
VULNÉRABILITÉ DE LA POPULATION ET IMPACTS DES INONDATIONS DANS LES VILLES AFRICAINES : ÉVALUATION DES ENJEUX ET DES DÉGÂTS DANS LA VILLE DE N'DJAMENA (TCHAD)

Romarc DJEDANOUM¹, Département de Géographie (Université de Yaoundé I) ;
romaricdjedanouma@gmail.com

YOUTA HAPPI Joseph², Département de Géographie (Université de Yaoundé I) ;
youtahappi@yahoo.fr

Ignance Koumngar³, Département de Géographie-Aménagement-Environnement (Université de Dschang) ;
ikoumngar@gmail.com

DJIMAYE Césaire⁴, Département de Géographie (Université de N'Djamena) ; cdjimaye@gmail.com

Résumé

La variabilité climatique constitue l'une des sources de nombreux problèmes dont le monde est victime. L'Afrique en général et sa partie subsaharienne en particulier ne sont pas épargnées des catastrophes liées au dérèglement climatique. La ville de N'Djamena, en Afrique centrale constitue un sérieux terrain sujet aux inondations cette dernière décennie. Cependant, les inondations représentent un risque majeur pour les villes situées aux abords des cours d'eau permanent d'Afrique subsaharienne, entraînant des dégâts socio-économiques considérables pour les populations, les habitats et les infrastructures. Cet article vise à évaluer l'impact des inondations dans la ville de N'Djamena en combinant des données de la télédétection et une analyse par les Systèmes d'Information Géographique. La méthodologie utilisée repose sur l'exploitation d'une couche binaire permettant d'identifier les zones inondées et non inondées, suivie d'une analyse spatiale croisée pour quantifier les impacts sur les infrastructures, les bâtiments et les zones d'agriculture péri-urbaine de la ville de N'Djamena). Les résultats montrent que les zones urbanisées et les infrastructures sont fortement exposées aux inondations. Dans la ville de N'Djamena, entre 50km et 78km, de routes ont été affectées par les inondations en pleine saison de pluies, avec environ 69 % des surfaces inondées situées dans des zones résidentielles et des quartiers périphériques. Outre, les bâtiments impactés couvrent une superficie variante entre 300000 m² et 2000000 m². Ces résultats mettent en évidence la vulnérabilité accrue de cette ville d'Afrique subsaharienne face aux inondations récurrentes, exacerbée par l'urbanisation rapide, l'élévation du niveau du système de cours d'eau Chari-Logone et les infrastructures de drainage insuffisantes.

Mots-clés : *inondations, vulnérabilité urbaine, ville de N'Djamena, SIG, évaluation des dégâts.*

Vulnerability of the population and impacts of flooding in african towns : assessment of the issues and damage in the town of N'Djamena

Abstract

Climate variability is one of the sources of many problems facing the world. Africa in general, and sub-Saharan Africa in particular, are not spared from climate-related disasters. The town of N'Djamena, in Central Africa, has been particularly prone to flooding over the past decade. However, flooding poses a major risk to cities located near permanent waterways in sub-Saharan Africa, causing considerable socio-economic damage to populations, homes, and infrastructure. This article aims to assess the impact of flooding in the town of N'Djamena by combining remote sensing data with Geographic Information System (GIS) analysis. The methodology used relies on the analysis of a binary layer to identify flooded and non-flooded areas, followed by cross-spatial analysis to quantify the impacts on infrastructure, buildings, and peri-urban agricultural areas in N'Djamena. The results show that urbanized areas and infrastructure are highly vulnerable to flooding. In the town of N'Djamena, between 50 and 78 kilometers of roads were affected by flooding during the rainy season, with approximately 69% of the flooded areas located in residential

zones and outlying neighborhoods. Furthermore, the affected buildings cover an area ranging from 300,000 m² to 2,000,000 m². These results highlight the increased vulnerability of this sub-Saharan African city to recurring floods, exacerbated by rapid urbanization, the rising water level of the Chari-Logone river system, and inadequate drainage infrastructure.

Keywords : *floods, urban vulnerability, town of N'Djamena, GIS, damage assessment*

Introduction

Les inondations sont l'une des catastrophes naturelles les plus récurrentes et destructrices dans le monde, exacerbant la vulnérabilité des villes africaines, en particulier dans les pays en voie de développement (UNDRR, 2021 ; IPCC, 2022). En Afrique centrale, les villes situées aux abords des cours d'eau permanent comme les villes de N'Djamena, Kousseri, Yagoua, Bongor, Lai et Sarh sont confrontées à une vulnérabilité croissante face aux inondations, en raison de l'intensification des précipitations, de l'élévation du niveau des fleuves et de l'urbanisation non planifiée c'est-à-dire anarchique (UN-Habitat, 2014 ; World Meteorological Organization, 2021).

