produits fonciers et immobiliers issus des opérations d'urbanisme et de construction sont destinés à la vente. ».

Cependant, il est constaté des dérives dans la pratique de cette activité auxquelles il convient d'apporter des réponses idoines.

Aussi, me plaît-il de porter à la connaissance des agents du ministère de l'urbanisme, de l'habitat et de la ville ainsi qu'aux acteurs de la chaîne d'activités de promotion immobilière que le traitement des dossiers de promotion immobilière est temporairement suspendu.

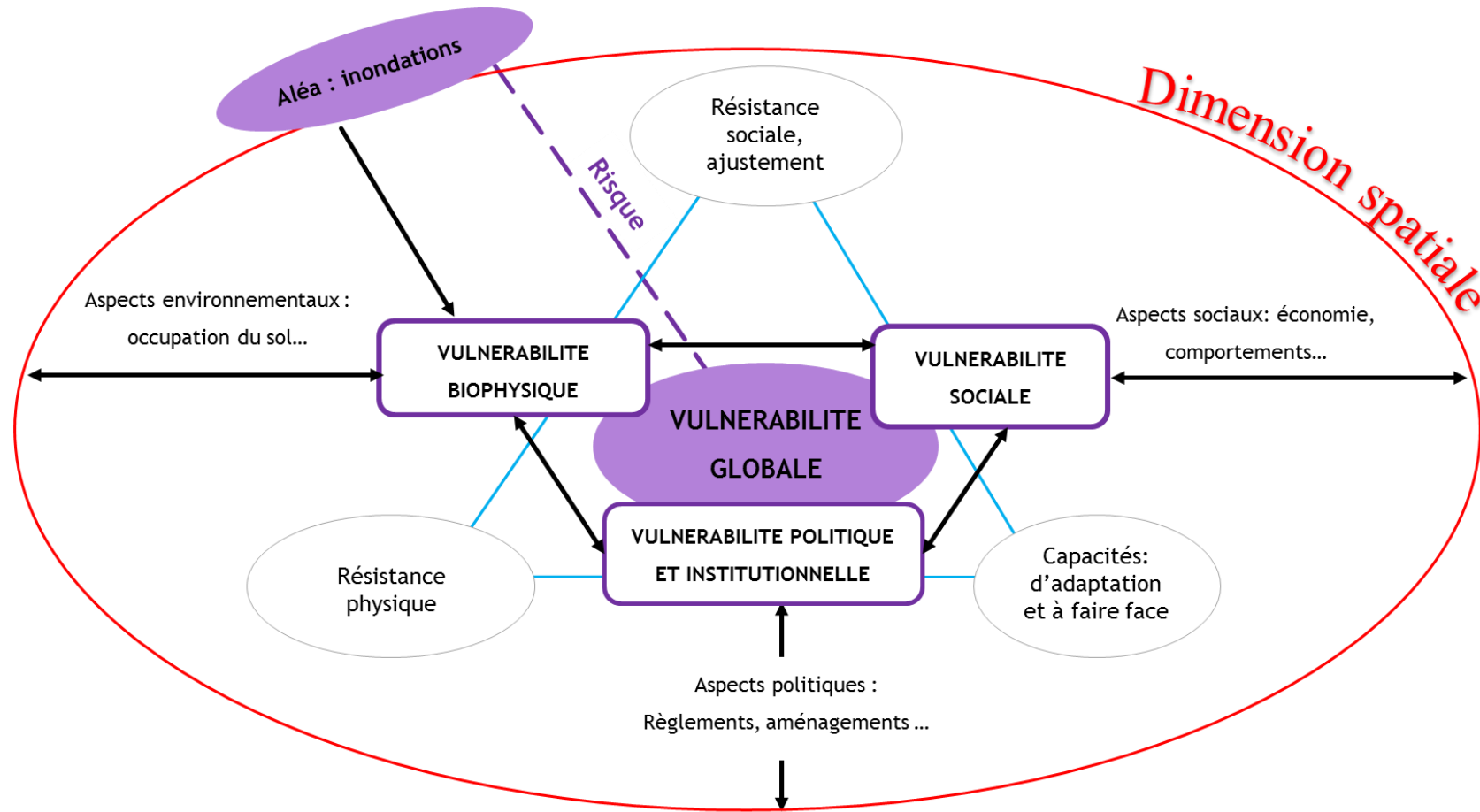
J'en appelle, une fois de plus, à l'esprit de civisme et de compréhension de tous.



Bénèwendé Stanislas SANKARA
Chevalier de l'Ordre National

RUE 5.23 - 81BP 6960 Ouagadougou 01 - Burkina Faso
Tél : (+226) 25 30 57 86 / 25 32 49 49 - (+226) 25 30 57 88 - Site web : www.mhu.gov.bf - E -mail: mhu@fasonet.bf

Annexe 19 : Schéma de synthèse du cadre systémique d'analyse de la vulnérabilité



- ↔ Inter-relation
- Action
- Concepts explicatifs du risque
- ▭ Types de vulnérabilité
- Facteurs de réduction de la vulnérabilité

