

CARTOGRAPHIE DES RISQUES D'INONDATION DANS LE BASSIN VERSANT DU SYSTEME CHARI-LOGONE : UNE ANALYSE A TRAVERS LA VILLE DE N'DJAMENA (TCHAD)

Romaric DJEDANOUM¹, YOUTA HAPPI Joseph², NDOMASSEL MBAINAYEL Casimir³, KISSAITOUIN ABLAO Akrod⁴

¹Université de Yaoundé I, Département de Géographie¹, romaricdjedanoum@gmail.com

²Université de Yaoundé I, Département de Géographie², youtahappi@yahoo.fr

³Université de Doba, Département de Géographie, Casimirmbainayel@gmail.com

⁴Université de N'Djamena, Département de Géographie, kissaitouinablao@gmail.com

Résumé

Les villes africaines sont soumises aux menaces climatiques extrêmes durant cette dernière décennie. Les inondations en sont les effets directs de la variabilité climatique, qui se font le plus ressenties généralement au Tchad et plus particulièrement dans le bassin versant du Chari-Logone. Les recherches sur la recrudescence des inondations sont primordiales pour les décideurs au niveau des collectivités territoriales, d'autant plus qu'elles fournissent des données précises et fiables permettant d'anticiper ou d'atténuer leurs effets induits. Cet article vise à identifier les zones à risque d'inondation dans la ville de N'Djamena où les mesures d'atténuation et de protection doivent être prioritaires. Pour atteindre cet objectif, une analyse multicritère combinant les facteurs de la pluviométrie, de la pente, d'altitude, des sols, d'occupation du sol et du réseau hydrographique dans un environnement de système d'information géographique (SIG) a été utilisée. Les résultats obtenus montrent quatre niveaux de risque à savoir : (1) un risque faible occupant 475,79 km², soit 26 % de la superficie du bassin ; (2) un risque moyen occupant 723,33 km², soit 40 % de la superficie, (3) un risque fort occupant 390,86 km², soit 22 % et (4) un risque très fort, occupant 213,08 km² du bassin, soit 12 %. Pour ce qui concerne l'analyse de la vulnérabilité, il ressort que 7 quartiers/arrondissement se trouvent dans une zone à risque très fort, 25 dans un risque fort, 15 dans une zone à risque moyen et 19 dans une zone à risque faible.

Mots-clés : *Inondations, variabilité climatique, bassin versant, système chari-logone, ville de N'Djamena*

Flood risk mapping in the Chari-Logone watershed: an analysis through the city of N'Djamena

Abstract

African cities have been increasingly exposed to extreme climate hazards over the last decade. Flooding is one of the most direct consequences of climate variability and is particularly severe in Chad, especially within the Chari-Logon watershed. Research on the increasing occurrence of floods is essential for decision-makers at the local government level, as it provides accurate and reliable data that can help anticipate or mitigate their impacts. This study aims to identify flood-prone areas in the city of N'Djamena where mitigation and protection measures should be prioritized. To achieve this objective, a multicriteria analysis was carried out using rainfall, slope, elevation, soil characteristics, land use, and the hydrographic network within a Geographic Information System (GIS) environment. The results reveal four levels of flood risk: (1) low risk, covering 475.79 km², representing 26% of the watershed area; (2) moderate risk, covering 723.33 km², or 40% of the total area; (3) high risk, covering 390.86 km², representing 22%; and (4) very high risk, covering 213.08 km², accounting for 12% of the watershed area. Regarding vulnerability analysis, the findings indicate that 7 districts/boroughs are located in very high-risk zones, 25 in high-risk zones, 15 in moderate-risk zones, and 19 in low-risk zones.

Keywords: *Flooding, climate variability, watershed, Chari-Logon system, N'Djamena*

Introduction

L'expansion démographique et les menaces climatiques sont les problèmes des pays en voie de développement, la recrudescence des inondations est devenue une problématique importante. A l'échelle planétaire, les inondations comptent parmi les phénomènes naturels les plus fréquents, les plus dangereux et les plus destructeurs. Le monde a été témoin de 16 grandes catastrophes dans les années 1960, de 29 dans les années 1970, de 70 dans les années 1980 et de 960 dans les années 2010 Romaric (2021). Une tendance à la hausse qui se poursuit aujourd'hui. Du 1^{er} janvier 2001 au 31 décembre 2020, 18 142 catastrophes naturelles ont été recensées dans le monde soit en moyenne 907 événements par an. Celles-ci ont en effet entraîné de façon directe ou indirecte la mort de 1354792 personnes et occasionnant un coût estimé à 3443 milliards de \$ de dommages. De toutes ces catastrophes qui frappent l'Afrique Subsaharienne, les inondations et les sécheresses tiennent la dragée haute, aussi bien en nombre, en fréquence, en victimes humaines qu'en pertes économiques. Elles constituent 80% des catastrophes naturelles du XXe siècle. Les travaux de Djebé(2007,2020), Tob-ro(2015) et Gouataine(2023) convergent vers l'idée que les inondations à Ndjamena résultent à la fois des facteurs naturels (fortes pluies, crues du Chari et du Logone, relief plat) et des facteurs anthropiques. Comment anticiper les zones à risque d'inondation ? Comment évaluer et déterminer le degré de risque associé à ces zones ? Cet article vise à étudier les risques d'inondation dans la ville de N'Djamena à l'aide du logiciel Arcgis. L'objectif principal est d'exploiter diverses données disponibles et de créer des cartes intermédiaires grâce à des méthodes spécifiques. Ces cartes serviront à établir une carte finale des zones à risque d'inondation, afin d'aider à la prévention et à la gestion des inondations.

