

Land Use and Flood-Related Health Risks in the Moundou Watershed, Chad**Occupation du sol et risques sanitaires liés aux inondations dans le bassin versant de Moundou au Tchad****Dombor Djikoloum Dingao
Mbaguedje Diondoh
Ahmat Adam Ahmat
Mahamat Ali Mustapha****Article history:**

Submitted: June 18, 2026

Revised: July 29, 2026

Accepted: Aug. 2, 2026

Keywords:Land use, Flooding, Health risks,
GIS, Remote sensing, Urbanisation,
Moundou**Mots clés :**Occupation du sol, Inondations,
Risques sanitaires, SIG,
Télédétection, Urbanisation,
Moundou**Abstract**

This study analyses land-use dynamics and flood-related health risks in the city of Moundou. The main objective is to demonstrate the value of remote sensing and geographic information systems (GIS) in understanding the interactions between urbanisation, the environment and public health. The methodology is based on a holistic-systemic approach combining the analysis of Landsat satellite imagery (1990, 2005 and 2020), topographic data (SRTM), household surveys (489 households) and health data from health centres, supplemented by bacteriological analyses of water samples. The results reveal a rapid and unplanned expansion of urbanised areas, accompanied by a decline in natural and agricultural spaces and increasing encroachment into floodplains. This spatial transformation has led to land sealing; disruption of water flows and an increase in flooding. Flooding contributes to surface water pollution and water stagnation, thereby contributing to the spread of waterborne and vector-borne diseases. Analyses show, in particular, a high prevalence of diarrhoeal diseases, typhoid fever and malaria, as well as the presence of *Escherichia coli* in drinking water. Health risks in Moundou result from a complex interaction between urban dynamics, natural constraints and socio-economic vulnerability. There is therefore a need for integrated risk management based on urban planning, improved sanitation infrastructure and disease prevention.

Résumé

Cette étude analyse les dynamiques d'occupation du sol et les risques sanitaires liés aux inondations dans la ville de Moundou. L'objectif principal est de montrer l'apport de la télédétection et des systèmes d'information géographique (SIG) dans la compréhension des interactions entre urbanisation, environnement et santé publique. La méthodologie repose sur une approche holistico-systémique combinant l'analyse d'images satellitaires Landsat (1990, 2005 et 2020), des données topographiques (SRTM), des enquêtes ménages (489 ménages) et des données sanitaires issues des centres de santé, complétées par des analyses bactériologiques des eaux. Les résultats révèlent une expansion rapide et non planifiée des zones urbanisées, accompagnée d'une régression des espaces naturels et agricoles et d'une occupation croissante des zones inondables. Cette transformation spatiale a entraîné une artificialisation des sols, une perturbation des écoulements hydriques et une intensification des inondations. Les inondations favorisent la pollution des eaux de surface et la stagnation des eaux, contribuant à la prolifération de maladies hydriques et vectorielles. Les analyses montrent notamment une forte prévalence des maladies diarrhéiques, des fièvres typhoïdes et du paludisme, ainsi que la présence d'*Escherichia coli* dans les eaux de consommation. Les risques sanitaires à Moundou résultent d'une interaction complexe entre dynamiques urbaines, contraintes naturelles et vulnérabilité socio-économique. Il y a donc nécessité d'une gestion intégrée des risques fondée sur la planification urbaine, l'amélioration des infrastructures d'assainissement et la prévention sanitaire.

Uirtus © 2026

*This is an open access article under CC BY 4.0 license***Corresponding Author:****Dombor Djikoloum Dingao,**<https://orcid.org/0009-0005-1760-3179>

Ecole Normale Supérieure d'Abéché

Email: Dddombor@gmail.com

Introduction

La ville de Moundou est située dans le bassin versant de Wey (Figure 1) dans une plaine alluviale avec des caractéristiques hydro climatiques spécifiques des régions soudano-guinéennes. Cette ville subit des sécheresses et des fréquentes inondations dues aux changements climatiques (Mbaihadjim J. et Djebe 47). Elle connaît une forte croissance démographique. Cette accélération de la population est suivie d'une extension spatiale vertigineuse et de la pauvreté généralisée dans et autour » (Djangrang et al, 2011). Cette extension entraîne une occupation des zones inondables et s'en suit tous les risques qui y sont liés. Moundou est confrontée à d'énormes risques liés aux inondations, parmi lesquels les sanitaires. Cette communication a pour objectif principal de montrer, le potentiel de la Télédétection et du SIG d'une part pour la caractérisation d'état de l'occupation du sol et son évolution spatio-temporelle et d'autre part, pour analyser les risques sanitaires liés aux inondations.

1- Méthodologie

1.1-Présentation de la zone d'étude

Moundou est située au Sud-Ouest du Tchad (Figure 1), entre le 8°30' et 8°40' de Latitude Nord et le 16° et 16°10' de Longitude Est. Elle est située entre trois cours d'eaux notamment le Lac Taba au Nord, le fleuve Logone au Sud-Est et le Lac Wey à l'Ouest. Elle est le chef-lieu de la province du Logone Occidental et compte 24 quartiers. Située dans une vallée et jouissant d'un climat tropical semi-humide de type soudanien avec les précipitations annuelles comprises entre 800 à 1200 mm et une température moyenne annuelle de 27°C, la ville se voit constamment envahie par les eaux excédentaires de pluies et de fleuves. La saison sèche dure approximativement 5 mois (de novembre à fin mars) mais ses limites sont très variables. Ce climat est relativement favorable à l'agriculture. La saison humide (avril à octobre) est caractérisée par de fortes précipitations. Ainsi, ces fortes précipitations en saison pluvieuse l'exposent aux inondations souvent plus catastrophiques compte tenu de la présence des trois fleuves qui amplifient le phénomène par débordement. En effet, le débordement de ces fleuves en saison pluvieuse accentue les inondations des champs et des habitations. La population de la Commune de la ville de Moundou a cru de 100 000 habitants en 1993, à 187 000 habitants en 2010 avec une densité estimée à 82 hbt/ km²(RGPH2).

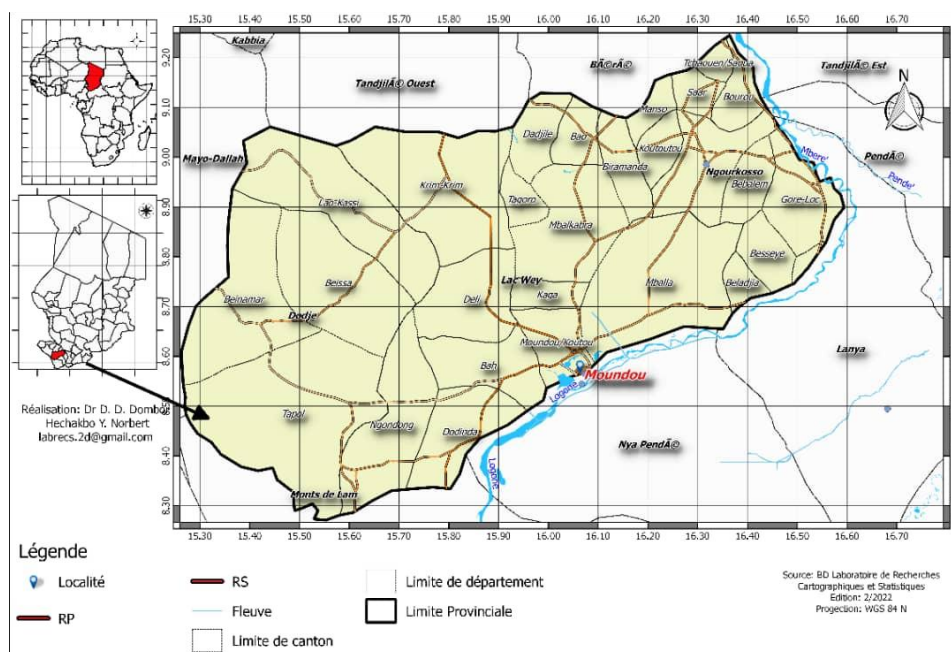


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

1.2- Méthodes et outils utilisés

1.3.1- Méthodes utilisées

La méthode utilisée pour cette recherche est la démarche holistico-systémique. Cette méthode intègre et combine l'espace (ou environnement), les populations et les institutions : d'où la notion de connectivité circulaire. Ainsi s'impose une approche « globale » et holistique qui suppose trois exigences : les interactions et la complexité des liens entre les éléments constitutifs de l'espace ; les enjeux de territorialité et de gouvernance ; les préoccupations économiques.