La ville de N'Djamena au Tchad, est très régulièrement affectée par des inondations ayant des impacts socio-économiques et environnementaux majeures, liés à sa situation géographique, aux dynamiques hydrologiques locales et aux effets de la variabilité climatique (World Bank, 2022, OCHA, 2021). L'augmentation des inondations à travers plusieurs arrondissements de la ville de N'Djamena soulève une question scientifique et opérationnelle centrale à savoir : Quels sont les impacts des inondations sur les infrastructures et la population en termes de superficie touchée, de bâtiments endommagés et de routes affectées, et comment une approche de cartographie spatiale peut-elle contribuer à une gestion durable des inondations dans la ville de N'Djamena ? Cette question s'inscrit dans un contexte où les stratégies d'adaptation aux inondations restent limitées en Afrique subsaharienne, malgré l'urgence de développer des approches méthodologiques drastiques pour identifier les zones inondables, estimer les dégâts et aider à la prise de décision en matière d'aménagement urbain et de résilience climatique (UNDP, 2019 ; IPCC, 2022). Plusieurs recherches ont mis en évidence l'intérêt d'une approche spatiale basée sur des séries d'images temporelles pour suivre l'évolution des inondations (Schumann et Bates, 2018 ; Pekel et al., 2016).

Cette recherche s'inscrit dans la continuité de ces travaux en proposant une méthodologie intégrée qui combine une couche binaire des arrondissements inondés (Longley et al., 2015) et une analyse spatiale croisée pour quantifier les dégâts sur les infrastructures critiques, les bâtiments et les zones d'agriculture péri-urbaine. Elle vise à cartographier les arrondissements inondés dans la ville de N'Djamena, puis à évaluer les impacts des inondations en termes de superficie touchée, de bâtiments endommagés et de routes affectées.

Les résultats de cette étude permettront d'obtenir une vision détaillée des impacts des inondations dans la capitale tchadienne et de proposer des solutions pour une gestion plus efficace du risque climatique et hydrologique, contribuant ainsi à renforcer la résilience urbaine face aux inondations en Afrique subsaharienne (Romaric, 2011).

1. Méthodologie

Le fondement de la recherche repose sur son objet, les matériels et la méthode, c'est-à-dire la méthodologie. Cette étude s'appuie sur une approche méthodologique intégrant l'exploitation de données géospatiales et l'utilisation d'outils avancés d'analyse spatiale afin d'identifier, caractériser et cartographier les enjeux exposés aux inondations. La méthodologie adoptée repose sur une structuration qui va de la collecte des données, l'extraction des classes d'enjeux et des arrondissements inondés, l'analyse spatiale croisée à l'évaluation des impacts sur les classes d'enjeux.

1.1. Présentation de la zone d'étude

La figure (1), présente N'Djamena comme une ville fluviale, située à l'embouchure des fleuve Logone et Chari, sur une plaine alluviale de basse altitude. Sa configuration géographique unique, associée aux crues du fleuve, en fait une zone particulièrement exposée aux inondations récurrentes.

Son développement urbain s'est structuré autour de plusieurs sortes d'urbanisation anarchique, amenant la population à s'installer dans les zones à risque d'inondations.

La ville est confrontée à un risque d'inondation récurrent, principalement lié aux crues du fleuve, aux précipitations intenses et à la remontée des eaux de la nappe phréatique. Les quartiers les plus touchés, comme Walia, Toukra, Djougoulier, Boutalbagar, Ambatta et Guinebor, subissent des dégâts énormes aux habitations, aux infrastructures et aux activités économiques, exacerbant la vulnérabilité de la population.

Les conséquences des inondations dans la ville de N'Djamena sont diverses à savoir : la destruction des habitations, les coupures d'axes routiers, la perte d'activités économiques et les risques sanitaires accrus. Les personnes les plus vulnérables sont celles vivant dans des constructions précaires, souvent implantées en zones inondables sans infrastructures de protection adaptées.

La gestion des eaux de pluie constitue donc un défi majeur pour les autorités communales et l'Etat tchadien, qui tentent de mettre en place des solutions telles que la construction des digues de protection, le curage régulier des caniveaux, l'amélioration du drainage urbain et la planification d'aménagements d'une ville résiliente par le biais du projet PILIER.

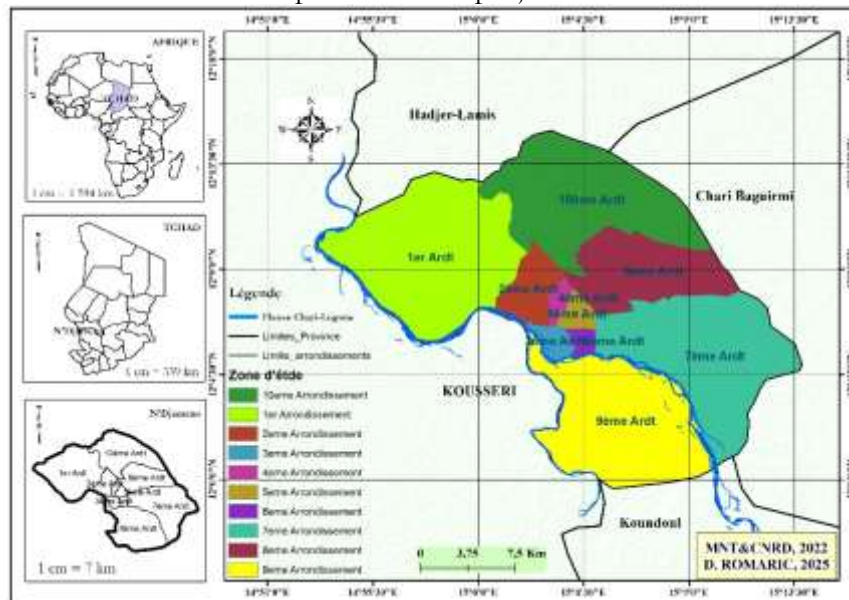


Figure 1 : localisation de la ville de N'Djamena

1.2. Données et outils

Cet article repose sur un ensemble de données variées et complémentaires, provenant de sources ouvertes et de travaux scientifiques récents. Ces données permettent d'analyser de manière précise les impacts des inondations dans la ville de N'Djamena, en croisant plusieurs dimensions : occupation du sol, densité de population, infrastructures et zones inondées. Les principales sources utilisées sont les suivantes :