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I-1 : Critères de classification de l'aléa d'après (Scarwell & Laganier, 2017a).....	15
Tableau I-2 : Nombre de quartiers spontanés par communes dans la ville de Bamako en 2009	112
Tableau II-1 : Information sur les articles de presse papier consultés dans le cadre de l'analyse géohistorique	126
Tableau II-2 : Modèle de grille d'archivage de l'information par évènement dans le cadre de l'analyse géohistorique.....	127
Tableau II-3 : Stations pluviométriques de provenance des données.....	132
Tableau II-4 : Inventaire des lacunes dans les données.....	132
Tableau II-5 : Classification de la sévérité suivant l'indice SPI.....	135
Tableau II-6 : Liste des indices de l'ETCCDI retenus	136
Tableau II-7 : Tests statistiques retenus pour l'évolution de la pluviométrie annuelle et logiciels	139
Tableau II-8 : Fonctions de densité et paramètres de la loi GEV et Gumbel	141
Tableau II-9 : Classification des évènements pluvieux en fonction de la période de retour .	143
Tableau II-10 : Caractéristiques principales des images satellites utilisées pour déterminer l'occupation du sol à Ouagadougou et à Bamako	151
Tableau II-11 : Matrice de comparaison binaire de critères à remplir par les experts	160
Tableau II-12 : Synthèse des tests pour la détection des tendances et des ruptures.....	168
Tableau II-13 : Synthèse des tests pour la détection des tendances et des ruptures	173
Tableau II-14 : Résultats des tests d'hypothèses de l'analyse fréquentielle à Ouagadougou et à Bamako.....	175
Tableau II-15 : Synthèse des tests pour la détection des tendances et des ruptures	176
Tableau II-16 : Synthèse des tests pour la détection des tendances et des ruptures	177
Tableau II-17 : Critères d'Akaike (AIC) et bayésiens (BIC)	177
Tableau II-18 : Fréquence de retour des pluies maximales journalières annuelles	179
Tableau II-19 : Caractérisation des évènements historiques d'inondation en fonction des périodes de retour à Ouagadougou.....	180
Tableau II-20 : Caractérisation des évènements historiques d'inondation en fonction des périodes de retour à Bamako	181
Tableau II-21 : Matrices de confusion associées à la classification de l'occupation du sol à Ouagadougou et Bamako	183

Tableau II–22 : Scores et classes des différents facteurs de vulnérabilité biophysique.....	184
<i>Tableau II–23</i> : Résultats de la comparaison par paire des indicateurs de vulnérabilité	185
Tableau II–24 : Poids des indicateurs de vulnérabilité par ville	185
Tableau II–25 : Dénombrement des services et infrastructures selon leur implantation	191
Tableau III–1 : Répartition des ménages enquêtés par commune et zones d’exposition à Bamako.....	211
Tableau III–2 : Répartition des ménages enquêtés par commune et zones d’exposition à Ouagadougou	212
Tableau III–3. Récapitulatif du nombre de personnes rencontrées à Ouagadougou et Bamako	213
Tableau III–4 : Caractéristiques sociodémographiques des personnes enquêtées	230
Tableau III–5 : Variables fortement liées au bien-être économique à Bamako	239
Tableau III–6 : Variables fortement liées au bien-être économique à Ouagadougou	240
Tableau III–7 : Fréquence des réponses en fonction des actions posées en cas d’inondation	244
Tableau III–8 : Odd-ratios et significativité des variables explicatives à Bamako	249
Tableau III–9 : Liste des variables retenues pour la conduite de l’ACM à Ouagadougou	253
Tableau III–10 : Liste des variables retenues pour la conduite de l’ACM à Bamako	254
Tableau IV–1 : Exemples de projets menés en lien avec les inondations dans les secteurs de la gestion des risques, de l’urbanisme et de l’assainissement	325
Tableau IV–2 : Coordination sectorielle de la gestion des risques : Chefs de fils techniques et ministériels par secteurs (source : Plans de contingence nationaux du Mali et du Burkina Faso)	342

LISTE DES IMAGES

Image 1 : Modèle Numérique de Terrain de Ouagadougou et Bamako (source : nasa)	149
Image 2 : Exemple d’infrastructures situées à moins de 100 m du barrage n° 2 de Ouagadougou (source : auteur/google earth pro 2021)	192
Image 3 : Exemple d’infrastructures situées à moins de 100 m de la rive gauche du fleuve Niger (source : auteur/google earth pro)	192

LISTE DES FIGURES

Figure I-1 : Classification de l'aléa en fonction de la hauteur d'eau et de la vitesse de l'écoulement.....	16
Figure I-2 : Polysémie du concept de vulnérabilité inspiré de Reghezza (2006).....	17
Figure I-3 : Dynamique temporelle de la vulnérabilité adaptée de Schneiderbauer 2007	25
Figure I-4 : Combinaison de l'aléa et des enjeux comme source du risque (source : MEDD [2004]).....	27
Figure I-5 : Stratégies de gestion des risques (source : auteur).....	29
Figure I-6 : Prévion de possibilité de fortes précipitations à venir au Burkina Faso (source : national research laboratory, USA, 05 septembre 2020).....	30
Figure I-7 : Typologie des inondations et exemples de catastrophes pour chaque type (source : auteur, inspiré de la Directive inondation de l'Union européenne)	39
Figure I-8 : Occurrence par type de catastrophe : 2019 comparée à la moyenne annuelle de la décennie 2009-2018 (source : EM-DAT).....	42
Figure I-9 : Carte des inondations et des tempêtes dans le monde de 1990 à 2017 ; source : Base de données internationale des catastrophes du Centre de recherche de l'épidémiologie des désastres (EM-DAT) - Université catholique de Louvain, Bruxelles.	43
Figure I-10 : Nombre d'inondations répertoriées par continent depuis 1990 (source : Base de données internationale des catastrophes du Centre de recherche de l'épidémiologie des désastres [EM-DAT]).....	43
Figure I-11 : Les 10 pays les plus touchés par les inondations depuis 1990 (source : Base de données internationale des catastrophes du Centre de recherche de l'épidémiologie des désastres [EM-DAT]).....	44
Figure I-12 : Comparaison de concordances entre signal de téléphonie mobile et intensité de pluies mesurée par pluviomètre (Source : Eawag).....	53
Figure I-13 : Principe de la photographie aérienne(a) et du recouvrement(b)	56
Figure I-14 : Processus de développement d'indicateurs de vulnérabilité (d'après Tanguy 2016)	66
Figure I-15 : Classification des dommages liés aux inondations selon Parker (2000) repris par Vinet (2010)	67
Figure I-16 : Résumé des différentes approches d'analyse de la vulnérabilité (source : auteur)	78
Figure I-17 : Localisation du district de Bamako.....	86