1. Méthodologie

1.1. Présentation de la zone d'étude

Le bassin versant du Chari-Logone, situé au centre-ouest du Tchad, entre les villes de N'Djamena(Tchad) et de Kousséri(Cameroun), est l'un des cours d'eau qui alimente le Lac Tchad. Il tire son nom de ces deux cours d'eau permanent au Tchad, le Chari sur la rive droite et le Logone sur la rive gauche. Le système Chari-Logone constitue le principal exutoire des eaux de bassin. Il est long de 30km avec un débit variant entre 3,5 et 15 m³/s dans l'année. Le bassin versant du Chari-Logone est situé entre les méridiens 4°0'00" et 4°40'00" de longitude Ouest d'une part et les parallèles 11°00'00" et 11°30'00" de latitude nord d'autre part. Il couvre une superficie de 1 803 Km² et est partagé entre le Tchad et le Cameroun en l'occurrence : la ville de N'Djamena et celle de Kousséri. La situation géographique de la zone d'étude est présentée à la Figure(1).

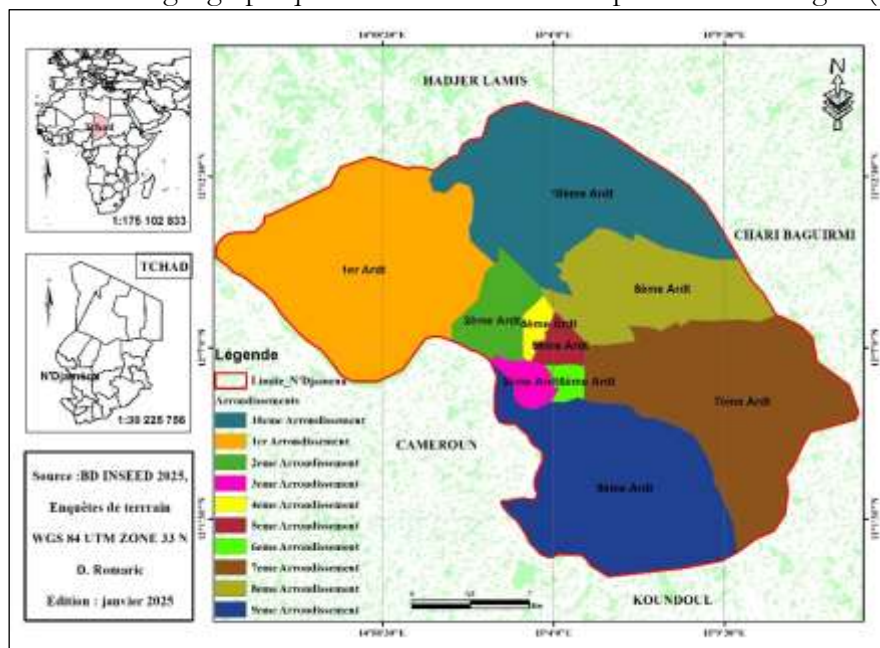


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

1.2. Données utilisées

Dans le cadre de cette recherche, les données utilisées sont celles géographiques de sept paramètres notamment : la pluviométrie, la pente, l'altitude, l'indice topographique d'humidité, les types de sols, l'occupation du sol et la distance par rapport au drainage.

Tableau I : Données utilisées

Carte	Données de base	Source	Résolution
Pente	DEM	SRTM	30m
Perméabilité (sol)	Texture du sol	Carte pédologique et MCD	----
Densité hydrologique	Réseaux hydrographiques	----	----
Occupation du sol	Image géo.tiff	Sentinel 2	10m
Isohyète	Données pluviométriques	NASA	----

Source : Rahmati Omid (2019, 2021,2023)

Ce tableau montre les techniques d'analyse multicritère couplée aux SIG pour la cartographie des zones inondables. A travers ce tableau, différentes analyses seront réalisées sur la cartographie des zones inondables afin d'évaluer leur vulnérable.

Tableau II : Notation et Pondération

Paramètre	OCS	P	T	H (Km)
Poids notes	2	1	0,5	1
1	Arbres	Perméable	0-10	Boutas
2	Oliviers	Semi perméable	10-20	Chari-Logone
3	Céréales et cultures maraîchères	Imperméable	20-30	
4	Sols nus		30-40	
5	Zones urbaines		>40	
6	Surface d'eau			

Source : Rahmati Omid (2019, 2021,2023)

Le tableau II présente la notation et la pondération des paramètres. Chaque paramètre est évalué par rapport un poids qui équivaut à une variable. C'est sur la base de ce tableau (II) que les cartes ont été réalisées. Ainsi, nous avons :

- **Carte de vulnérabilité :**

La carte de vulnérabilité a pour objectif de ressortir les zones par rapport au degré de leur sensibilité aux inondations. Ainsi, les zones plus vulnérables sont représentées en rouge et sont généralement à côté des fleuves Chari et Logone. En jaune, ce sont les zones moyennement vulnérables aux inondations et en vert, il s'agit des zones généralement moins exposées aux risques d'inondation. Estimation de vulnérabilité à l'inondation en utilisant la formule suivante :

$$\text{Vulnérabilité} = 3,8T + 3P + 2,6H$$

Avec :

-T : Pente du terrain

-P : Perméabilité du sol

-H : Réseaux hydrographiques

- **Carte d'aléas**

Elle met en évidence la susceptibilité des zones aux risques d'inondation. Le rouge et l'orange signifient que l'aléa est fort, le jaune représente l'aléa moyen et le vert traduit un aléa faible.