- **Occupation du sol**

Les données rasters d'Earth Explorer (USGS) et celles de WorldCover de l'Agence Spatiale Européenne (ESA) fournissent une cartographie détaillée de l'occupation du sol à une résolution de 10m [8]. Ces données permettent d'identifier les surfaces imperméabilisées (zones urbaines, routes) ainsi que les zones naturelles vulnérables (terres agricoles, zones humides), offrant une base essentielle pour comprendre comment l'occupation du sol influence la vulnérabilité aux inondations.

- **Répartition de la population (densité)**

Les données du RGPH2 de l'INSEED combinées de celles du Gridded Population of the World (GPW) fournissent des estimations spatialisées de la densité de population à l'échelle locale

[1]. Ces données sont utilisées pour évaluer l'exposition de la population aux inondations et identifier les arrondissements où les personnes sont les plus exposées aux inondations.

- **Réseaux routiers**

Le réseau routier est cartographié à partir d'OpenStreetMap (OSM), une base de données collaborative et open source. Ces données permettent d'analyser l'impact des inondations sur les infrastructures de transport, en identifiant les routes les plus touchées et les perturbations potentielles pour les déplacements de la population lors des inondations.

- **Bâtiments**

Les données d'OpenBuilding recensent les bâtiments avec une précision géographique élevée [13]. Ces données sont utilisées pour cartographier les espaces bâtis et évaluer l'étendue des dégâts causés aux habitations et aux infrastructures pendant les épisodes d'inondation.

- **Zones inondées**

Les travaux de Romaric (2021) fournissent une couche binaire des zones inondées et non inondées, basée sur des images satellitaires et des techniques de deep learning. Ces données servent de référence pour identifier les arrondissements touchés par les inondations à différentes périodes, permettant ainsi une analyse diachronique des tendances et des impacts.

La recherche s'est concentrée sur les périodes indiquées dans le Tableau 1, couvrant les différentes zones géographiques. Cette approche permet de comparer les impacts des inondations dans le temps et de mieux comprendre leur évolution spatiale et temporelle.

Tableau I : Dates des historiques des inondations dans la ville de N'Djamena

Période	Jour	Communes
Août 2022	11/08/2022	1 ^{er} arrondissement
Août 2022	11/11/2022	2 ^{ème} arrondissement
Juillet 2022	05/07/2022	3 ^{ème} arrondissement
Septembre 2022	01/09/2022	4 ^{ème} arrondissement
Août 2022	24/08/2022	5 ^{ème} arrondissement
Septembre 2022	01/08/2022	6 ^{ème} arrondissement
Août 2022	01/08/2022	7 ^{ème} arrondissement
Juillet 2022	13/07/2022	8 ^{ème} arrondissement
Octobre 2022	03/10/2022	9 ^{ème} arrondissement
Septembre 2022	27/09/2022	10 ^{ème} arrondissement

Source : Enquêtes de terrain, 2022

En combinant ces différentes sources, une approche méthodologique robuste est mise en place, croisant une analyse spatiale et quantitative. Cette démarche permet non seulement de cartographier les zones à risque d'inondations, mais aussi de quantifier les impacts des inondations sur les infrastructures, les bâtiments et la population de la ville de N'Djamena. Elle est essentielle pour proposer des mesures adaptées et de renforcer la résilience des villes africaines face aux inondations.

1.3. Extraction des classes d'enjeux

L'extraction des classes d'enjeux repose sur une méthodologie par filtre attributaire, appliquée aux sources de données géospatiales mentionnées ci-haut. Cette approche permet d'isoler les catégories d'occupation du sol et les infrastructures susceptibles d'être affectées par les inondations, en vue de leur analyse spatiale. Voici la démarche suivie pour chaque classe d'enjeux :

- **Milieu urbain**

À partir de la base WorldCover (ESA), un filtre attributaire a été appliqué pour extraire les zones classées comme surfaces artificialisées (par exemple, les quartiers résidentiels, commerciaux et industriels). Ces données ont ensuite été converties en couches vectorielles pour faciliter leur intégration dans l'analyse spatiale.

- **Occupation du sol**

Les utilisations du sol ont été identifiées en appliquant un filtre attributaire sur la base WorldCover (ESA) [9], en isolant les classes correspondant aux bâtis, sol nu, surface d'eau et la couverture végétale dans la zone d'étude. Cette extraction a permis de cartographier les zones vulnérables aux inondations.