Figure I-18 : Localisation de la ville de Ouagadougou	88
Figure I-19 : Diagramme ombrothermique de la station de Ouagadougou Aéroport (sources : données pluviométriques mensuelles entre 1996 et 2016, Agrhymet).....	90
Figure I-20 : Diagramme ombrothermique de la station de Sénou Bamako (sources : données pluviométriques mensuelles entre 1996 et 2016, Agrhymet	91
Figure I-21 : Réseau hydrographique de la ville de Ouagadougou	93
Figure I-22 : Réseau hydrographique de Bamako.....	95
Figure I-23 : Carte du relief de la ville de Ouagadougou.....	97
Figure I-24 : Carte des pentes de Ouagadougou	98
Figure I-25 : Carte du relief de la ville de Bamako.....	100
Figure I-26 : Carte des pentes de la ville de Bamako.....	101
Figure I-27 : Croissance de la population urbaine (% annuel en 2019) d'après la Banque Mondiale.....	103
Figure I-28 : Croissance exponentielle de la population de Ouagadougou depuis 1960 (source : Guenguant (2009) ; Jaglin (1995) ; RGPH 2019 — Résultats préliminaires).....	104
Figure I-29 : Croissance exponentielle de la population de Bamako depuis 1945 (source : Sidibé (1993), RGPH [2009]).....	105
Figure I-30 : Typologie des quartiers de Bamako ; (source : Keita, 2018)	106
Figure II-1 : Morcellement du secteur 21 après le découpage administratif de 2012 (source : BNDT).....	128
Figure II-2 : Méthode de cartographie des inondations dans la ville de Ouagadougou en fonction des secteurs.....	129
Figure II-3 : Organigramme pour l'analyse des extrêmes pluviométriques (source : auteur).....	131
Figure II-4 : Représentation des valeurs manquantes après correction.....	134
Figure II-5 : Étapes de réalisation de l'analyse factorielle (source : auteur).....	140
Figure II-6 : Organigramme pour la cartographie de la vulnérabilité biophysique (source : auteur).....	147
Figure II-7 : Images Landsat 8 de Bamako et Ouagadougou en composition fausse couleur (réalisation : auteur)	151
Figure II-8 : Points de contrôles à Bamako et Ouagadougou sur fond de carte google earth (source : auteur).....	155
Figure II-9 : Matérialisation des seuils de distance au cours d'eau pour quelques quartiers de Bamako et Ouagadougou	157

Figure II-10 : Étapes de réalisation des cartes de vulnérabilité biophysique par superposition pondérée	161
Figure II-11 : Cartographie des inondations historiques de 1991 à 2020 à Ouagadougou	165
Figure II-12 : Cartographie des inondations historiques de 1967 à 2020 à Bamako	166
Figure II-13 : Variation interannuelle des précipitations de 1950 à 2017 à la station de l'aéroport de Ouagadougou.....	170
Figure II-14 : Variation interannuelle des précipitations de 1950 à 2015 à la station de Bamako-Sénou.....	170
Figure II-15 : Évolution annuelle des précipitations de 1950 à 2015 à la station de Bamako-Sénou estimée sous forme d'anomalies centrées réduites ou indice d'anomalie pluviométrique	171
Figure II-16 : Évolution annuelle des précipitations de 1950 à 2015 à la station de Ouagadougou Aéroport, estimée sous forme d'anomalies centrées réduites ou indice d'anomalie pluviométrique	172
Figure II-17 : Comparaison des lissages des deux lois d'ajustement aux données de Bamako	176
Figure II-18 : Comparaison des lissages des deux lois d'ajustement aux données de Ouagadougou	176
Figure II-19 : Classification par loi Gumbel des pluies maximales journalières à Bamako ..	178
Figure II-20 : Classification par loi GEV des pluies maximales journalières à Ouagadougou	178
Figure II-21 : Priorités relatives contenues dans la fonction de vulnérabilité physique à Ouagadougou (A) et à Bamako (B).....	186
Figure II-22 : Vulnérabilité biophysique de la ville de Bamako.....	188
Figure II-23 : Vulnérabilité biophysique de la ville de Ouagadougou.....	189
Figure III-1 : Étapes de pré-enquête et de formalisation du questionnaire	202
Figure III-2 : Découpage de Ouagadougou en zone pour l'enquête	205
Figure III-3 : Zones d'enquête selon l'exposition à Bamako.....	206
Figure III-4 : Logigramme du processus de sélection des variables explicatives à inclure dans la régression logistique binaire (inspiré de Sanharawi and Naudet (2013)) source : Da et Bonnet (2020)	221
Figure III-5 : Exemple d'application du critère du coude pour le choix du nombre de classes	227