$$\text{Aléas} = 3,8OCS + 3,3PV$$

Avec :

OCS : Occupation du sol

PV : Isohyètes

Tableau III : Différentes classes de la vulnérabilité des inondations

Intervalle	Degré de vulnérabilité
1-15	Faible
15-21	Moyenne
21-40	Forte

Source : D. Romaric, 2024

- **Carte de risque**

Le risque d'inondation s'évalue par le croisement des cartes de vulnérabilité et celle d'aléas aux inondations. La carte du risque est établie par la formule suivante :

$$\text{Risque} = \text{Vulnérabilité} * \text{Aléas}$$

2. Résultats

2.1. Un site vulnérable

La ville de N'Djamena constitue un site vulnérable aux inondations à travers l'étude de plusieurs facteurs. Il s'agit de :

- ✚ **Pente**

C'est un facteur très passif des inondations mais qui accélère le ruissellement quand l'inclinaison est accentuée et favorise la concentration des eaux lorsqu'elle est faible. La carte des pentes de la zone d'étude a été construite à partir du modèle numérique de terrain (MNT tiré du SRTM 30 m de 2020 sur Earth Explorer). La figure ci-après montre les différents degrés de pente du bassin versant du Chari-Logone.

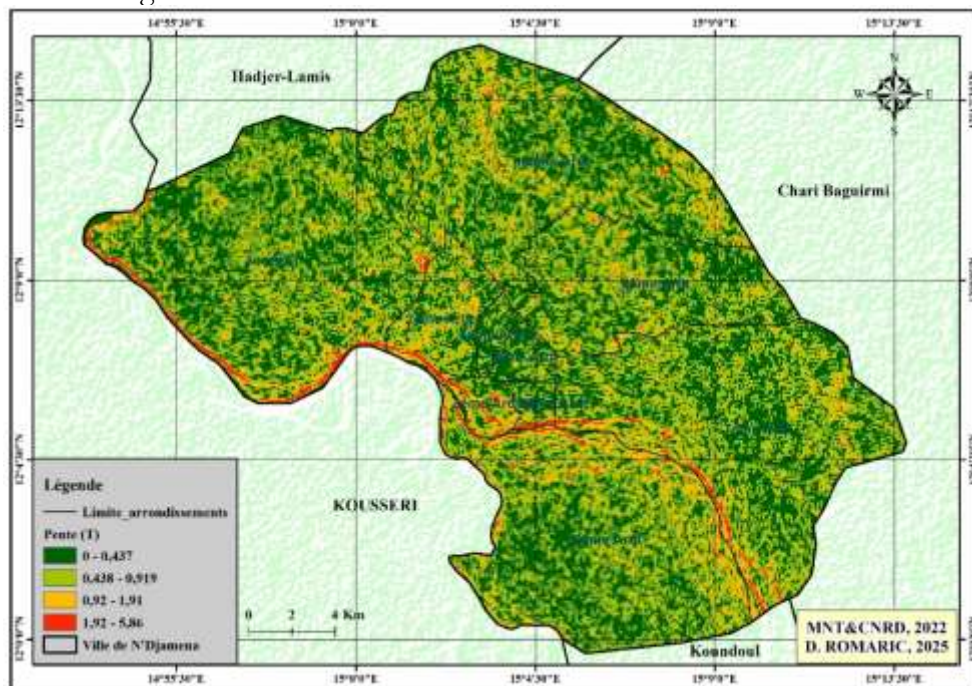


Figure 2 : Cartographie de la pente

L'analyse de la carte de pente présente que le bassin versant du Chari-Logone est bâti sur un terrain moyennement élevé. Les pentes varient entre 0° à 2°. Les zones en marron représentent les endroits de fortes pentes. La couleur jaune dominante traduit une homogénéité des valeurs de pente sur l'ensemble du Bassin versant. Le site favorise donc les concentrations des eaux, exposant ainsi le bassin versant aux risques d'inondation.

✚ Perméabilité du sol

La perméabilité est classée selon la texture du sol en trois classes :

- Perméabilité forte : se trouve principalement dans les zones sableuses ou graveleuses ;
- Perméabilité moyenne : se trouve à la zone de transition entre la perméabilité forte et celle faible ;
- Perméabilité faible : se trouve dans les zones argileuses où l'eau s'infiltré très difficilement.

Les types des sols et leur distribution spatiale joue un rôle majeur dans la genèse des inondations. Ainsi, l'inondation naturelle d'un milieu donné se produit lorsque l'eau est en excès et ne peut plus être évacuée. Parmi les principaux types d'inondation, on note la stagnation ou ruissellement des eaux pluviales par capacité insuffisante d'infiltration et de drainage des sols lors de pluies exceptionnelles.