Cette méthode suppose une série de couches d'informations en relation avec l'exploitation et la mise en valeur de l'espace par les populations. On y trouve l'environnement physique, l'économie et l'emploi, les institutions étatiques, communautaires ou privées, les infrastructures et équipements, la législation, les us et coutumes, etc. Ces couches d'informations ont la particularité de se rapporter à l'espace, support des résidences et des activités des populations de façon dynamique et systémique. Ainsi, à travers le courant holistico-systémique basé sur le traitement automatique de l'information (informatique), les outils SIG qui ont pour vocation de rassembler, traiter, stocker et diffuser les données multi-sources, multi-dates et multi-formats

permettent de bien cerner les risques sanitaires liés aux inondations dans la ville de Moundou.

Collecte des données

Les images satellitaires (Landsat et SRTM), sont téléchargées de la banque de données image de l'United States Geological Survey (USGS) sur le site <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Les données sur la prévalence des maladies ont été aussi collectées dans les Rapports Mensuels d'Activité (RMA) des Centres de Santé (CS). Les informations recueillies auprès des ménages ont complété les données provenant des CS. Une série d'entretien avec les personnels de santé a été organisée. Sur la base de l'éclairage fourni par les informations portant sur les maladies liées aux inondations, un choix raisonné des quartiers à étudier a été fait. Dix quartiers enregistrant des inondations, ont été retenus pour l'enquête de terrain auprès des chefs de ménages (Cf. tableau n°1). Compte tenu de la spatialisation des inondations dans les quartiers, la taille de l'échantillon a été estimée au hasard. Cela a permis d'avoir un échantillon de 489 ménages (Tableau n°1).

Tableau n°1 : Répartition des ménages enquêtés par quartiers

N°	Quartiers	Nombre de ménages
1	Doyon	87
2	Dokab	51
3	Guelkol	48
4	Dombao	67
5	Djarabé 1	60
6	Djarabé 2	60
7	Quinze ans	23
8	Doumbour 1	39
9	Doumbour 2	36
10	Mbombaya	18
Total		489

Source : Enquêtes de terrain, janvier 2022.

L'enquête ménage a été réalisée à l'aide de questionnaires standardisés. Le questionnaire a porté sur les caractéristiques sociodémographiques, les conditions socio-économiques, les principaux problèmes de santé ressentis par les populations, la fréquence et la distribution des maladies liées aux

inondations et services d'assainissement. Le questionnaire était administré au chef de ménage. Les observations directes de terrains ont été faites et cela a permis de faire des prises de vues.

Des analyses bactériologiques portant sur la recherche des *Escherichia Coli* (E. Coli) ont été faites pour évaluer le niveau de contamination de l'eau de consommation. Ainsi, 24 puits ont été échantillonnés et analysés. Les puits testés ont fait l'objet de traitements antérieurs par l'UNICEF et font partie des quelque rares puits qui ne tarissent pas pendant la saison sèche.

1.3.2- Matériels utilisés

Trois images satellitales Landsat de 1990, 2005 et 2020 sont utilisées pour suivre l'évolution spatio-temporelle de l'occupation du sol. Ces images ont permis de discriminer les principales unités d'occupation de sol du site d'étude, avec 30 m de résolution spatiale et 11 bandes spectrales. Aussi les images SRTM utilisés y sont aussi téléchargées. Associées à ces images, sont utilisées des cartes géologique et topographique au 1/200 000 dans cette étude.

Un GPS a permis la prise des coordonnées des points de contrôle et la localisation des sites visités. Un bloc note, un appareil photo et une moto ont permis respectivement la prise de note, de vues et le déplacement au sein de la zone d'étude. Le traitement des images Landsat a été réalisé avec les logiciels ERDAS IMAGINE 2013 et QGIS 2.18.

1.3.3- Traitements des données

Analyse spatiale

L'analyse spatiale est effectuée à partir des quatre modèles de structuration géographique de l'espace d'étude ci-dessus présentés, suivant deux niveaux d'échelle. La première optimise les variations internes à une structure spatiale d'analyse et minimise les variations entre structures. La deuxième échelle plus sollicitée, minimise ou lisse les nuances internes à chaque structure spatiale d'analyse pour maximiser les variations entre structures.

La méthode adoptée débute par des prétraitements des données et des images (figure 2), puis la cartographie des principaux paramètres d'occupation du sol. Le prétraitement a consisté aux opérations de rehaussement du contraste (visant à rendre les images plus lisibles), à la fusion des différentes bandes et au découpage de l'image en fonction de la zone d'étude. Il consiste à géo-référencer, numériser les cartes, faire des corrections radiométriques et

atmosphériques, faire la mosaïque d'images et les corrections géométriques.

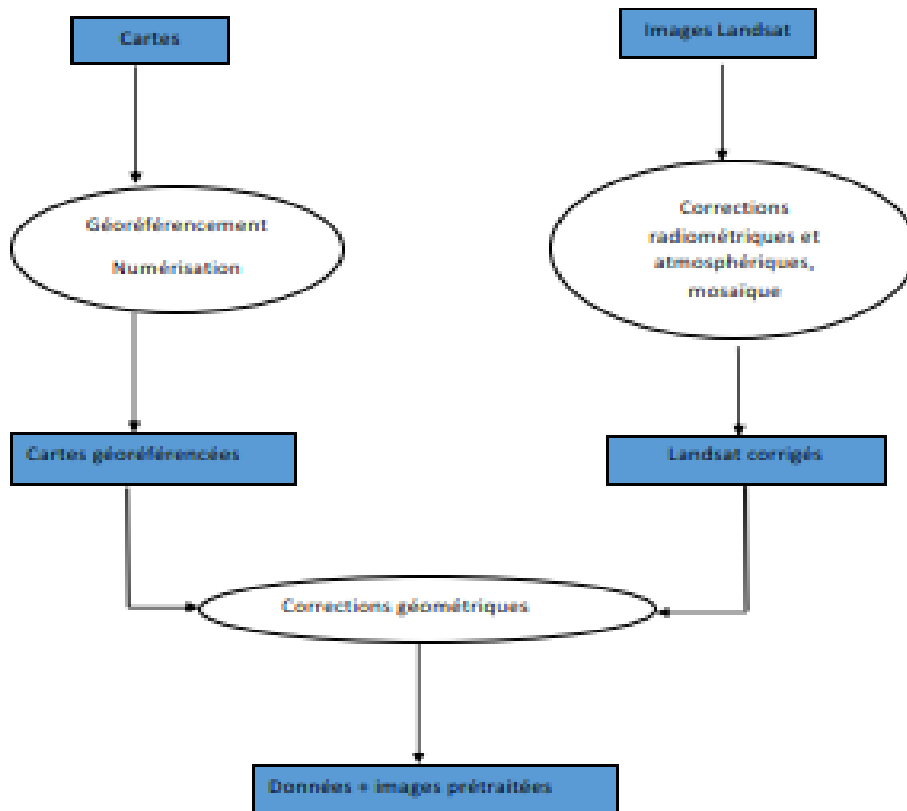


Figure 2 : Synthèse des prétraitements appliqués aux images et cartes utilisées

Le traitement de l'image se situe autour de la composition colorée. Cette opération associée aux relevées de terrain ont permis d'identifier les pixels témoins et de définir les éléments paysagers. Deux canaux sont utilisés pour appliquer la composition colorée :