Figure III-6 : Répartition spatiale des ménages enquêtés à Ouagadougou (A) et Bamako (B)	233
Figure III-7 : Niveau de pauvreté dans la ville de Ouagadougou selon l'indice de bien-être économique ou wealth index.....	235
Figure III-8 : Répartition spatiale du bien-être économique à Bamako.....	237
Figure III-9 : Répartition de l'activité professionnelle en fonction du wealth index dans les quartiers de Torokorobougou, Badalabougou et Quartier Mali de Bamako	238
Figure III-10 : Relation entre bien-être économique et vision des inondations à Bamako (A) et Ouagadougou (B) (en %)	241
Figure III-11 : Fatalisme et association des inondations au divin à Bamako (A) et Ouagadougou (B) (en %).....	242
Figure III-12 : Bien-être économique et comportements à domicile en cas d'inondation à Bamako et Ouagadougou	243
Figure III-13 : Causes des inondations d'après les populations de Bamako (A) et de Ouagadougou (B).....	245
Figure III-14 : Niveau de connaissance des inondations.....	247
Figure III-15 : Mesure de la sensibilité de la modélisation par régression logistique binaire (Source de données : Bamako Enquête Raincell, 2018)	248
Figure III-16 : Perception de la population de Bamako vis-à-vis des inondations (Source de données : Bamako Enquête Raincell, 2018).....	250
Figure III-17 : Représentation graphique des modalités actives sur le plan factoriel [1,2] ...	255
Figure III-18 : Évolution spatiale de la vulnérabilité de Bamako selon les données de l'enquête Raincell 2017.....	264
Figure III-19 : Évolution spatiale de la vulnérabilité de Bamako selon les données de l'enquête Raincell 2018.....	265
Figure IV-1 : L'intercommunalité du Grand Ouaga	302
Figure IV-2 : Options envisageables pour le contrôle du ruissellement de surface (source : (Le Jallé, 2013)	311
Figure IV-3 : Les centres de transit de déchets à Bamako et Ouagadougou et leur rayon d'action (source : auteur).....	316
Figure IV-4 : Cadre institutionnel pour la réduction du risque de catastrophe (prévention, alerte, réhabilitation) (source : auteur)	355
Figure IV-5 : Proposition d'une chaîne d'alerte précoce Inondations (source : auteur)	360

Figure IV-6 : Organisation des secours en cas de crise.....	362
---	-----

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

Photographie I-1 : Inondations dans des villes sahéliennes en 2009 et 2020.....	46
Photographie I-2 : Photographie aérienne de la ville de Bamako (© IRD - Hubert Bataille contact : indigo@ird.fr).....	56
Photographie I-3 : La ville de Ouagadougou vu du 2 ^e étage d'un immeuble : une ville au relief plat.....	98
Photographie I-4 : La ville de Bamako vu du 1 ^{er} étage d'un immeuble : un relief marqué...	100
Photographie I-5 : Exemples d'incivilité à Ouagadougou par connexion de conduite d'évacuation d'eaux vannes directement dans un canal (a-) et dans la rue (b-).....	102
Photographie I-6 : Organisation spatiale à Ouagadougou : différence entre zone lotie (a-b) et zone non lotie (c-d) (source : auteur)	109
Photographie I-7 : Organisation spatiale à Bamako : différence entre zone lotie et zone d'habitat spontanée.....	110
Photographie I-8 : Exemple d'habitation en zones non loties à Ouagadougou, quartier Bissighin (source : auteur).....	112
Photographie I-9 : Étroitesse des rues des quartiers spontanés de Ouagadougou (a) et Bamako (b)	113
Photographie II-1 : Première page d'un journal mentionnant des inondations en 1996 à Ouagadougou (source : auteur/Bibliothèque de l'IRD Ouagadougou).....	125
Photographie III-1 : Canalisation de fortune réalisée par les populations pour permettre les écoulements vers le barrage n° 2 de Ouagadougou.....	260
Photographie IV-1 : Activité anthropique de ramassage de sable accentuant l'érosion dans la ceinture verte de Ouagadougou (source : O. Koueta, https://www.burkina24.com/2019/06/06/ouaga-burkina-la-ceinture-verte-agonise/).....	288
Photographie IV-2 : Ruissellement d'eau à travers des ravines à Bamako (source : auteur).	311
Photographie IV-3 : Exemple d'un bassin de rétention d'eau en fonctionnement jouxtant le boulevard des Tensoba à Ouagadougou.....	312
Photographie IV-4 : État d'obstruction du collecteur du carré des martyrs à Bamako (source : [CAEB, 2018])	313
Photographie IV-5 : État d'obstruction du collecteur de Wentenga à Ouagadougou (source : auteur).....	314

Photographie IV-6 : État de certains caniveaux à Bamako et Ouagadougou (source : auteur)	314
Photographie IV-7 : Les collecteurs de Ouagadougou réceptacles de déchets et débris de tout genre (source : auteur)	314
Photographie IV-8 : Exemple de surcharge de CCT dans l'arrondissement n° 10 de Ouagadougou	317
Photographie IV-9 : Dépotoirs sauvages à la limite du barrage n° 2 de Ouagadougou	318
Photographie IV-10 : CCT de Pissy – Boyam : un exemple de centre de collecte et de tri non actif officiellement, mais utilisé dans les faits	319

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Quelques facteurs de vulnérabilité d'après Veyret (Veyret & Reghezza, 2005).	399
Annexe 2 : Formules de calcul des indices pluviométriques de l'ETTCDMI	400
Annexe 3 : Description des tests de tendance et de ruptures	401
Annexe 4 : Tests d'hypothèse de l'analyse fréquentielle et considérations théoriques des modèles fréquents choisis	404
Annexe 5 : Échelle de comparaison binaire d'après Saaty (1981) et Griot (2003)	408
Annexe 6 : Modèle de grille d'archivage de l'information	409
Annexe 7 : Cartes des facteurs intervenant dans la vulnérabilité biophysique	410
Annexe 8 : Questionnaires	413
Annexe 9 : Détermination de la taille de l'échantillon	417
Annexe 10 : Exemple de guides d'entretien	419
Annexe 11 : Liste des structures ayant pris part aux entretiens	421
Annexe 12 : Recodage des variables intervenant dans l'indice de bien-être économique	422
Annexe 13 : Exemple de processus de regroupement de modalités de faible modalité	423
Annexe 14 : Zones de moyens d'existence du District de Bamako	424
Annexe 15 : Arbres hiérarchiques en fonction des axes factoriels 1 et 2	425
Annexe 16 : Indice de vulnérabilité socio-spatiale à Bamako en fonction des modalités	426
Annexe 17 : Décision de non-intervention du CONASUR dans les zones inondables identifiées	431
Annexe 18 : Suspension temporaire des dossiers de promotion immobilière au Burkina Faso	432
Annexe 19 : Schéma de synthèse du cadre systémique d'analyse de la vulnérabilité	433