- **Bâtiments**

La classe des bâtiments a été extraite à partir de la base d'OpenBuilding. Un filtre attributaire a été utilisé pour sélectionner les polygones représentant les infrastructures publiques (écoles, hôpitaux) et privées (résidences, entreprises). Ces données ont été vectorisées pour une analyse spatiale précise.

- **Réseau routier**

Le réseau routier a été extrait de la base d'OpenStreetMap (OSM) en appliquant un filtre attributaire sur les éléments correspondant aux routes (par exemple, en utilisant les tags OSM tels que "highway"). Les différentes catégories de routes (primaires, secondaires et les pistes ou tertiaires) ont été distinguées pour une analyse détaillée.

Les classes d'enjeux choisies représentent des secteurs critiques pour l'évaluation des risques d'inondation dans la ville de N'Djamena. La population est directement affectée par les inondations en termes de déplacements et de pertes humaines. Le milieu urbain inclut des infrastructures essentielles pour le fonctionnement d'une ville. Les zones cultivées sont un pilier économique et les bâtiments sont à la fois des actifs matériels et des lieux de vie pour la population. L'identification de ces classes permet de quantifier l'impact des inondations sur les secteurs critiques, permettant ainsi de faire une évaluation fine des risques d'inondations et des potentiels dégâts.

Une fois extraites, ces classes d'enjeux ont été croisées avec les cartes des zones inondées pour évaluer leur exposition et leur vulnérabilité. Cette méthodologie permet de quantifier l'impact des inondations sur les secteurs critiques, offrant ainsi une base solide pour l'évaluation des risques d'inondations et des potentiels dégâts.

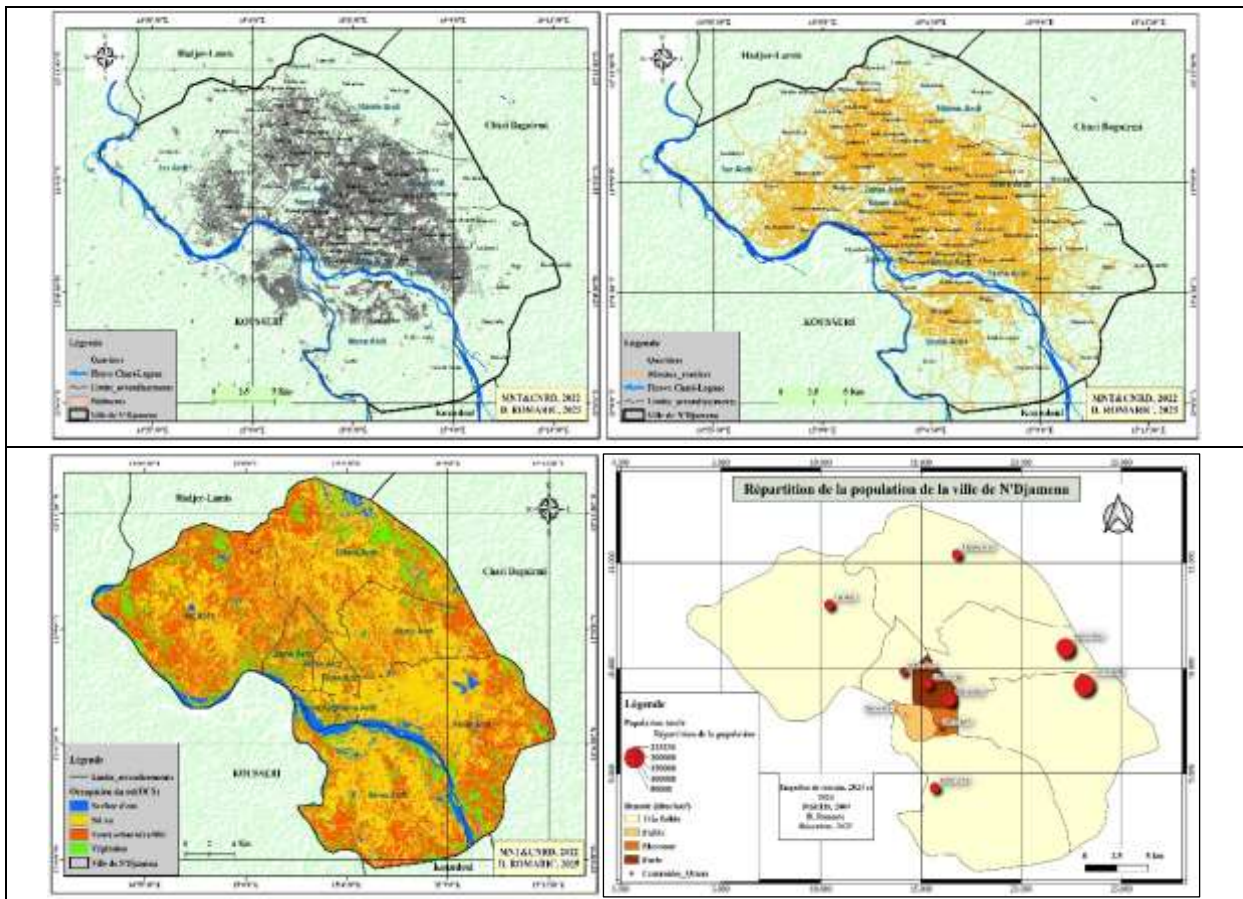


Figure 2 : Emplacement des enjeux de la ville de N'Djamena

La figure (2) présente l'emplacement des enjeux dans la zone d'étude. Ces cartes illustrent la répartition de milieu urbain, des bâtiments, de la population et du réseau routier, qui constituent les classes d'enjeux analysées dans cette étude.