- ✓ Composition colorée en vraie couleur (4 3 2)
- ✓ Composition colorée infrarouge (5 4 3)

L'indice de végétation (NDVI)

L'indice de végétation par différence normalisée, appelé aussi NDVI est construit à partir du canal rouge (R) et proche infrarouge (PIR). Il met en valeur la différence entre la bande visible du rouge et celle du proche

infrarouge. Cet indice est sensible à la vigueur et à la quantité de la végétation. L'indice de végétation est un indicateur de l'activité chlorophyllienne de la végétation

$$NDVI = (PIR - R) / (PIR + R).$$

L'analyse des NDVI de Moundou de 1990, 2005 et 2020 (figure 3, 4, 5), montre bien que les fortes valeurs de l'ordre de -0,18 à 0,59 sont observées un peu partout dans la zone cartographiée.

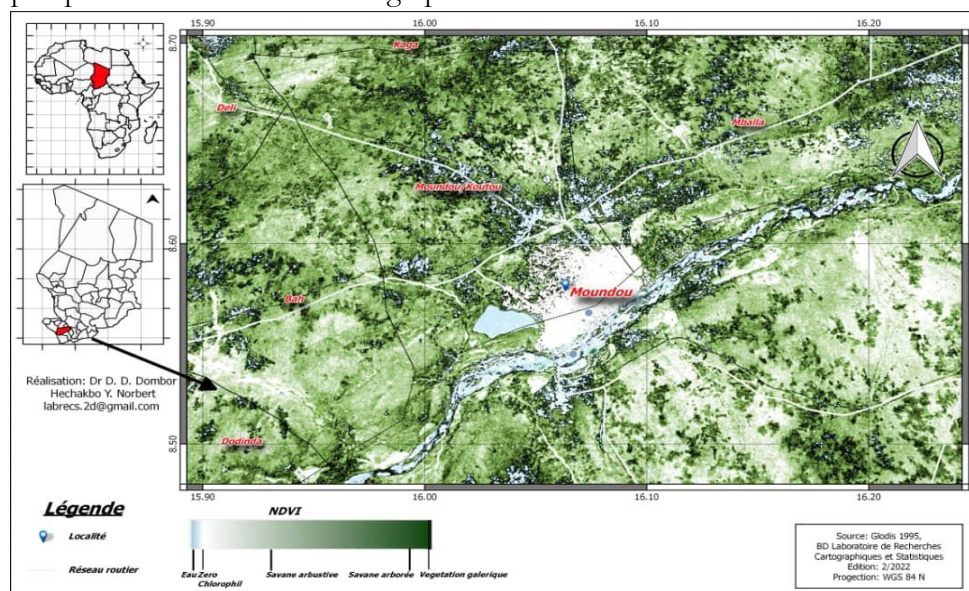


Figure 3 : NDVI de Moundou de 1990

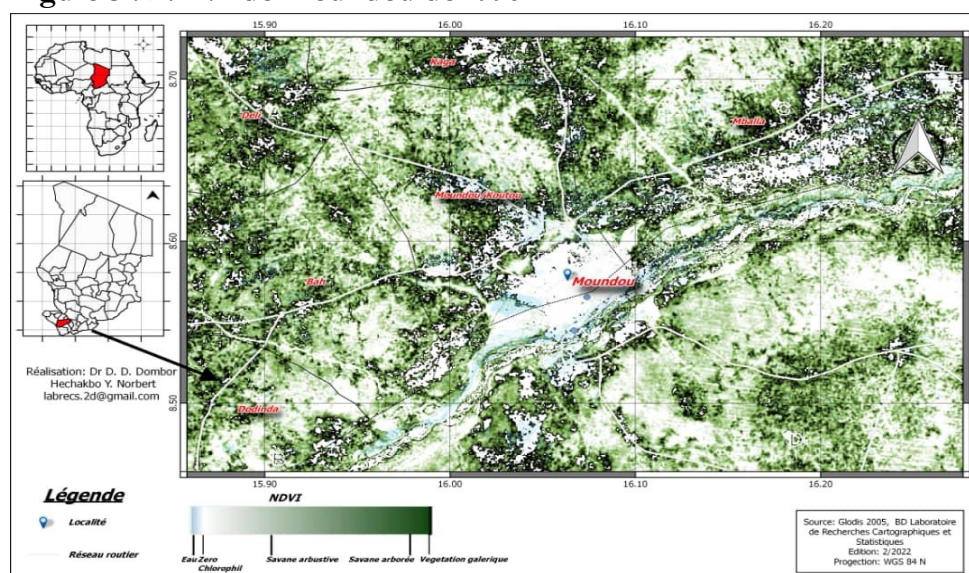


Figure 4 : NDVI de Moundou de 2005

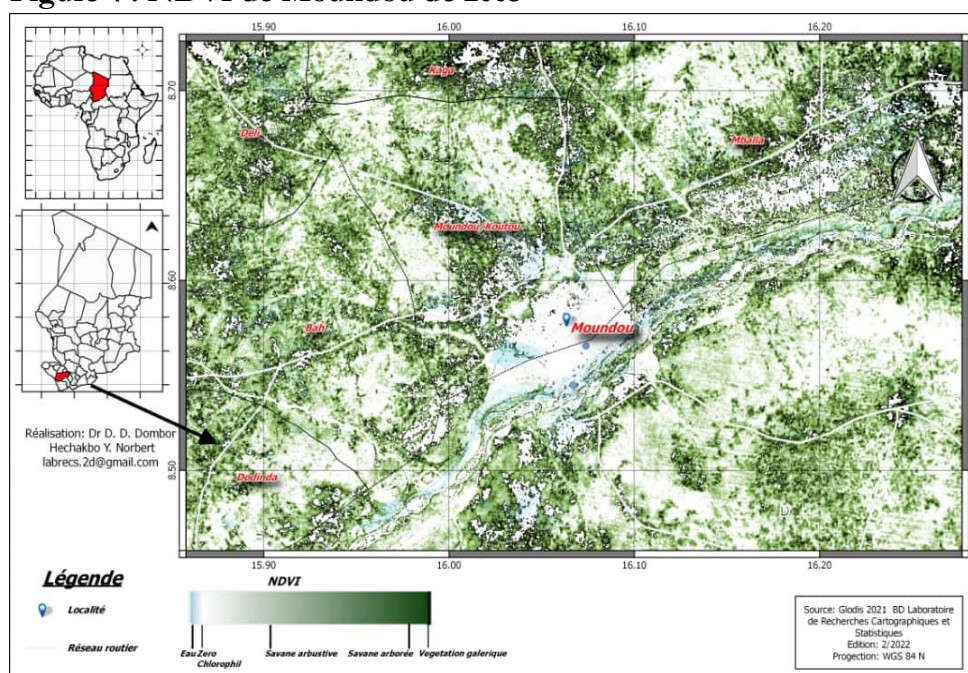


Figure 5 : NDVI de Moundou de 2020

Classification

C'est une opération qui consiste à regrouper les pixels en fonction de leurs valeurs spectrales. Cette opération est utile pour réaliser une première segmentation des images en grands thèmes d'occupation du sol. Pour cette étude, la classification supervisée est utilisée. Il s'agit d'une classification où les données sont classées vis à vis d'objets de référence. Ceux-ci peuvent être soit définis à partir de comptes numériques sur un histogramme à plusieurs dimensions (méthode hypercube), soit à partir de polygones d'entraînement repérés géographiquement sur l'image (zones-test, zones d'apprentissage) (méthode du maximum de vraisemblance).