TABLE DES MATIERES

DÉDICACE	ii
AVANT-PROPOS	iii
REMERCIEMENTS	iv
SIGLES ET ABRÉVIATIONS	ix
SOMMAIRE	xii
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
PARTIE I. LES CADRES DE L'ÉTUDE : DES HOMMES ET DES RISQUES URBAINS ...	7
Introduction	7
Chapitre 1. Le cadre théorique : concepts et généralités sur les inondations dans les villes du Sud.....	8
Introduction.....	8
1.1. Terminologie et paradigme conceptuel : villes, risque, aléa et vulnérabilité	8
1.1.1. La notion de ville ou de zones urbaines	9
1.1.2. La notion de risque : de la définition de l'aléa et des enjeux au trio vulnérabilité-risque-résilience	12
1.1.2.1. L'aléa.....	12
1.1.2.2. La vulnérabilité	16
1.1.2.3. Le risque.....	26
1.2. La notion d'inondation.....	37
1.2.1. Définition et typologie des inondations	37
1.2.2. Les inondations comme premier risque naturel dans le monde	41
1.2.3. Les inondations en milieu urbain	46
Synthèse : intérêts de l'approche cindynique axée sur les inondations en milieu urbain.....	50
Chapitre 2. Le cadre méthodologique des études sur les vulnérabilités face aux inondations...	51

Introduction.....	51
2.1. Approches d'estimation de l'aléa inondation.....	51
2.1.1. Relevés de terrain	52
2.1.2. Modélisation hydraulique et hydrologique	54
2.1.3. Télédétection	55
2.1.3.1. Photographie aérienne	56
2.1.3.2. Télédétection optique	57
2.1.3.3. Télédétection radar	57
2.1.3.4. Télédétection lidar	57
2.2. Limites des approches d'analyse de l'aléa.....	57
2.2.1. Limites des relevés de terrain.....	58
2.2.2. Limites de la modélisation hydraulique et hydrologique.....	59
2.2.3. Limite de la télédétection	60
2.3. Approches d'estimation de la vulnérabilité aux risques naturels : les inondations comme fenêtre d'analyse	61
2.3.1. L'analyse de la vulnérabilité par la caractérisation de l'endommagement ou des pertes	64
2.3.2. L'analyse de la vulnérabilité par la sensibilité à l'endommagement	68
2.3.2.1. L'analyse qualitative de la sensibilité à l'endommagement	68
2.3.2.2. L'analyse quantitative de la sensibilité à l'endommagement	70
2.3.3. L'analyse de la vulnérabilité par la capacité de réponse à l'endommagement	75
2.4. Limites des approches d'analyse de la vulnérabilité.....	79
Synthèse : Intérêts d'une approche axée sur l'analyse systémique de la vulnérabilité	82
Chapitre 3. Le cadre géographique : Bamako et Ouagadougou, des villes sahéliennes propices aux catastrophes naturelles	84
Introduction.....	84

3.1	Situation géographique et administrative.....	85
3.1.1.	Bamako	85
3.1.2.	Ouagadougou	87
3.2.	Facteurs climatiques et hydrologiques.....	89
3.2.1.	Climat, pluviométrie et vents à Ouagadougou et Bamako	89
3.2.1.1.	Ouagadougou	89
3.2.1.2.	Bamako	90
3.2.2.	Réseau hydrographique.....	92
3.2.2.1.	Ouagadougou	92
3.2.2.2.	Bamako	94
3.3.	Facteurs topographiques et morphologiques : la végétation, le relief, les pentes et les sols	96
3.3.1.	La végétation.....	96
3.3.1.1.	Ouagadougou	96
3.3.1.2.	Bamako	96
3.3.2.	Le relief, les pentes et les sols.....	97
3.3.2.1.	Ouagadougou	97
3.3.2.2.	Bamako	99
3.4.	Cadre humain et organisation urbaine	103
3.4.1.	Évolution démographique et urbaine	103
3.4.1.1.	Ouagadougou	104
3.4.1.2.	Bamako	105
3.4.2.	Organisation urbaine et occupation des sols.....	107
3.4.2.1.	Ouagadougou	107
3.4.2.2.	Bamako	109
3.4.2.	La problématique de l’habitat spontané à Ouagadougou et Bamako...	111

Synthèse : Intérêts d'une étude systémique du risque inondation axée sur Ouagadougou et Bamako	114
Conclusion Partie I.....	116
PARTIE II. VULNÉRABILITÉ PHYSIQUE ET ENVIRONNEMENTALE : DEUX CAPITALES SAHÉLIENNES SOUS LES EAUX.....	118
Introduction	118
Chapitre 4. Comprendre l'aléa inondation et la vulnérabilité biophysique : une démarche adaptée à Ouagadougou et Bamako	120
Introduction.....	120
4.1. Approche cartographique de l'aléa historique	121
4.1.1. Intérêt d'une analyse historique pour la représentation spatiale des inondations à Ouagadougou et à Bamako	121
4.1.2. Approche méthodologique de collecte de données historiques	123
4.1.3. Exploitation cartographique des données historiques.....	127
4.2. Méthodologie d'analyse des extrêmes pluviométriques pour la cartographie de l'aléa pluviométrique.....	130
4.2.1. Données pluviométriques de l'étude.....	132
4.2.2. Comblement des données lacunaires journalières	133
4.2.3. Contrôle qualité des données	135
4.2.4. Analyse de l'évolution pluviométrique : calcul des indices climatiques	135
4.2.5. Détection des ruptures et des tendances.....	137
4.2.6. Analyse fréquentielle des pluies maximales journalières	139
4.2.6.1. Vérification des conditions d'application de l'analyse fréquentielle	141
4.2.6.2. Choix et ajustement des modèles fréquentsiels	141
4.2.6.3. Validation du modèle statistique.....	142
4.2.6.4. Caractérisation des périodes de retour	142