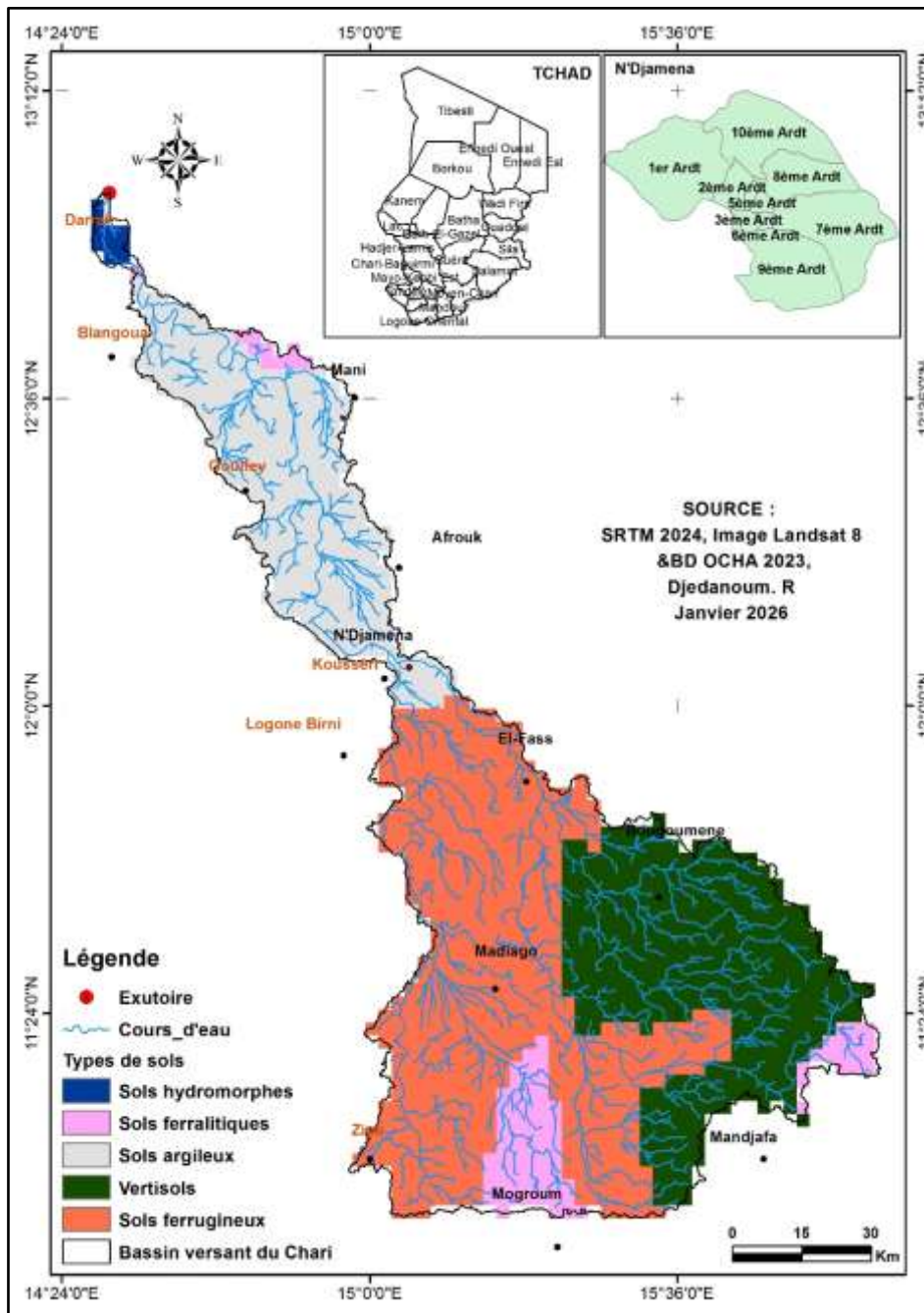


Figure 3 : Typologie des sols

📍 Réseaux hydrographiques

Il s'agit d'une carte qui représente la répartition de l'eau sur une surface donnée. Elle indique les zones où l'eau est plus ou moins abondante, généralement à travers un réseau hydrographique (cours d'eau, rivières, lacs). Plus la densité est élevée, plus la zone est riche en eau.

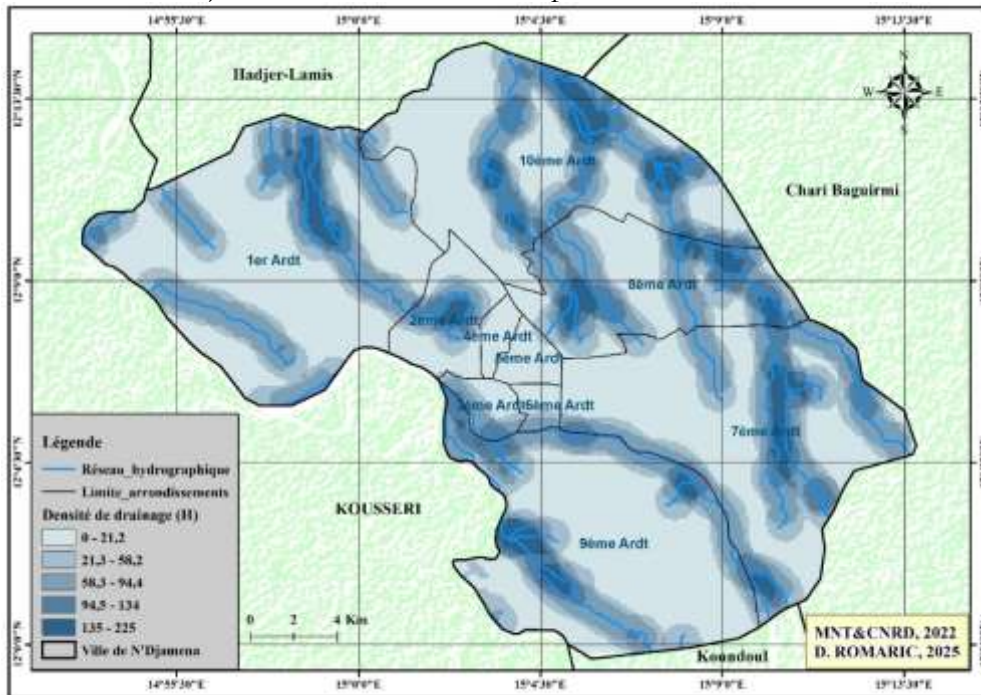


Figure 4 : Réseau hydrographique

La carte de densité de drainage de la ville de N'Djamena présente cinq zones allant de 0 à 225m. Tous les arrondissements excepté les 4^{èmes} et 5^{ème} arrondissement présentent les densités faibles. Les autres arrondissements se classent parmi les densités de drainage moyennes et élevées.