Traitement des Données issues des enquêtes ménages et entretiens

Les diverses informations qui étaient recueillies lors des enquêtes sont sous deux formes. Il s'agit des données qualitatives présentées sous forme verbale (notes des entretiens ou des observations faites sur le terrain d'enquête) ou quantitatives avec des valeurs numériques. Le mode de traitement des données recueillies tient compte également du classement et de la distribution des données, du contrôle de leur qualité, du dépouillement puis de l'analyse :

- le classement des données consistait à numéroté les questionnaires et à prendre une à une les réponses aux questions. En ce qui concerne les questions ouvertes, un essai de regroupement des idées ou des opinions a permis d'obtenir des catégories d'opinions dans une suite logique et seules les réponses les plus fréquemment enregistrées étaient codées après regroupement ;
- la vérification du remplissage des questionnaires a permis de détecter les données manquantes, les incohérences, les erreurs d'enregistrement et d'apprécier leur exhaustivité (taux de récupération des questionnaires);
- les données étaient ensuite organisées sous forme de tableaux simples et croisés qui servaient pour la description des distributions issues des divers dépouillements. Il convient de noter que les dépouillements des différentes données et informations recueillies lors des enquêtes sont faits par arrondissement avant d'être présentés dans un tableau récapitulatif portant sur l'ensemble des arrondissements (zone d'étude). Pour toutes les questions fermées, le cumul des réponses données et calculées donnait 100%. Quant aux questions ouvertes et qui méritent des propositions de réponses (en supposant que chaque élément peut proposer jusqu'à deux, trois, quatre, etc. de réponses pour l'unique question), le cumul des réponses données excédait les 100% et aussi de fois est inférieur à 100%. La présentation des résultats est faite en fonction de chacun des objectifs de recherche.

Les données collectées ont été saisies et traitées sur Epi-Info dans l'objectif de montrer les liaisons entre les différentes variables socio-spatiales étudiées. Une analyse statistique descriptive simple, par comparaison de pourcentages et un croisement de variables entre les données de prévalences des maladies liées aux inondations et les facteurs de risque identifiés, ont été faits. L'analyse a permis de réaliser des graphiques avec Epi-Info pour les fréquences de ces maladies perçues et leur prévalence et d'élaborer des relations dynamiques entre ces maladies et les variables associées. La cartographie des données de prévalence de ces maladies a été faite à partir du logiciel QGIS 2.18

2- Résultats

2.1- Evolution des occupations du sol de 1990 à 2020

Les figures 6, 7 et 8 mettent en évidence les transformations spatio-temporelles majeures de l'occupation du sol dans la ville de Moundou sur une

période de trente ans (1990–2020). L’analyse diachronique révèle une dynamique d’urbanisation rapide accompagnée d’une recomposition profonde des unités paysagères. En 1990, la structure spatiale de la ville se caractérise par une dominance des formations végétales naturelles et des espaces agricoles, tandis que les zones d’habitat restent limitées au noyau urbain central. Les zones inondables apparaissent encore faiblement anthropisées, conservant ainsi leur rôle de régulation hydrologique. À partir de 2005, une extension progressive des surfaces urbanisées est observée en périphérie du centre-ville. Cette expansion s’effectue principalement au détriment des terres agricoles et des formations végétales. Par ailleurs, l’apparition de vastes surfaces de sols nus traduit une dynamique de mise en valeur foncière et une pression accrue sur les ressources foncières périurbaines.

En 2020, les cartes montrent une intensification marquée de l’étalement urbain, caractérisée par une densification du tissu bâti et une occupation croissante des zones basses et inondables. Cette évolution s’accompagne d’une réduction significative de la couverture végétale et d’une fragmentation des espaces naturels, entraînant une perte des fonctions écologiques essentielles, notamment en matière d’infiltration et de régulation des eaux de ruissellement. Ainsi, ces figures mettent en évidence une corrélation étroite entre l’expansion urbaine et la transformation des milieux naturels, traduisant une artificialisation progressive du territoire. Cette dynamique contribue à accroître la vulnérabilité de la ville face aux inondations, en raison de l’imperméabilisation des sols et de la réduction des zones d’expansion naturelle des eaux. En outre, l’occupation des zones à risque hydrologique favorise la dégradation des conditions sanitaires, notamment par la stagnation des eaux et la contamination des sources d’approvisionnement en eau. Il en résulte une augmentation potentielle de la prévalence des maladies hydriques et vectorielles dans les quartiers les plus exposés.