4.3. Analyser la vulnérabilité biophysique urbaine des territoires : le choix d'une démarche déductive.....	144
4.3.1. Généralités sur les méthodes d'analyse spatiale de la vulnérabilité physique	144
4.3.2. Méthode de cartographie des zones vulnérables sur le plan biophysique	145
4.3.2.1. Identification des couches significatives	148
4.3.2.2. Pondération par analyse multicritère	158
4.3.2.3. Représentation cartographique de la vulnérabilité biophysique	161
Synthèse : Intérêts et limites des approches mobilisées pour l'analyse de la vulnérabilité biophysique	163
Chapitre 5. La vulnérabilité biophysique au prisme de l'analyse de l'aléa à Ouagadougou et à Bamako.....	164
Introduction.....	164
5. 1. Cartographie des inondations historiques	164
5. 2. Évaluation des évènements climatiques extrêmes	168
5.2.1. Détection des ruptures	168
5.2.2. Comportement de la pluviométrie sur les périodes d'analyse	169
5.2.3. Indices pluviométriques et tendances	173
5.2.4. Fréquence de retour des évènements extrêmes.....	174
5.2.4.1. Vérification des conditions d'application de l'analyse fréquentielle	174
5.2.4.2. Analyse des paramètres des lois statistiques appliquées	175
5.2.4.3. Ajustement des pluies journalières maximales annuelles.....	176
5.2.4.4. Analyse des résultats de la fréquence de retour des pluies journalières maximales.....	178
5.3. Les facteurs physiques liés au territoire comme catalyseurs des inondations à Ouagadougou et à Bamako	183
5.3.1. Estimation de la qualité de la carte d'occupation du sol.....	183

5.3.2. Reclassification des sous-critères des facteurs de vulnérabilité	184
5.3.3. Pondération des facteurs par méthodes AHP.....	185
5.3.4. Représentation cartographique de la vulnérabilité biophysique des villes de Ouagadougou et de Bamako.....	187
Synthèse des résultats : Historique des inondations, évènements extrêmes et cartographie des zones exposées : un triptyque pour appréhender la vulnérabilité biophysique	193
Conclusion Partie II.....	196
PARTIE III. VULNÉRABILITÉ SOCIALE : OUAGALAIS ET BAMAKOIS FACE A LA FUREUR DES EAUX	198
Introduction	198
Chapitre 6. Analyser la vulnérabilité sociale : le choix d'une méthodologie mixte	199
Introduction.....	199
6.1. Le couplage recherche quantitative et recherche qualitative : un mixte pour une analyse plus précise de la vulnérabilité	199
6.1.1. Phase de pré-enquête	201
6.1.2. Phase d'enquête	203
6.1.2.1. Enquête par observation terrain	203
6.1.2.2. Enquête par questionnaires	203
6.1.2.3. Enquête qualitative par entretien	212
6.2. les méthodes statistiques en fond de toile de la recherche sociale.....	213
6.2.1. Caractéristiques globales de la population.....	214
6.2.1.1. Tri à plat des données	214
6.2.1.2. Tri croisé des données.....	215
6.2.2. Statut socioéconomique des populations de Ouagadougou et de Bamako	215
6.2.3. Lien entre facteurs sociaux et endommagement structurel.....	219
6.2.3.1. Généralités sur la régression logistique	219

6.2.3.2. Étapes de réalisation de la prédiction	220
6.2.4. Indice socio-spatial de vulnérabilité	223
6.2.4.1. Analyse factorielle des correspondances multiples (AFCM ou ACM)	224
6.2.4.2. Classification ascendante hiérarchique	226
Synthèse : Intérêt de l'étude de la vulnérabilité axée sur les données d'enquête et les entretiens	228
Chapitre 7. Vulnérabilité sociale de Ouagadougou et de Bamako : deux sociétés menacées par les inondations.....	229
Introduction.....	229
7.1. Le profil social des populations vulnérables à Ouagadougou et Bamako	230
7.1.1. Représentativité sociodémographique et spatiale de l'échantillonnage .	230
7.1.2. Le bien-être socioéconomique comme base de la vulnérabilité	233
7.1.2.1. Répartition spatiale des couches socioéconomique à Ouagadougou	234
7.1.2.2. Répartition spatiale des couches socioéconomique à Bamako	236
7.1.2.3. Relation entre bien-être économique et capacité à faire face aux inondations et à se relever	238
7.1.3. Niveau de connaissance des inondations, perceptions et comportements à risque	244
7.2. Des facteurs sociaux porteurs de dommages structurels aux ménages.....	246
7.2.1. Variables sociales prédictives de l'endommagement structurel	246
7.2.2. Rôle des caractéristiques sociales dans la survenue de l'endommagement structurel.....	247
7.2.2.1. Présentation des résultats	247
7.2.2.2. Discussion des résultats	251
7.3. Des classes de vulnérabilité sociale mises en lumière par la statistique.....	253
7.3.1. Typologie des ménages en fonction de l'ACM	253
7.3.2. Clusters spécifiques de vulnérabilité à Ouagadougou et Bamako	258