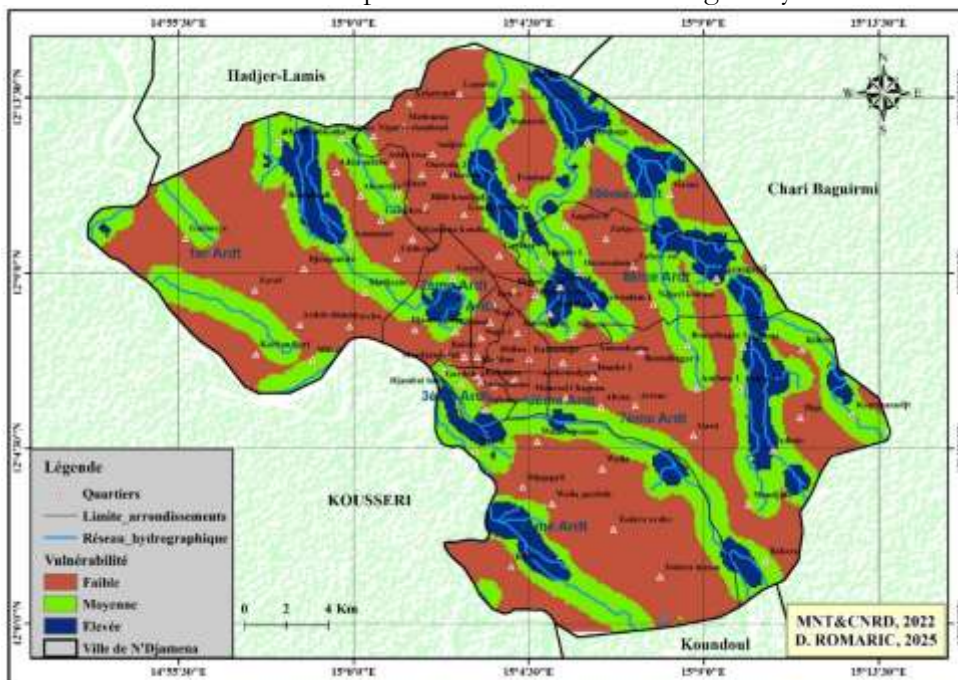


Figure 5 : Carte de vulnérabilité de la ville de N'Djamena

La figure (5) présente la vulnérabilité des arrondissements de la ville de N'Djamena. Ainsi, il ressort de cette carte que tous les quartiers sont vulnérables aux inondations mais selon le degré. En effet, les quartiers situés dans les zones en marron ont une vulnérabilité faible, ceux en vert sont dans un

état de vulnérabilité moyenne et les quartiers situés dans la zone en bleu présente une vulnérabilité élevée. Les ménages ayant une vulnérabilité moyenne et élevée sont situés soit proche des cours d'eau ou soit sur le passage d'eau. C'est ce qui aggrave le risque d'inondation dans la ville de N'Djamena.

2.2. Carte d'aléas

La carte d'aléas met en évidence la susceptibilité des zones aux risques d'inondation. Le rouge et l'orange signifient que l'aléa est fort, le jaune représente l'aléa moyen et le vert traduit un aléa faible.

$$\text{Aléas} = 3,8\text{OCS} + 3,3\text{PV}$$

Avec :

OCS : Occupation du sol

PV : Isohyètes

Occupation du sol

C'est une carte qui sert à voir les différentes utilisations du sol (végétation, sol nu, bâtis, plan d'eau, cultures, etc.). Elle est reclassifiée en 5 classes selon les notes données.

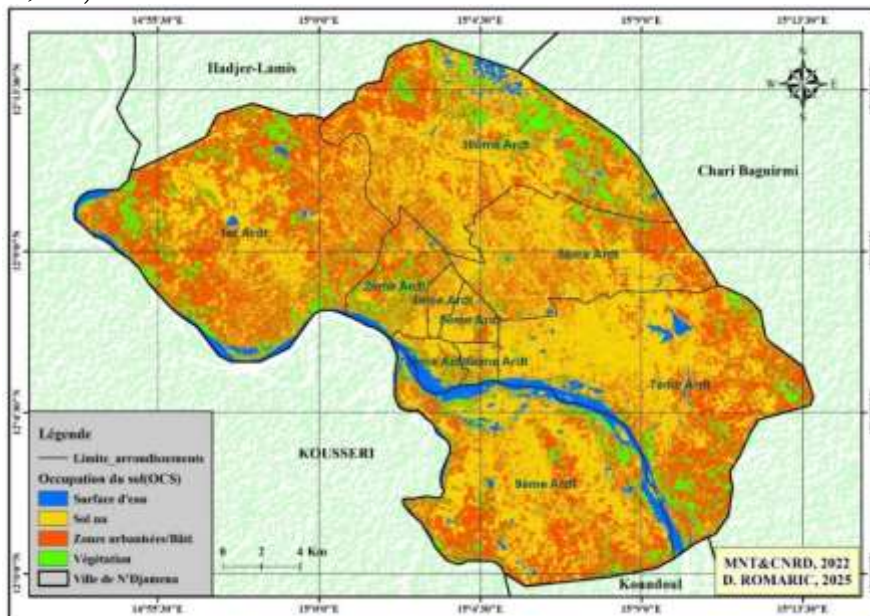


Figure 6 : Carte d'occupation du sol de la ville de N'Djamena

La carte d'occupation de la ville de N'Djamena nous révèle principalement que :

- Bâti ;
- Présence de la végétation ;
- Surfaces d'eau ;
- Sols nus.
- Précipitations.