1.4. Méthodologie d'extraction d'emplacement des zones inondées

L'extraction des emplacements des zones inondées et des zones non inondées repose sur l'exploitation d'une couche binaire des zones inondées. Cette couche raster, déjà prétraitée, catégorise chaque pixel en deux classes : zones inondées (valeur=1) et zones non inondées (valeur=0).

L'objectif de cette approche est d'utiliser directement ces informations raster pour quantifier les surfaces impactées et analyser leur répartition spatiale. La couche binaire a été importée dans Google Earth Engine sous son format natif (Geotiff) et dans son système de coordonnées UTM Zone 33N pour la ville de N'Djamena. Cette intégration permet une analyse matricielle optimisée. Pour garantir la compatibilité avec les autres couches de données utilisées dans l'étude, la résolution spatiale a été standardisée à 10m, correspondant à la précision initiale de la couche raster. Un contrôle de qualité a été réalisé pour s'assurer que seules les valeurs 0 (zones non inondées) et 1 (zones inondées) étaient présentes, évitant ainsi les artefacts ou les erreurs de classification.

En utilisant les fonctions de zonage raster, la somme des pixels pour chaque classe a été multipliée par la superficie d'un pixel (100 m² pour une résolution de 10m) afin d'obtenir la superficie totale des zones inondées et non inondées.

Des analyses par fenêtres (focal statistics) ont été appliquées pour évaluer la concentration des zones inondées à différentes échelles spatiales. De plus, l'intersection de la couche raster avec des masques administratifs (arrondissements et quartiers) a permis de quantifier la distribution des inondations par secteur géographique.

1.5. Evaluation des impacts

La méthodologie adoptée pour l'évaluation des dégâts se décline en plusieurs étapes, allant de la préparation des classes d'enjeux à l'analyse des impacts des inondations sur ces classes.

1.5.1. Analyses spatiales croisées

Pour une meilleure compréhension des impacts des inondations dans la ville de N'Djamena, les données rasters ont été croisées avec plusieurs couches thématiques. Une analyse spatiale par intersection a été réalisée pour superposer les cartes des zones inondées sur les couches des classes d'enjeux (routes, bâtiments et milieu urbain). Cette méthode permet d'identifier les portions des classes d'enjeux situées dans les zones inondées pour chaque année étudiée. L'intersection spatiale fournit une estimation précise des surfaces et objets affectés, permettant de quantifier l'impact des inondations en termes de :

- Nombre de ménages et personnes touchées ;
- Bâtiments endommagés ;
- Occupation du sol ;
- Milieu urbain impacté.

1.5.2. Evaluation des superficies et objets affectés

Les calculs ont permis de quantifier les superficies affectées (en hectares pour les zones urbaines et dans les périphéries). Ces calculs ont été réalisés à l'aide des fonctions de traitement de géo données disponibles dans les outils des Systèmes d'Information Géographique, garantissant des résultats reproductibles et standardisés. Cette étape fournit des données quantitatives essentielles pour évaluer les dégâts économiques et humains.

1.5.3. Analyse temporelle

L'analyse temporelle consiste à comparer l'évolution de l'impact des inondations sur les différentes classes d'enjeux. Les résultats ont été regroupés et comparés pour identifier des tendances, telles qu'une augmentation progressive des inondations dans certaines zones urbaines ou agricoles. Les résultats ont été visualisés sous forme de :

- Cartes thématiques représentant les zones affectées pour chaque classe d'enjeux et chaque année ;
- Photos illustrant les tendances spatiales ;
- Ces visualisations sont essentielles pour transmettre efficacement les résultats aux parties prenantes et faciliter la prise de décision.

1.5.4. Cartographie finale

La carte thématique synthétique a été produite, illustrant les zones affectées pour chaque classe d'enjeux et chaque période. Chaque classe d'enjeux est représentée par une symbologie distincte, facilitant l'identification des impacts dans les différentes catégories (population, milieu urbain, occupation du sol et bâtiments). Cette carte sert de support pour :

- Planifier les interventions des autorités étatiques et communales ;
- Prioriser des mesures d'atténuation du risque d'inondations dans la ville de N'Djamena ;
- Prendre des décisions stratégiques en matière de gestion post-catastrophe dans la ville de N'Djamena.

2. Résultats

2.1. Des enjeux affectés

La recrudescence des inondations dans la ville de N'Djamena a eu un impact significatif sur les infrastructures, les habitations et les secteurs agricoles dans les zones identifiées. En croisant les données de la cartographie des zones inondées avec les couches d'occupation du sol et les infrastructures existantes, il a été possible d'estimer les surfaces et les objets affectés.