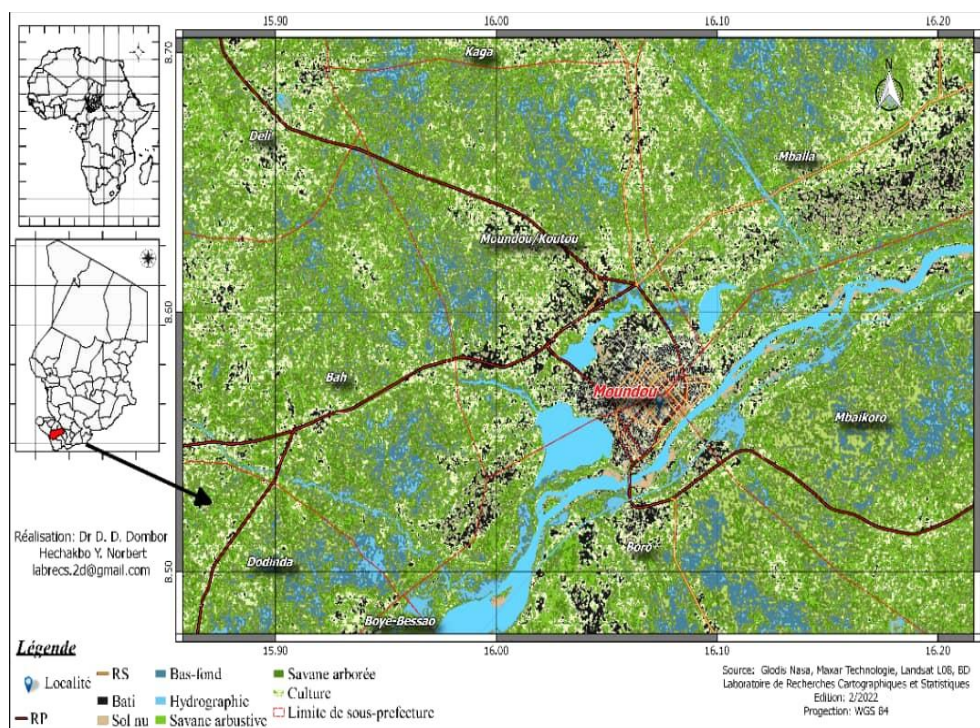


Figure 6 : Carte d'occupation du sol à Moundou en 1990

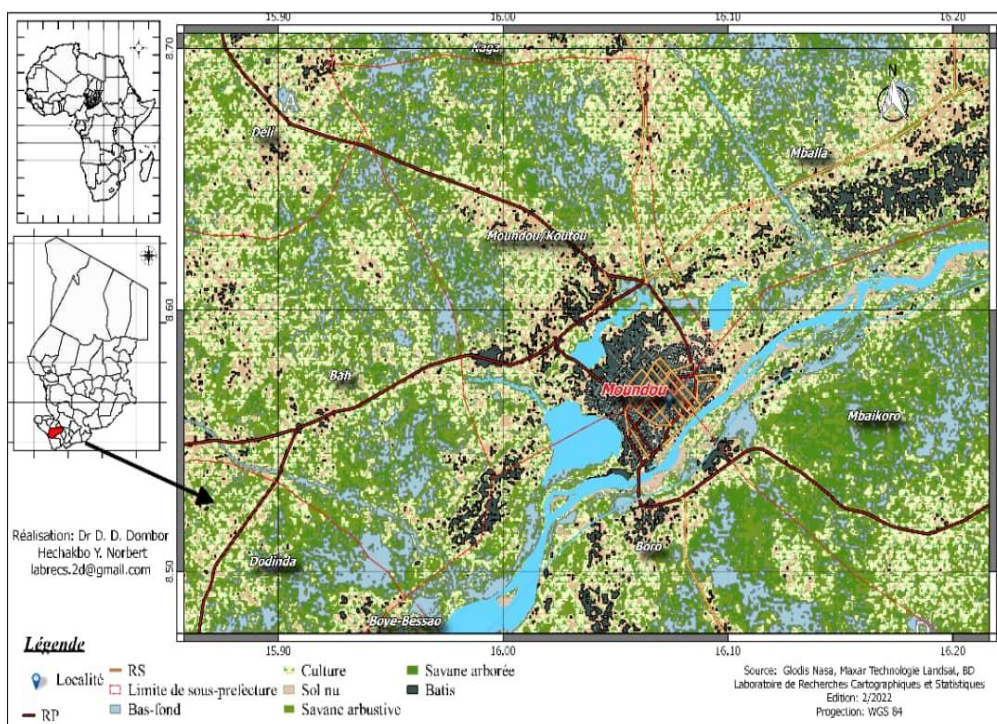


Figure 7 : Carte d'occupation du sol à Moundou en 2005

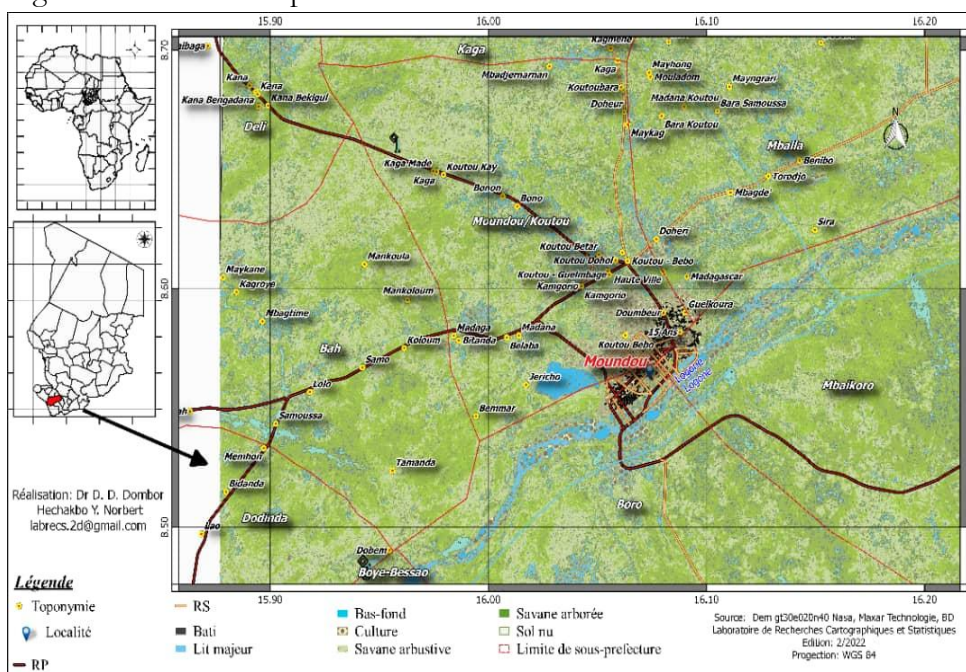


Figure 8 : Carte d'occupation du sol à Moundou en 2020

2.2- Prédispositions et facteurs des risques sanitaires liés aux inondations

2.2.1- Occupations des zones d'inondations

Les figures 6, 7 et 8 montrent les occupations des sols. L'analyse diachronique de ces cartes d'occupation du sol de 1990, 2005 et 2020 met en évidence une transformation profonde du paysage urbain de Moundou, marquée par une expansion rapide des zones bâties au détriment des formations végétales et des espaces agricoles. Ceci entraîne une occupation progressive des zones inondables, traduisant une urbanisation peu maîtrisée. Cette recomposition spatiale contribue à l'augmentation de l'imperméabilisation des sols, à la perturbation des écoulements hydriques et à l'intensification des inondations. Elle favorise la dégradation des conditions sanitaires, notamment à travers la prolifération des eaux stagnantes et la contamination des ressources hydriques, renforçant ainsi la vulnérabilité des populations urbaines.

2.2.2- Risques sanitaires liés à la pollution des eaux de surface

Les eaux de surface dans la ville de Moundou, constituées principalement du fleuve Logone, des lacs (Taba et Wey) et des eaux de ruissellement, jouent un rôle central dans la dynamique des risques sanitaires, notamment en période d'inondation. L'analyse des données de terrain et des observations directes met en évidence plusieurs facteurs de pollution : Rejets domestiques non contrôlés, inondation des latrines et fosses septiques, ruissellement urbain, activités anthropiques.

La pollution des eaux de surface constitue un vecteur majeur de maladies hydriques. Les résultats issus des enquêtes ménages et des centres de santé montrent une forte prévalence des maladies diarrhéiques (36,07% pour les ménages et 21,53% pour les CS), les fièvres typhoïdes (28,36% pour les ménages, 34,29% pour les CS), les infections cutanées (19,82% pour les ménages et 24,65% pour les CS) et oculaires (15,75% pour les ménages et 11,53% pour les CS). Les analyses bactériologiques réalisées sur les puits révèlent la présence d'*Escherichia coli*, indicateur de contamination fécale, confirmant ainsi le lien entre inondation et pollution des ressources hydriques. La pollution des eaux de surface résulte d'une interaction entre facteurs naturels et anthropiques. Les inondations agissent comme un mécanisme de dispersion des agents pathogènes, transformant les eaux de surface en

vecteurs de maladies.