7.3.2.1. Typologie des ménages en fonction de la CAH.....	258
7.3.2.2. Représentation spatiale de la vulnérabilité sociale à Ouagadougou et Bamako.....	262
7.4. Une vulnérabilité socio-spatiale différentielle des populations face aux inondations : notice d'analyse	266
7.4.1. Le profil sociodémographique et comportemental des populations comme facteur de vulnérabilité.....	266
7.4.2. Les facteurs sociaux comme déterminants de l'endommagement.....	267
7.4.3. La spatialisation de la vulnérabilité comme outil d'aide à la décision des gestionnaires.....	268
Synthèse : la statistique au service de la gestion des inondations : mise en lumière des facteurs sociaux de vulnérabilisation	271
Conclusion partie III.....	272
PARTIE IV. GESTION DU RISQUE A OUAGADOUGOU ET A BAMAKO : ENTRE FAIBLESSES ET OPPORTUNITÉS	274
Introduction	274
Chapitre 8. Un cadre de référence international et des politiques nationales au service de la gestion des inondations	276
Introduction.....	276
8.1. Le cadre politique international	277
8.1.1. Les principales politiques internationales en lien avec la réduction des risques.....	277
8.1.1.1. Conventions et Cadres internationaux	277
8.1.1.2. Stratégies et politiques internationales	279
8.1.2. Insuffisances et incohérences du cadre politique international en matière de gestion du risque inondation	281
8.2. Les cadres juridiques nationaux en lien avec la gestion des catastrophes	283
8.2.1. Le cadre juridique burkinabè	283
8.2.1.1. Présentation générale	283

8.2.1.2. Analyse du cadre juridique	286
8.2.2. Le cadre juridique malien	289
8.2.2.1. Présentation générale	289
8.2.2.2. Analyse du cadre juridique au Mali	291
8.3. Les cadres politiques nationaux pour la gestion des inondations : politiques, stratégies et instruments opérationnels pour la gestion des risques et catastrophes.....	292
8.3.1 La politique nationale de l'eau.....	292
8.3.2. La politique nationale de la protection civile.....	293
8.3.3. Les stratégies nationales burkinabè et malienne sur les risques de catastrophes	293
8.3.3.1 Plans nationaux d'adaptation (PNA) aux changements climatiques	294
8.3.3.2. Le plan de contingence national	294
8.3.3.3. Les Plans d'Organisation des Secours (ORSEC)	296
8.3.3.4. Le système d'alerte précoce (SAP).....	297
8.3.4. Analyse du cadre politique national de gestion des inondations au Mali et au Burkina Faso.....	298
8.4. La gestion des inondations à l'épreuve des politiques d'assainissement et d'urbanisme	299
8.4.1. La politique nationale de l'Aménagement du territoire (PNAT).....	300
8.4.2. Les politiques nationales en matière de développement urbain au Mali et au Burkina Faso	300
8.4.2.1. Le Schéma directeur d'aménagement et d'urbanisme	302
8.4.2.2. Les réformes foncières : impacts sur la gestion des inondations à Ouagadougou et Bamako	304
8.4.2.3. La Politique nationale d'Assainissement.....	309
8.5. Réponses institutionnelles aux inondations : des projets au service des politiques de gestion urbaine.....	324
Synthèse : Politiques urbaines, gestion des catastrophes et assainissement : fait-on face à un trio perdant en termes de gestion des inondations ?	329

Chapitre 9. Capacité de réponse des acteurs aux inondations : un foisonnement de gestionnaires pour des résultats mitigés	334
Introduction.....	334
9.1. Les structures nationales au cœur de la gestion des crises liées aux inondations	334
9.1.1. La direction générale de la protection civile (DGPC) : une institution de gestion des inondations présente à la fois au Mali et au Burkina	335
9.1.2. Le Fonds National de Solidarité (FNS) ou fonds de solidarité national (FSN)	336
9.1.3. Les structures de gestion de crises propres à chaque pays.....	336
9.1.3.1. Le Conseil National de Secours d’Urgence et de Réhabilitation (CONASUR)	337
9.1.3.2. La plateforme nationale de gestion des risques au Mali (PNRRC) .	338
9.1.3.3. Société nationale de gestion du stock de sécurité alimentaire (SONAGESS).....	340
9.1.3.4. Le Commissariat à la Sécurité alimentaire (CSA) du Mali	340
9.2. Logiques d’interactions entre institutions publiques et acteurs dans la gestion des inondations et du territoire	343
9.2.1. Difficultés de leadership et problèmes de coordination dans la gestion des inondations	343
9.2.2. Contraintes de gestion par les acteurs de l’assainissement et de l’urbanisme : des impacts directs sur l’occurrence des inondations	349
Synthèse : Coopération entre acteurs : Quelle préconisation face aux difficultés du système d’organisation ?	353
CONCLUSION PARTIE IV	363
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	365
Résumé des contributions scientifiques de la thèse.....	365
Première contribution : Évaluation de la vulnérabilité biophysique en lien avec l’aléa géohistorique	365