Source : Romaric et N'DJAM ACTU, 2025

Planche 1 : impacts des inondations dans la ville de N'Djamena

La planche (1) illustre les dégâts des inondations sur les réseaux routiers aux différentes dates dans la zone d'étude. La photo A, montre le quartier Moursal dans le 6^{ème} arrondissement et la photo B à Farcha dans le 1^{er} arrondissement. Cette planche permet de visualiser les zones les plus touchées et de mieux comprendre l'étendue des dégâts. Les résultats montrent l'importance de revoir la gestion des eaux pluviales dans les zones urbaines, notamment par le renforcement des infrastructures de drainage et en développant des solutions fondées sur la nature, comme les bassins de rétention et les espaces verts absorbants.

Les infrastructures routières nécessitent une conception plus résiliente face aux aléas climatiques, avec l'utilisation de matériaux plus adaptés et une meilleure planification du drainage. De plus, des routes alternatives ou des systèmes de transport multimodaux devraient être envisagés pour maintenir la connectivité en cas de coupures majeures dues aux inondations.

2.2. Evolution des impacts des inondations dans la ville de N'Djamena

L'analyse temporelle des impacts des inondations dans la ville de N'Djamena révèle des tendances significatives dans l'évolution des dégâts causés aux infrastructures, aux habitations et aux zones agricoles. Cette analyse permet de mieux comprendre l'ampleur des inondations et leur progression au cours des différentes périodes étudiées. Les résultats montrent une augmentation progressive des surfaces inondées touchant les zones résidentielles. En effet, la proportion des zones d'habitation affectées passe de 47 % le 2 août 2022 à 64 % le 21 août 2022. Cette tendance s'explique par l'intensification des précipitations et la saturation des systèmes de drainage urbain, qui aggravent les inondations dans les quartiers densément peuplés.



Source : DJEDANOU Romaric, 2025

Planche 2 : Dégâts causés par les inondations sur les bâtiments

Les bâtiments impactés présentent également une évolution notable. La superficie des bâtiments endommagés augmente progressivement, passant de 1 000 000 m² le 28 mai à 2 500 000 m² le 6 août 2022. Cette augmentation pourrait s'expliquer par une mauvaise gestion des eaux

pluviales ou par une répartition différente des précipitations au cours de la saison des pluies. En ce qui concerne le réseau routier, les données révèlent une variabilité importante dans l'ampleur des dommages. Le 2 septembre 2022, 20 km de routes ont été affectées, soit le pic le plus élevé observé. En revanche, le 27 juillet, seulement 75 km de routes ont été touchés, ce qui suggère une forte variabilité spatiale et temporelle des impacts. Une augmentation des surfaces inondées dans les zones résidentielles, soulignant la vulnérabilité des populations urbaines face aux inondations.

- Une variabilité des impacts sur les infrastructures routières, avec des pics de dommages liés à épisodes de pluies intenses ;
- Une progression des dégâts aux bâtiments, ce qui pourrait refléter des différences dans les stratégies de gestion des eaux pluviales ou dans l'intensité des précipitations.

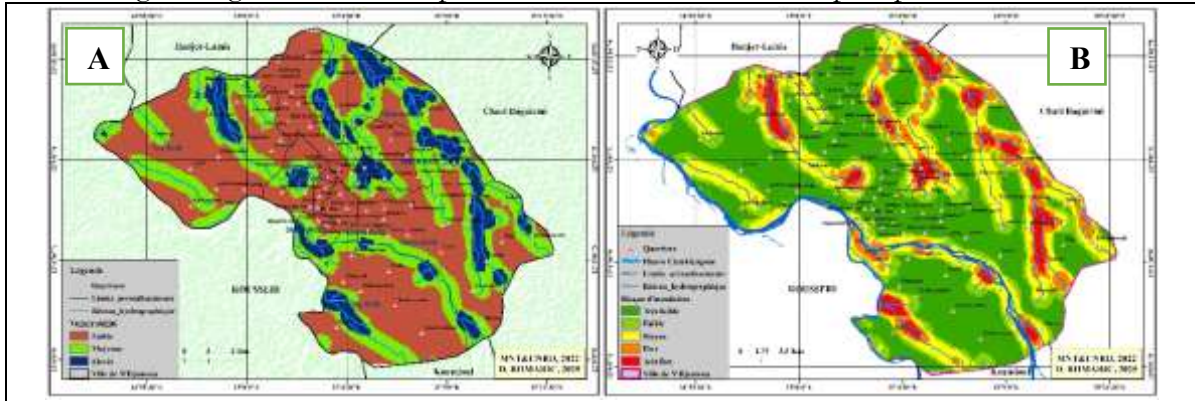


Figure 3 : cartes de vulnérabilité et du risque d'inondations

La figure (3) présente les cartes de vulnérabilité (carte A) et du risque d'inondations (carte B) dans la ville de N'Djamena. La vulnérabilité se situe à trois (3) niveaux à savoir : vulnérabilité faible (couleur marron), vulnérabilité moyenne (couleur verte) et vulnérabilité élevée (couleur bleue). Tandis que la carte (B) présente le risque d'inondation dans la zone d'étude qui se situe à cinq (5) : le risque très faible, le risque faible, le risque moyen, le risque fort et le risque très fort.