2.2.3- Risques sanitaires liés aux eaux stagnantes

Les eaux stagnantes constituent l'une des conséquences majeures des inondations dans la ville de Moundou. Elles persistent plusieurs jours, voire plusieurs semaines après les pluies, en raison de la faible capacité de drainage et de la topographie plane de la ville. Elles se forment principalement dans les zones dépressionnaires (bas-fonds), les quartiers mal drainés, les espaces non aménagés, les abords des habitations

Les eaux stagnantes constituent des gîtes larvaires favorables à la prolifération des moustiques, notamment les anophèles, vecteurs du paludisme. C'est ce qui a entraîné une augmentation significative des cas de paludisme, principale cause de morbidité et de mortalité dans la ville de Moundou. Elles dégradent la qualité de l'environnement en accumulant les déchets dans les eaux stagnantes, en développant de mauvaises odeurs et en proliférant de micro-organismes pathogènes. Ce qui a pour conséquence l'insalubrité du cadre de vie et les risques accrus d'infections diverses. Enfin elles contaminent indirectement les eaux de consommation à travers l'infiltration dans les puits et le mélange avec les eaux souterraines. Les eaux stagnantes constituent un facteur aggravant des risques sanitaires, en créant des conditions propices à la prolifération des vecteurs de maladies et à la contamination de l'environnement.

2.3- Validation de la classification de l'occupation du sol

La fiabilité des cartes d'occupation du sol présentées ci-dessus (figures 6, 7 et 8) a été évaluée par une matrice de confusion établie à partir de 859 points de contrôle au sol, répartis de manière stratifiée sur les sept classes d'occupation du sol identifiées (Bâti, Bas-fond, Hydrographie, Savane arborée, Savane arbustive, Culture, Sol nu). Cette validation croise les données classifiées à partir des images Landsat 8 OLI avec les données de référence issues de la vérité terrain.

Tableau n°2 : Matrice de confusion de la classification supervisée de l'occupation du sol

Données classifiées \ référence	Bâti	Bas-fond	Hydro.	Sav. arb.	Sav. arbu.	Culture	Sol nu	Total ligne	Exact. Util. (%)
Bâti	112	2	0	3	1	4	3	125	89.6%
Bas-fond	1	98	5	2	6	3	0	115	85.2%
Hydrographie	0	4	104	1	2	0	1	112	92.9%
Savane arborée	2	3	1	118	5	4	0	133	88.7%
Savane arbustive	1	5	2	6	107	8	1	130	82.3%
Culture	3	2	0	5	7	110	2	129	85.3%
Sol nu	2	0	1	0	1	3	108	115	93.9%
Total colonne	121	114	113	135	129	132	115	859	
Exact. Producteur (%)	92.6%	86.0%	92.0%	87.4%	82.9%	83.3%	93.9%		

Tableau n°3 : Indicateurs globaux de précision de la classification

Indicateur	Valeur	Interprétation
Exactitude Globale (OA)	88.1 %	Très bonne (> 85 % recommandé)
Coefficient Kappa (κ)	0.8614	Excellente concordance (κ > 0,80)
Nombre de points de contrôle	859 pixels	Échantillon représentatif par classe

L'exactitude globale (OA) de 88,1 % et le coefficient Kappa de 0,8614 indiquent une excellente concordance entre la classification supervisée et la vérité terrain, selon l'échelle d'interprétation de Landis et Koch (1977) et les recommandations de Foody (2002) en matière de validation cartographique. L'analyse par classe (tableau n°3) montre que le Bâti (89,6 %) et le Sol nu (93,9 %) présentent les meilleures exactitudes utilisateur, traduisant une bonne discrimination spectrale de ces surfaces artificialisées. À l'inverse, la Savane arbustive (82,3 %) et la Culture (85,3 %) enregistrent les exactitudes les plus faibles, en raison d'une confusion spectrale plus marquée avec les classes voisines (Bas-fond, Savane arborée), fréquente dans les paysages de transition soudano-guinéens. Ces résultats confirment la fiabilité des cartes d'occupation du sol de 1990, 2005 et 2020 utilisées pour analyser la dynamique spatio-temporelle de l'urbanisation et l'exposition des zones inondables présentées précédemment (2.1).

2.4- Analyses statistiques et spatiales des risques sanitaires

2.4.1- Concordance entre prévalences déclarées et données des centres de santé

Un test du Khi-deux (χ^2) a été réalisé pour vérifier la concordance entre les prévalences des maladies liées aux inondations déclarées par les ménages et celles enregistrées dans les Rapports Mensuels d'Activité des centres de santé (CS).

Tableau n°4 : Comparaison des prévalences déclarées (ménages) et enregistrées (centres de santé)

Maladie	Prévalence Ménages (%)	Prévalence CS (%)	Écart (pp)
Diarrhées	36.07%	21.53%	+14.54 pp
Fièvre typhoïde	28.36%	34.29%	-5.93 pp
Infections cutanées	19.82%	24.65%	-4.83 pp
Infections oculaires	15.75%	11.53%	+4.22 pp
TOTAL	100.00%	92.00%	—

Indicateur	Valeur
Statistique χ^2	24.8633
Degrés de liberté	3
p-value	0.0000
Seuil α	0.05
Décision	H0 rejetée — différence significative

Le test du Khi-deux révèle une différence statistiquement significative entre les deux sources de données ($\chi^2(3) = 24,863$; $p < 0,001$), rejetant l'hypothèse de concordance. Les ménages surestiment nettement la prévalence des diarrhées (+14,54 points de pourcentage) par rapport aux CS, tandis qu'ils sous-estiment la fièvre typhoïde (-5,93 pp) et les infections cutanées (-4,83 pp). Cet écart traduit un biais de perception des ménages, qui tendent à assimiler divers troubles digestifs à la « diarrhée », ainsi qu'une possible sous-déclaration aux centres de santé de certaines pathologies moins visibles ou moins fréquemment médicalisées.

2.4.2- Corrélations entre urbanisation, végétation et exposition aux inondations

Des analyses de corrélation de Pearson ont été effectuées pour tester statistiquement les relations entre dynamique de l'occupation du sol, démographie et exposition aux inondations suggérées par l'analyse diachronique (2.1).

Tableau n°5 : Corrélations de Pearson entre variables spatiales et sanitaires

Paire de variables	<u>r</u> de Pearson	<u>p</u> -value	Force	Interprétation
Urbanisation (% bâti) ↔ Savane arborée (%)	-0.9915	0.0831	Très forte	L'expansion urbaine réduit la végétation naturelle
Ménages/quartier ↔ Score d'inondation	0.9124	0.0002	Très forte	Les quartiers les plus peuplés sont les plus exposés
Population totale ↔ Surface bâtie (%)	0.9634	0.1727	Très forte	La croissance démographique entraîne l'artificialisation des sols

Seule la corrélation entre le nombre de ménages par quartier et le score d'exposition aux inondations est statistiquement significative ($r = 0,912$; $p = 0,0002$), confirmant que les quartiers les plus densément peuplés sont aussi les plus exposés aux inondations. Les corrélations entre urbanisation et régression de la savane arborée ($r = -0,99$) et entre population totale et surface bâtie ($r = 0,96$), bien que très fortes, ne sont pas significatives au seuil de 5 %, probablement en raison du faible nombre d'observations temporelles (trois dates : 1990, 2005, 2020) ; elles restent néanmoins cohérentes avec la tendance observée sur les cartes d'occupation du sol.