Deuxième contribution : Évaluation de la vulnérabilité sociale	366
Troisième contribution : Compréhension des Politiques publiques et des interactions entre acteurs dans la gestion des inondations	366
Limites de l'étude.....	368
Quelques solutions envisageables	369
Perspectives de recherche.....	370
RÉFÉRENCES	373
LEXIQUE	398
ANNEXES	399
Annexe 1 : Quelques facteurs de vulnérabilité d'après Veyret (Veyret & Reghezza, 2005)	399
Annexe 2 : Formules de calcul des indices pluviométriques de l'ETTCDMI	400
Annexe 3 : Description des tests de tendance et de ruptures.....	401
Annexe 4 : Tests d'hypothèse de l'analyse fréquentielle et considérations théoriques des modèles fréquents choisis.....	404
Annexe 5 : Échelle de comparaison binaire d'après Saaty (1981) et Griot (2003)	408
Annexe 6 : Modèle de grille d'archivage de l'information	409
Annexe 7 : Cartes des facteurs intervenant dans la vulnérabilité biophysique	410
Annexe 8 : Questionnaires	413
Annexe 9 : Détermination de la taille de l'échantillon.....	417
Annexe 10 : Exemple de guides d'entretien.....	419
Annexe 11 : Liste des structures ayant pris part aux entretiens	421
Annexe 12 : Recodage des variables intervenant dans l'indice de bien-être économique.	422
Annexe 13 : Exemple de processus de regroupement de modalités de faible modalité.....	423
Annexe 14 : Zones de moyens d'existence du District de Bamako	424
Annexe 15 : Arbres hiérarchiques en fonction des axes factoriels 1 et 2.....	425
Annexe 16 : Indice de vulnérabilité socio-spatiale à Bamako en fonction des modalités .	426

Annexe 17 : Décision de non-intervention du CONASUR dans les zones inondables identifiées	431
Annexe 18 : Suspension temporaire des dossiers de promotion immobilière au Burkina Faso	432
Annexe 19 : Schéma de synthèse du cadre systémique d'analyse de la vulnérabilité	433
LISTE DES TABLEAUX	434
LISTE DES IMAGES	435
LISTE DES FIGURES	436
LISTE DES PHOTOGRAPHIES	440
LISTE DES ANNEXES	441
TABLE DES MATIERES	442
ABSTRACT:.....	454
RESUME.....	455

Title: Urban vulnerability in the Sahel: Ouagadougou (Burkina Faso) and Bamako (Mali) under the weight of floods

Keywords: urban vulnerability, flooding, sahelian regions, disaster management, risk spatialization

ABSTRACT: The Sahelian countries face major floods every year with major human and environmental repercussions (proliferation of epidemics, deaths, destruction of property, etc.). These hydrological disasters cause inestimable economic losses, while the Sahelian zone is already heavily impacted by poverty. In view of the effects and recurrence of flood-related disasters in the Sahel, several projects have already been carried out under the impetus of national and international institutions with a view to reducing the risks. However, it is clear that the strategies deployed remain insufficient, if not inadequate, due to a lack of data on the complex interaction between social and physical factors in the process of vulnerability of territories, particularly at the urban level. This thesis proposes to address this situation in order to contribute to better flood risk management in the Sahel through the assessment of urban vulnerability. To achieve this, Ouagadougou and

Bamako, the capitals of Burkina Faso and Mali, were chosen to conduct a comparative study of vulnerabilities, due to their strategic position in the Sahel. The methodology used is based on the analysis of three levels of urban vulnerability (biophysical, social and institutional), with the objective of highlighting for managers the determinants related to vulnerability to flooding in the Sahel zone. The study of the first level of vulnerability is based on a spatial analysis combining geohistorical, cartographic and satellite data for a precise identification of vulnerable areas. The social aspect of vulnerability is analyzed using a quantitative approach based on large-scale surveys. The institutional vulnerability is addressed through the mode of flood management by policies and institutions following a qualitative and archival approach. The results highlighted numerous socio-economic, biophysical and institutional constraints limiting the adequate management of floods in the Sahel.



Titre : Vulnérabilité urbaine au Sahel : Ouagadougou (Burkina Faso) et Bamako (Mali) sous le poids des inondations

Mots-clés : vulnérabilité urbaine, inondation, régions sahéliennes, gestion des catastrophes, spatialisation du risque

RESUME : Les pays sahéliens font face chaque année à d'importantes inondations avec des répercussions humaines et environnementales majeures (prolifération d'épidémies, décès, destruction de biens...). Ces catastrophes d'origine hydrologique causent des pertes économiques inestimables alors que la zone sahélienne est déjà fortement impactée par la pauvreté. Au regard des effets et de la récurrence des catastrophes liées aux inondations au Sahel, plusieurs projets ont été réalisés sous l'impulsion d'institutions nationales et internationales dans l'optique d'une réduction des risques. Cependant, force est de constater que les stratégies déployées restent insuffisantes sinon inadéquates, du fait d'un manque de données sur la complexe interaction entre facteurs sociaux et physiques dans le processus de vulnérabilisation des territoires, particulièrement au niveau urbain. La présente thèse se propose de se pencher sur cette problématique pour contribuer à une meilleure gestion du risque inondation au Sahel. Pour y parvenir, Ouagadougou et Bamako, capitales du Burkina Faso et du Mali ont été choisies pour mener une étude comparative des vulnérabilités, du fait

de leur position stratégique au Sahel. La méthodologie employée s'appuie sur l'analyse de trois niveaux de vulnérabilité urbaine (biophysique, sociale et institutionnelle) et a pour objectif de faire ressortir pour les gestionnaires, les déterminants liés à la vulnérabilité aux inondations dans la zone sahélienne. L'étude du premier niveau de vulnérabilité repose sur une analyse spatiale associant données géohistoriques, cartographiques et satellitaires pour une identification précise des zones vulnérables. L'aspect social de la vulnérabilité est lui analysé selon une démarche principalement quantitative fondée sur la réalisation d'enquêtes à grande échelle. La vulnérabilité institutionnelle est abordée à travers le mode de gestion des inondations par les politiques et les institutions suivant une approche qualitative et archivistique. Les résultats ont permis de mettre en évidence des contraintes socioéconomiques, biophysiques et institutionnelles limitant la gestion adéquate des inondations au Sahel.