Ces résultats mettent en lumière la nécessité de renforcer les digues de protection, les infrastructures de drainage, d'éviter de construire dans les zones à risque et d'adopter des mesures d'adaptation (endogène et exogène) pour réduire les impacts à venir des inondations. La planification urbaine doit prendre en compte ces tendances pour améliorer la résilience des villes tchadiennes face à la variabilité climatique qui est considéré comme l'un des objectifs du Plan National de Développement Connexion 2023 (PND30).

3. Discussion

Les résultats de cette étude mettent en lumière l'impact significatif des inondations sur les infrastructures, les habitations et les zones agricoles dans la ville de N'Djamena. Cette discussion vise à replacer ces résultats dans le contexte des recherches antérieures, à en évaluer la pertinence et les limites, et à proposer des pistes d'amélioration pour la gestion des risques d'inondation.

3.1. Choix des classes d'enjeux

Les classes d'enjeux choisies représentent des secteurs critiques pour l'évaluation des risques d'inondation. En effet :

- La population est directement affectée par les inondations, que ce soit en termes de déplacements d'accès aux services ou de pertes humaines ;
- Le milieu urbain inclut des infrastructures essentielles pour le fonctionnement des villes, dont la perturbation peut avoir des conséquences socio-économiques majeures ;
- Les zones cultivées constituent un pilier économique dans de nombreuses régions, et leur destruction peut compromettre la sécurité alimentaire et les moyens de subsistance des populations ;
- Les bâtiments représentent à la fois des actifs matériels et des lieux de vie, dont la vulnérabilité aux inondations doit être évaluée avec précision.

L'identification et l'analyse de ces classes permettent de quantifier les impacts des inondations sur les secteurs critiques, offrant ainsi une base solide pour l'évaluation des risques et des dommages potentiels.

3.2. Comparaison avec les études antérieures

Les résultats obtenus confirment plusieurs tendances observées dans la littérature sur les inondations en Afrique subsaharienne. Dans la ville de N'Djamena, les inondations sont principalement causées par les précipitations diluviennes, les crues des fleuves Chari et Logone, la remontée des eaux de la nappe phréatique communément appelé « *l'eau de sel* » et une urbanisation anarchique, c'est-à-dire non contrôlée entraînant l'occupation des zones à risques d'inondations (Programme des Nations Unies pour le Développement, 2012, p.62). L'urbanisation rapide due à la pression démographique, le niveau de vie de la population (la pauvreté) et l'imperméabilisation des sols ont fortement contribué à l'intensification des inondations dans la ville de N'Djamena, un constat également mis en évidence par (Banque Mondiale, 2018, p. 102). Nos résultats montrent que 20 % à 50 % des surfaces inondées correspondent à des zones d'habitation, un chiffre comparable aux analyses de (Leulmi, 2025), qui ont observé une augmentation progressive de la vulnérabilité urbaine face aux inondations.

3.3. Analyse spatio-temporelle

L'analyse spatiale a révélé des différences notables dans la distribution et l'intensité des inondations dans la ville de N'Djamena. Ainsi, les résultats montrent que 30 % à 80 % des zones inondées concernent des espaces de résidence, indiquant une forte exposition de la population aux risques climatiques et hydrologiques. Cette tendance est conforme aux conclusions de Sy et Dao (2016), qui souligne que l'urbanisation rapide de la ville de N'Djamena s'est accompagnée d'une occupation anarchique des zones inondables.

Nos résultats sont en accord avec les observations de Leulmi (2025), qui mettent en avant la susceptibilité de cette ville aux submersions fluviales.

L'analyse temporelle a permis d'identifier une augmentation progressive des impacts dans la zone d'étude, notamment en ce qui concerne les habitats et les infrastructures routières. Cette tendance souligne l'urgence de renforcer les mesures d'adaptation pour faire face aux inondations récurrentes. Pour les infrastructures routières, les résultats indiquent la nécessité d'adopter des matériaux plus résistants aux inondations, construire les caniveaux et entretenir ceux existants, et de développer des itinéraires alternatifs pour minimiser l'impact des inondations sur la mobilité urbaine. Ces recommandations s'inscrivent dans les stratégies de résilience urbaine prônées par la Banque Mondiale à travers le projet PILIER financé par IDA (Association Internationale de Développement) et d'autres institutions engagées dans la lutte contre les effets de la variabilité climatique.

Conclusion

Cette étude nous a permis d'établir une cartographie précise des zones inondées de la ville de N'Djamena, mettant en évidence les dynamiques d'extension et de concentration des phénomènes d'inondation. En combinant les données de télédétection, les analyses par les Systèmes d'Information Géographique et une approche spatiale croisée, nous avons pu identifier les zones les plus vulnérables et quantifier les impacts des inondations sur les infrastructures, les habitations et les terres agricoles.

Les résultats montrent que les zones résidentielles sont particulièrement exposées, avec 50 % des surfaces inondées, 85 % correspondant à des zones d'habitation. Les infrastructures routières ont également été fortement impactées, avec des dégâts variés entre 75km et 150km de routes de la ville de N'Djamena. Ces chiffres soulignent l'urgence d'une meilleure gestion des eaux pluviales et d'une planification urbaine plus résiliente.