2.4.3- Modélisation par régression linéaire

Tableau n°6 : Modèles de régression linéaire simple

Modèle	Pente (β_1)	Ordonnée (β_0)	R^2	<u>p</u> -value / Équation
% Bâti = $f(\text{Année})$	0.6300	-1249.12	0.9874	$p=0.0717$; %Bâti = $0,63 \times \text{Année} - 1249,1$
Savane = $f(\% \text{ Bâti})$	-0.8394	42.15	0.9831	$p=0.0831$; Savane = $-0,84 \times \text{Bâti} + 42,1$
Prévalence diarrhée = $f(\text{score inondation})$	8.0657	3.93	0.9989	$p<0.001$; Prév. = $8,07 \times \text{Score} + 3,9$

La surface bâtie progresse en moyenne de 0,63 point de pourcentage par an entre 1990 et 2020 ($R^2 = 0,987$), confirmant l'intensité de l'étalement urbain décrit en 2.1. La relation inverse entre bâti et savane arborée ($R^2 = 0,983$) traduit la substitution progressive de la végétation naturelle par les surfaces artificialisées. Le modèle le plus robuste et le plus significatif ($R^2 = 0,999$; $p < 0,001$) relie la prévalence des diarrhées au score d'inondation par quartier : chaque point supplémentaire du score d'inondation est associé à une hausse de 8,07 points de prévalence des diarrhées, ce qui établit statistiquement le lien entre exposition aux inondations et charge de morbidité hydrique évoqué en 2.2.2.

2.4.4- Hiérarchisation spatiale des risques sanitaires par quartier

Un score de risque composite (0-100) a été calculé pour chacun des dix quartiers enquêtés, combinant l'exposition aux inondations (40 %), la densité de ménages (40 %) et l'accessibilité à l'eau potable (20 %), afin de hiérarchiser les priorités d'intervention sanitaire.

Tableau n°7 : Score de risque sanitaire composite par quartier

Quartier	Ménages (n)	Score inondation (1-5)	Score accès eau (1-5 inv.)	Score risque (0-100)	Niveau	Priorité
Doyon	87	4	3	100.0	Très élevé	#1
Dombao	67	4	3	83.5	Très élevé	#2
Djarabé 1	60	4	3	77.7	Très élevé	#3
Djarabé 2	60	4	3	77.7	Très élevé	#4
Dokab	51	3	2	48.8	Modéré	#5
Guelkol	48	3	2	46.3	Modéré	#6
Doumbeur 1	39	3	2	38.9	Modéré	#7
Doumbeur 2	36	3	2	36.4	Modéré	#8
Quinze Ans	23	2	1	4.1	Faible	#9
Mbombaya	18	2	1	0.0	Faible	#10
SYNTHÈSE	489	3.2	2.2	51.3	Moyen	—

Le classement fait ressortir Doyon (#1, score 100), Dombao (#2, score 83,5) et Djarabé 1 (#3, score 77,7) comme les quartiers les plus prioritaires : ils cumulent une forte densité de ménages, une exposition élevée aux inondations et un accès limité à l'eau potable. À l'opposé, Quinze Ans et Mbombaya présentent un risque faible, en cohérence avec une moindre exposition et une population plus réduite. Ce classement objective, à l'échelle du quartier, l'inégalité socio-spatiale face aux risques sanitaires déjà relevée en 2.2 et rejoint les constats de vulnérabilité différenciée discutés plus loin (Adger, 2006 ; Wisner et al., 2004).

Ce risque hydrique est corroboré par les analyses bactériologiques : 17 des 24 puits testés (70,8 %) présentent une contamination à *Escherichia coli*, un taux significativement supérieur aux normes de l'Organisation Mondiale de la Santé selon un test de conformité du χ^2 ($p < 0,001$; OMS, 2017). L'ensemble de ces résultats statistiques confirme, au-delà des tendances visuelles observées sur les cartes et graphiques (2.1 et 2.2), l'existence d'un gradient spatial cohérent reliant urbanisation non planifiée, exposition aux inondations et charge de morbidité hydrique dans la ville de Moundou.

3- Discussion

L'analyse des dynamiques d'occupation du sol et des risques sanitaires liés aux

inondations dans la ville de Moundou met en évidence des résultats qui s'inscrivent à la fois dans des tendances générales observées dans les villes africaines et dans des spécificités locales liées au contexte socio-environnemental. Les résultats montrent une expansion rapide des zones urbanisées entre 1990 et 2020, au détriment des espaces naturels et agricoles. Cette dynamique est en accord avec les observations faites par ONU-Habitat (2010), qui démontre que les villes africaines connaissent une croissance urbaine rapide souvent non planifiée. Douglas et al. (2008) ont montré aussi que l'urbanisation informelle dans les villes africaines conduit fréquemment à l'occupation des zones à risque, notamment les plaines inondables. Les résultats de cette étude confirment cette tendance, avec une installation progressive des populations dans les zones basses et hydromorphes. Cependant, il faut noter que la ville de Moundou se distingue par une urbanisation davantage liée à la pression démographique et à la pauvreté, ce qui limite les capacités d'adaptation des populations.

L'étude met en évidence une augmentation de l'imperméabilisation des surfaces, entraînant une intensification du ruissellement et des inondations. Ces résultats corroborent les travaux de Arnold et Gibbons (1996), qui identifient l'imperméabilisation comme un facteur clé de modification des régimes hydrologiques urbains. Jha et al. (2012) montrent que la croissance urbaine non contrôlée accentue les risques d'inondation en réduisant les capacités naturelles de drainage. Les observations faites à Moundou confirment cette relation, l'absence d'infrastructures de drainage aggrave la stagnation des eaux. L'intensité des inondations observées à Moundou est amplifiée par la présence de plusieurs cours d'eau (Logone, lacs Taba et Wey), ce qui constitue une particularité hydrologique locale.

Les résultats montrent une forte corrélation entre inondations et dégradation de la qualité des eaux, confirmée par la présence d'*Escherichia coli*. Ils confirment les conclusions de Ahern et al. (2005), qui soulignent que les inondations augmentent significativement les risques de maladies hydriques. Prüss-Ustün et al. (2008) démontrent aussi que l'accès à une eau contaminée constitue un facteur majeur de morbidité dans les pays en développement. La prolifération des eaux stagnantes observée dans cette étude est associée à une augmentation des maladies vectorielles, notamment le paludisme. Ces résultats sont cohérents avec les travaux de Kovats et Akhtar (2008), qui établissent un lien direct entre conditions environnementales dégradées et

propagation des maladies vectorielles. Few et al. (2004) ont aussi montré que les inondations favorisent la création de gîtes larvaires pour les moustiques, ce qui est confirmé dans le cas de Moundou. La persistance des eaux stagnantes dans les quartiers mal drainés constitue un facteur aggravant spécifique.

Les résultats mettent en évidence une forte inégalité socio-spatiale face aux risques sanitaires, les populations les plus pauvres étant les plus exposées. Cette observation est en parfaite cohérence avec les résultats de Adger (2006) et de Wisner et al. (2004), qui définissent la vulnérabilité comme une construction sociale résultant de l'exposition, de la sensibilité et de la capacité d'adaptation. De plus, Adelekan (2010) a montré que les populations urbaines pauvres en Afrique sont particulièrement vulnérables aux inondations en raison de leur localisation dans des zones à risque et de leur accès limité aux services de base.