Carte de précipitations (les isohyètes)

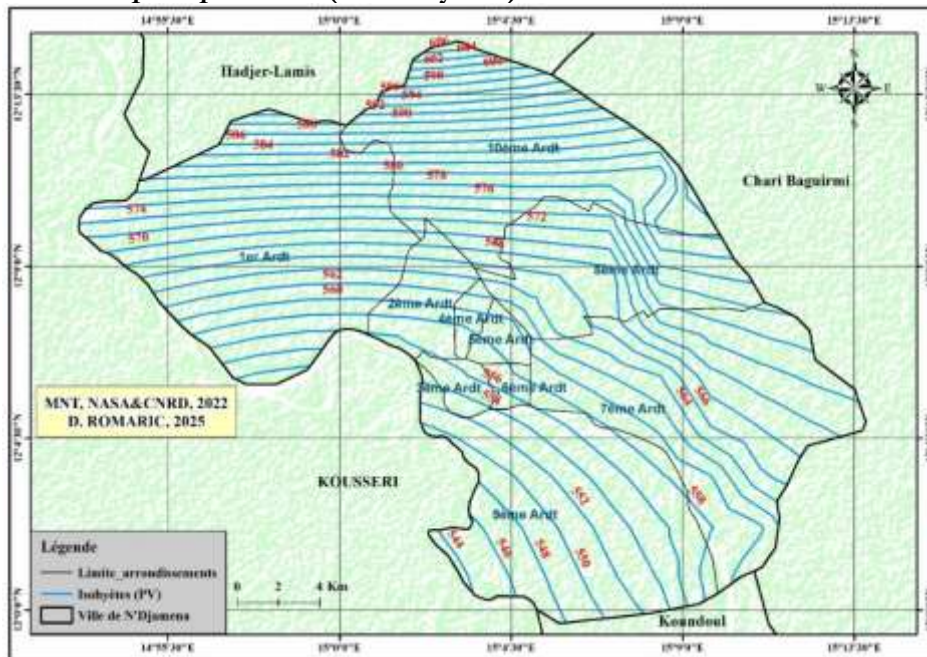


Figure 7 : Carte des isohyètes

Généralement, les précipitations constituent le principal facteur déclencheur des inondations et plus spécifiquement, ce sont surtout les précipitations journalières qui en sont les plus concernées (D. Romaric, 2021, p89). En effet, il n'y a pas inondation lorsque les pluies connaissent une bonne répartition sur toute l'année. Par contre, lorsqu'elles tombent en une seule journée l'équivalent d'un mois ou même parfois d'une année, il est inévitable qu'une inondation survienne. Ce paramètre a été exprimé à l'aide de l'indice¹ de Fournier modifié, qui est la somme de l'intensité mensuelle moyenne des précipitations enregistrées par les stations pluviométriques. Les valeurs du paramètre de l'intensité des précipitations se distinguent par cinq classes, comme indiqué dans la figure (7).

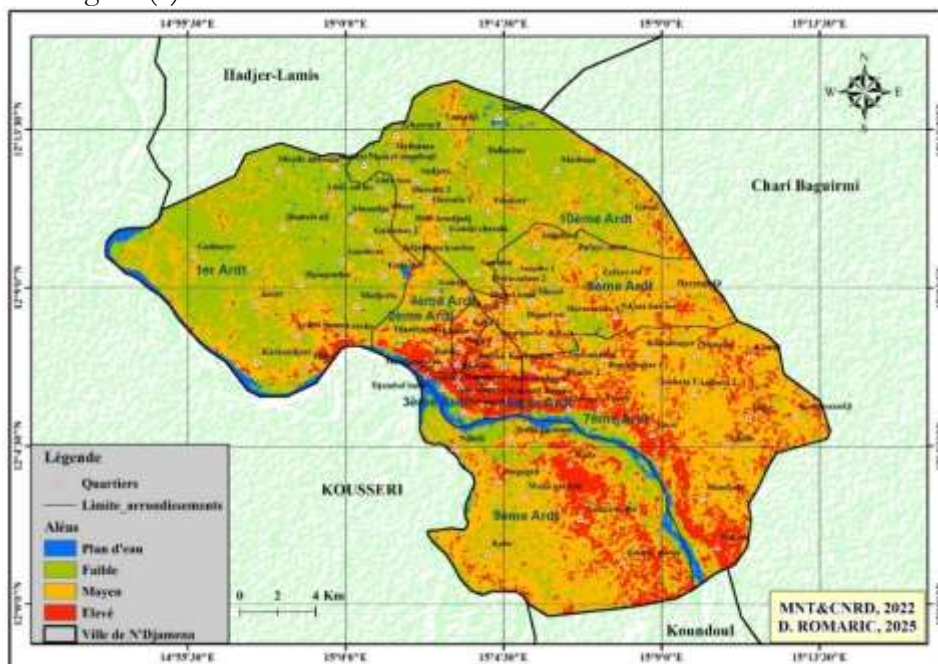


Figure 8 : Carte d'aléas de la ville de N'Djamena

La carte d'aléas de la ville de N'Djamena présente trois niveaux d'aléas à savoir l'aléa faible, l'aléa moyen et l'aléa élevé. Le 2^{ème}, 3^{ème}, 4^{ème}, 5^{ème}, 7^{ème} et le 9^{ème} arrondissement se situent les zones des aléas élevés, très exposés aux inondations.