Cette recherche offre des éléments prépondérants pour une meilleure planification urbaine et la mise en place des mesures de résilience face aux inondations récurrentes. Dans la ville de N'Djamena, il est impératif de renforcer les digues de protection et de les stabiliser, protéger les

berges du Chari et Logone, construire les canaux de drainage afin de limiter l'impact des débordements des cours d'eau et des bassins de rétention. L'accent doit être mis sur l'amélioration des systèmes de drainage existants et la mise en place de zones tampons naturelles, telles que des bassins de rétention et des espaces verts absorbants, la protection des berges du Chari et du Logone.

L'étude sur la vulnérabilité de population et impacts des inondations dans la ville de N'Djamena à travers une cartographie des enjeux et évaluation des dégâts dans la ville de N'Djamena contribue à une meilleure compréhension des impacts des inondations dans les villes africaines situées aux abords des fleuves. Les résultats obtenus offrent des éléments essentiels pour la planification urbaine et la mise en place de stratégies d'adaptation face aux inondations récurrentes. Cependant, des efforts doivent être poursuivis pour améliorer la résolution des données, affiner les modèles prédictifs et intégrer davantage de paramètres socio-économiques (en prenant en compte le genre, l'égalité de sexe) pour une évaluation plus précise des risques d'inondation.

Cependant, la collaboration entre chercheurs, décideurs politiques et citoyens s'avère primordiale pour traduire ces résultats en actions concrètes et ainsi minimiser les impacts socio-économiques des catastrophes naturelles liées à la variabilité climatique sur cette ville vulnérable.

Bibliographie

- CIESIN, 2018, *Gridded Population of the World (GPW)*, Center for International Earth Science Information Network. 32 p
- Djimta, R., 2024, *Cartographie des zones à risque d'inondation de la ville de N'Djamena : apport de la télédétection et des systèmes d'information géographiques*, Mémoire de recherche. 121 p
- Dombor, M. B. S., 2020, *Morphologie, occupation du sol et inondations dans la ville de N'Djamena (Tchad)*, Edilivre, Paris, 284 p.
- GIEC (IPCC), 2021, *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge. 121 p
- Haklay, M. et Weber, P., 2008, « OpenStreetMap: User-Generated Street Maps », *IEEE Pervasive Computing*, vol. 7, n° 4, p. 12-18.
- Jha, A. K., Bloch, R. et Lamond, J., 2012, *Cities and Flooding: A Guide to Integrated Urban Flood Risk Management for the 21st Century*, World Bank Publications, Washington D.C., 638 p.
- Kettner, A. J., Brakenridge, G. R. et Schumann, G. J.-P., 2018, « The role of remote sensing in flood monitoring and management », dans Schumann G.J.-P. (dir.), *Flood Monitoring through Remote Sensing*, Springer, Cham, p. 1-22.
- Labaly, T., Touré, N. et Diop, A., 2024, « Cartographie des zones inondées par télédétection et SIG : cas de Saint-Louis et Abidjan », *Revue de Géomatique Appliquée*, vol. 12, n° 3, p. 45-60.
- Leulmi, L., 2025, *Défis des risques d'inondation : résilience urbaine en question, cas de la ville de Skikda*, Thèse de doctorat, Université du 08 Mai 1945 Guelma, 328 p.
- Longley, P., Goodchild, M., Maguire, D. et Rhind, D., 2015, *Geographic Information Systems and Science*, 4e éd., Wiley, Chichester.
- Man-na Djang-Rang, 1998, *Impacts environnementaux et sociaux des inondations à N'Djamena*, Thèse de doctorat. 436p
- Microsoft, 2021, *OpenBuilding*, Microsoft Corporation.15 p
- OCHA, 2021, *Rapports sur les inondations au Tchad*, Bureau de la coordination des affaires humanitaires des Nations Unies. 8 p
- Pekel, J.-F., Cottam, A., Gorelick, N. et Belward, A. S., 2016, « High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes », *Nature*, vol. 540, n° 7633, p. 418-422.
- Romarc, D., 2021, *Variabilité climatique et problématique des inondations dans les villes de N'Djamena (cas du 1er arrondissement) et de Kousséri*, Mémoire de Master en climatologie, Université de Dschang, 160 p.

- Schumann, G. J.-P., Brakenridge, G. R., Kettner, A. J., Kashif, R. et Niebuhr, E., 2018, « Assisting flood disaster response with Earth observation data and products: A critical assessment », *Remote Sensing*, vol. 10, n° 8, article 1230.
- Sy, B., Frischknecht, C., Dao, H. et Consuegra, D., 2016, « Flood risk assessment in West Africa: Challenges and opportunities », *Natural Hazards*, vol. 83, n° 1, p. 1-18
- Tamdjim, R., 2020, *Risque d'inondation dans la ville de N'Djamena (Tchad)*, Thèse de doctorat. 453p
- UNDP, 2019, *Climate Adaptation in Africa*, Programme des Nations Unies pour le Développement. 67 p
- UNDRR, 2021, *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2021*, Genève, 312 p.
- UN-Habitat, 2014, *The State of African Cities 2014: Re-imagining Sustainable Urban Transitions*, Nairobi, 256 p.
- WMO, 2021, *State of the Climate in Africa 2021*, Genève, 58 p.
- World Bank, 2022, *Chad Climate Risk Profile*, Washington D.C., 32 p.