Conclusion

Cette étude avait pour objectif d'analyser les dynamiques d'occupation du sol et leurs implications sur les risques sanitaires liés aux inondations dans la ville de Moundou. À travers une approche intégrée combinant télédétection, systèmes d'information géographique (SIG) et enquêtes de terrain, elle a permis de mettre en évidence les interactions complexes entre urbanisation, environnement et santé publique. Les résultats montrent que la ville de Moundou a connu, entre 1990 et 2020, une transformation spatiale profonde caractérisée par une expansion rapide et largement non planifiée des zones urbanisées. Cette dynamique s'est traduite par une réduction significative des espaces naturels et agricoles, ainsi que par une occupation croissante des zones inondables. L'artificialisation des sols et la modification des équilibres hydrologiques qui en résultent ont contribué à intensifier la fréquence et l'ampleur des inondations. L'étude a mis en évidence que les inondations constituent un facteur aggravant majeur des risques sanitaires. La pollution des eaux de surface, liée au ruissellement urbain et la stagnation des eaux dans les zones mal drainées, favorisent la prolifération des agents pathogènes et des vecteurs de maladies. La présence d'indicateurs de contamination fécale, tels que *Escherichia coli*, confirme la dégradation de la qualité des ressources hydriques et souligne les risques accrus de maladies hydriques et vectorielles au sein des populations exposées. Ainsi le risque sanitaire à Moundou ne peut être appréhendé uniquement sous l'angle environnemental ou sanitaire, mais

doit être compris comme une construction socio-spatiale résultant de l'interaction entre dynamiques urbaines, contraintes naturelles et conditions socio-économiques.

L'urbanisation non maîtrisée, la faiblesse des infrastructures d'assainissement et la vulnérabilité des populations contribuent conjointement à la production et à l'aggravation de ces risques. Il est nécessaire d'appliquer l'approche intégrée et multidisciplinaire de la gestion des risques urbains. Elle devrait s'appuyer sur la planification rigoureuse de l'occupation du sol, intégrant les contraintes hydrologiques ; le renforcement des infrastructures d'assainissement et de drainage ; la mise en œuvre de politiques de prévention sanitaire adaptées et l'implication active des populations dans la gestion de leur environnement. Enfin, dans un contexte de changement climatique susceptible d'accentuer la variabilité des précipitations et la fréquence des événements extrêmes, il est urgent d'anticiper les risques et d'adapter des stratégies de développement urbain.

Œuvres citées

- Adelekan, Ibiyemi Oladipo. "Vulnerability of Poor Urban Coastal Communities to Flooding in Lagos, Nigeria." *Environment and Urbanization*, vol. 22, no. 2, 2010, pp. 433-450.
- Adger, W. Neil. "Vulnerability." *Global Environmental Change*, vol. 16, no. 3, 2006, pp. 268-281.
- Ahern, Matthew Joseph, et al. "Global Health Impacts of Floods: Epidemiologic Evidence." *Epidemiologic Reviews*, vol. 27, no. 1, 2005, pp. 36-46.
- Akoteyon, Isaiah Solomon, and Oladipo Soladoye. "Groundwater Quality Assessment in Eti-Osa, Lagos-Nigeria Using Multivariate Analysis." *Journal of Geology and Mining Research*, vol. 3, no. 4, 2011, pp. 83-93.
- Arnold, Chester Leland, and C. James Gibbons. "Impervious Surface Coverage: The Emergence of a Key Environmental Indicator." *Journal of the American Planning Association*, vol. 62, no. 2, 1996, pp. 243-258.
- Bates, Bryson Christopher, et al., editors. *Climate Change and Water*. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2008.
- Bhatt, Mihir Ramesh, and Sejal Mihir Bhatt. "Urban Flood Management: A Review." *Journal of Environmental Management*, vol. 197, 2017, pp. 546-555.

- Confalonieri, Ulisses E. C., et al. "Human Health." *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, edited by Martin L. Parry et al., Cambridge UP, 2007, pp. 391-431.
- Di Baldassarre, Giuliano, et al. "Towards Understanding the Dynamic Behaviour of Floodplains as Human-Water Systems." *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 17, no. 8, 2013, pp. 3235-3244.
- Douglas, Ian, et al. "Unjust Waters: Climate Change, Flooding and the Urban Poor in Africa." *Environment and Urbanization*, vol. 20, no. 1, 2008, pp. 187-205.
- Few, Roger, et al. *Floods, Health and Climate Change: A Strategic Review*. Tyndall Centre for Climate Change Research, 2004.
- Foody, Giles Malcolm. "Status of Land Cover Classification Accuracy Assessment." *Remote Sensing of Environment*, vol. 80, no. 1, 2002, pp. 185-201.
- Guha-Sapir, Debarati, et al. *Annual Disaster Statistical Review*. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, 2016.
- Jha, Abhas Kumar, et al. *Cities and Flooding: A Guide to Integrated Urban Flood Risk Management for the 21st Century*. World Bank, 2012.
- Jiang, Haining, and J. Ronald Eastman. "Application of Fuzzy Measures in Multi-Criteria Evaluation in GIS." *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 14, no. 2, 2000, pp. 173-184.
- Kovats, Sari Kovats, and Rais Akhtar. "Climate, Climate Change and Human Health in Asian Cities." *Environment and Urbanization*, vol. 20, no. 1, 2008, pp. 165-175.
- Lebel, Louis, et al. "The Politics of Scale, Position, and Place in the Governance of Water Resources in the Mekong Region." *Ecology and Society*, vol. 10, no. 2, 2005, article 18.
- Mbahadjim, Jean, and Mahamat Djebe. "Inondations et vulnérabilité des populations urbaines au Tchad." *Revue Africaine des Sciences Sociales*, vol. 12, no. 2, 2018, pp. 45-60.
- McGranahan, Gordon, et al. "The Rising Tide: Assessing the Risks of Climate Change and Human Settlements in Low Elevation Coastal Zones." *Environment and Urbanization*, vol. 19, no. 1, 2007, pp. 17-37.
- Organisation mondiale de la Santé. *Guidelines for Drinking-Water Quality*. 4e éd., Organisation mondiale de la Santé, 2017.
- Programme des Nations Unies pour les établissements humains (ONU-

- Habitat). *State of African Cities 2010: Governance, Inequality and Urban Land Markets*. ONU-Habitat, 2010.
- OpenStreetMap Contributors. *Planet Dump*. OpenStreetMap, 2023, www.openstreetmap.org.
- Paul, Bimal Kanti. "Why Relatively Fewer People Died? The Case of Bangladesh's Cyclone Sidr." *Natural Hazards*, vol. 50, no. 2, 2009, pp. 289-304.
- Prüss-Ustün, Annette, et al. *Safer Water, Better Health: Costs, Benefits and Sustainability of Interventions to Protect and Promote Health*. World Health Organization, 2008.
- Satterthwaite, David, et al. *Adapting to Climate Change in Urban Areas: The Possibilities and Constraints in Low- and Middle-Income Nations*. International Institute for Environment and Development, 2007.
- United Nations Children's Fund. *Water, Sanitation and Hygiene (WASH) in Emergencies*. UNICEF, 2019.
- United States Geological Survey. *Landsat 8 Data Users Handbook*. USGS, 2020.
- Wisner, Ben, et al. *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters*. 2e éd., Routledge, 2004.
- World Bank Group. *Climate Risk Country Profile: Chad*. World Bank, 2021.

How to cite this article/Comment citer cet article:

MLA: Dingao, Dombor Djikoloum, et al. "Land Use and Flood-Related Health Risks in the Moundou Watershed, Chad." *Uirtus*, vol. 6, no. 2, August 2026, pp. 163-185, <https://doi.org/10.59384/uirtus.aug2026.n81>.