2.3. Carte des risques d'inondation

Le risque d'inondation s'évalue par le croisement des cartes de vulnérabilité et celle d'aléas aux inondations.

$$\text{Risque} = \text{Vulnérabilité} * \text{Aléas}$$

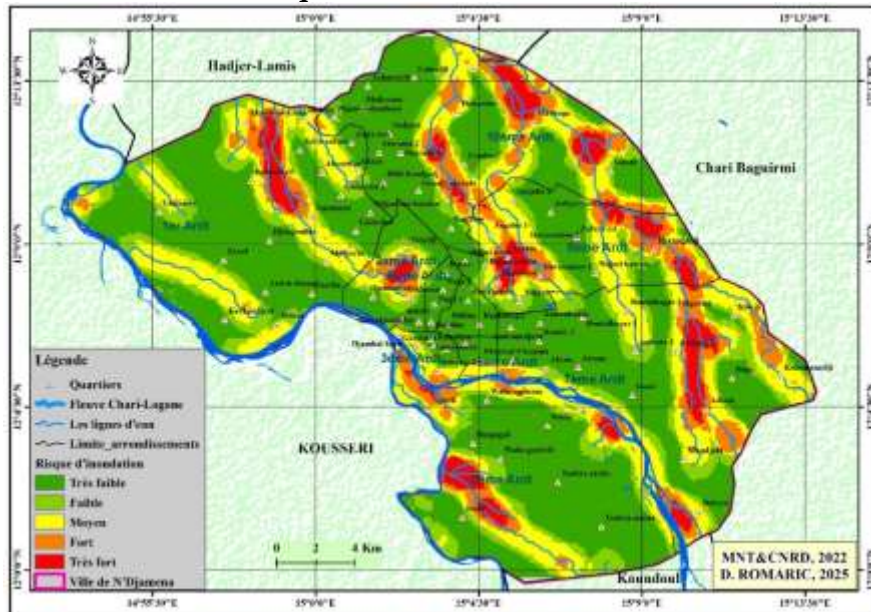


Figure 9 : Risque d'inondation dans la ville de N'Djamena

Les zones en rouge représentent les risques d'inondation très élevés (très fort), il s'agit ici des zones battues caractérisées par un sol peu imperméable et de pente moyenne.

- Rouge : risque d'inondation très fort ;
- Orange : risque d'inondation fort ;
- Jaune : risque d'inondation moyen ;
- Vert clair : risque d'inondation faible ;
- Vert foncé : risque d'inondation très faible.

En effet, ces paramètres pris isolément ne suffisent pas pour comprendre l'aléa global de la zone d'étude. Une superposition par pondération différentielle s'avère donc nécessaire (Rahmati Omid 2019, 2021, 2023). Ainsi, la contribution de ces paramètres à la cartographie globale de l'aléa présente des différences. Aussi, la hiérarchisation des poids est fonction de l'importance de chaque facteur/paramètre dans la genèse des inondations :

- la pluviométrie : elle constitue le principal facteur déclencheur des inondations mais, il faut la conjugaison d'autres facteurs catalytiques ;
- la pente : c'est un indicateur qui favorise la stagnation des eaux sur les pentes faibles et leur écoulement rapide sur les pentes fortes. Des coefficients élevés sont donc affectés aux classes de pente très faible ;
- les types de sols : par le manque d'absorption de l'eau par les sols est l'une des principales causes de la recrudescence des inondations ;
- l'occupation du sol : il s'agit ici d'un facteur favorisant ou/et aggravant les inondations. La couverture végétale favorise en général l'infiltration, tandis que les zones de cultures permettent à l'eau de s'écouler en plus grande quantité sous forme de ruissellement de surface. Aussi, l'imperméabilisation des sols par des aménagements urbains (pavés, routes, parkings, toitures, etc.) favorise-t-elle le ruissellement de surface et conduit à une montée plus rapide des eaux ;

- le réseau hydrographique : les débordements de rivières peuvent également déclencher une inondation. C'est une pratique courante dans le bassin versant du Chari-Logone.

En résumé, on conclut qu'il y'a trois (3) niveaux de risques d'inondation dans la ville de N'Djamena : le risque faible, le risque moyen et le risque élevé.

3. Discussion

Les résultats de la cartographie des risques d'inondation dans le bassin versant du système Chari-Logone, appliqués à la ville de N'Djamena, mettent en évidence une forte vulnérabilité des zones urbaines situées dans les secteurs de faible altitude et à proximité des cours d'eau. Cette situation s'explique à la fois par des facteurs naturels, notamment la topographie, la nature des sols et la dynamique hydrologique du système Chari-Logone, ainsi que par des facteurs anthropiques liés à l'urbanisation rapide et souvent non planifiée. Les zones identifiées comme présentant un risque élevé correspondent aux espaces faiblement drainés et aux dépressions naturelles qui favorisent l'accumulation des eaux de ruissellement. Ces résultats rejoignent ceux de Romain Gouataine S. (2023) et Tob-ro N. (2015) qui soulignent que N'Djamena est localisée dans une vaste plaine inondable où les épisodes pluviométriques extrêmes, associés à un faible capacité d'évacuation des eaux, accentuent la fréquence des inondations urbaines. Selon cet auteur, la variabilité climatique observée depuis plusieurs décennies contribue à l'augmentation des événements hydrologiques extrêmes dans la capitale tchadienne. Par ailleurs, les résultats obtenus confirment le rôle déterminant de la dynamique hydrologique du système Chari-Logone dans la genèse des inondations. Les travaux de Djasrabé N. (2020) montrent que les fluctuations des débits du Chari et du Logone influencent directement les risques de débordement observés à N'Djamena. L'analyse des séries hydrologiques révèle une recrudescence des événements extrêmes, même durant des périodes qui ne correspondent pas nécessairement aux années les plus humides, démontrant ainsi que les facteurs de vulnérabilité territoriale jouent un rôle essentiel dans la construction du risque. L'importance des facteurs anthropiques ressort également de cette étude. L'expansion urbaine rapide de N'Djamena a entraîné l'occupation progressive des zones naturellement inondables, réduisant les espaces de rétention des eaux et augmentant l'exposition des populations. Les observations de Mahamat N. A. et collaborateurs montrent que l'urbanisation anarchique, associée à l'imperméabilisation croissante des sols et à l'insuffisance des infrastructures de drainage, constitue un facteur majeur d'aggravation des inondations dans plusieurs arrondissements de la ville. Les résultats obtenus corroborent également les constats effectués par Djebé (2020) dans ses travaux sur les risques environnementaux au Tchad. L'auteur met en évidence l'influence des caractéristiques géomorphologiques et de l'occupation du sol dans l'intensification des phénomènes de ruissellement et d'érosion, facteurs qui contribuent indirectement à l'augmentation du risque d'inondation dans les espaces urbains.

Conclusion

Dans le bassin versant du Chari-Logone, la cartographie du risque d'inondation a permis de faire ressortir les facteurs déterminants que sont l'intensité pluviométrique, l'occupation du sol, la distance par rapport au réseau de drainage et au zone humide, les types de sols, la pente et l'altitude. Ces résultats ont indiqué que, 12 % de la superficie du bassin versant du Chari-Logone se trouvent dans une zone à risque d'inondation très fort, 22 % dans une zone à risque fort, 40 % dans une zone à risque moyen et 26 % dans une zone à risque faible. Les zones à risque d'inondation très fort à fort se concentrent le long des cours d'eau du bassin versant du Chari-Logone. Il est caractérisé par le développement d'intenses activités agricoles et d'élevage, la carte des risques d'inondation fournie, peut donc être utilisée pour la prévention des inondations, l'adaptation des stratégies d'atténuation et/ou des mesures de protection.

Bibliographie

- Adbaye Béal Pureté, 2016, Dynamique de l'occupation du sol et risques d'inondation dans la ville de N'Djaména, 321-354p
- Agence Nationale de la Météorologie, 2024, rapport de 2024, 4p
- Bhavnani, R., & Vordzorgbe, S., 2008, Rapport sur l'état de la réduction des risques de catastrophes en Afrique subsaharienne. Commission of the AU, UN/International Strategy, p. 453-478
- Burton, I., Kates R., Gilbert, W. & White, F., 1978, The Environment as Hazard. New York: Oxford University Press, 240p.
- Dacosta, H., 1989, Précipitations et écoulements sur le bassin de la Casamance. Thèse de Doctorat 3ème cycle en géographie de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar, avec la collaboration de l'ORSTOM, 283 p.
- Dauphiné, A., 2003, Risques et catastrophes. Observer, spatialiser, comprendre, gérer. Paris : Armand Colin (Coll. «U-Géographie»), (ISBN 2-200-26583-2) 288 p.
- DEDANOUM ROMARIC, 2021, Variabilité climatique et problématique des inondations dans les villes de N'Djaména (cas du 1^{er} Arrondissement) et de Kousséri, Mémoire de Master Recherche en Climatologie, Université de Dschang, 160p
- Direction des Ressources en Eau, 2022, rapport sur les débits d'eau du Chari, 43p
- Direction Générale de la Météorologie Nationale, 2020, Bulletin N°13 Agro météorologique, Décadaire, Tchad, 2 p.
- Djimta Raoul, 2024, Cartographie des zones à risque d'inondation de la ville de N'Djaména, apport de la télédétection et des systèmes d'information géographiques. 132 p
- Dombor, M. B. S., 2020, Morphologie, occupation du sol et inondations dans la ville de N'Djaména (Tchad), Edilivre 284 p
- Gouataine, 2023, Analyse de la résilience des populations face aux inondations récurrentes. 123-139p
- LEULMI Lamia, 2025, Défis des risques d'inondation : résilience urbaine en question cas de la ville de Skikda, Thèse de Doctorat de l'Université du 08 Mai 1945 Guelma. 328 p
- PAYANG Prosper, Problématique de la gestion des inondations dans le 7^{ème} Arrondissement de la ville de N'Djaména, Mémoire de Master Recherche, Université de Dschang, (2021), 140p
- Reghezza, 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, 262p.
- Saaty, 1980, The analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Ressource, Journal of Mathematical Psychology, n°23, pp. 281-343.
- Sainbé M.B, 2011, Morphologie, occupation du sol et inondation dans la ville de N'Djaména(Tchad), Thèse de Doctorat de l'Université. 432 p
- Sidiki GUELBEOGO et Lucien OUEDRAOGO, 2020, Cartographie des risques d'inondation dans le bassin versant du Kou au Burkina Faso, ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.net>
- Rahmati Omid, 2023, A scaling method for priorities in hierarchical structures. Journal of Mathematical Psychology, n°15, pp. 234-281.
- Tamdjim Raiknan, 2020, Risque d'inondation dans la ville de N'Djaména, Tchad, Thèse de Doctorat de l'Université. 432 p