

Gestion Du Risque D'inondation Dans Le District De Tshangu Cas Des Communes : Kimbanseke, Ndjili, Kinseso, Matete Et Masina, Dans La Ville Province De Kinshasa

**Monsieur. Julien Mboyo Bokele¹, Mlle. Stella Mujinga Kazadi²,
Mlle. Bibiche Mabiala Tsasa³, Monsieur. Grace Wangata Keke⁴,
Monsieur. Bob Lubamba Lubamba⁵,
Mlle. Victoire Kalombo Kamuanya⁶,
Monsieur. Yannick Za Mafwefwe Nsilulu⁷,
Monsieur. Richi Nsasi Mbwabu⁸, Mlle. Roxane Mboyo Kanga⁹,
Mlle. Rorancia Tsodolo Basunga¹⁰**

^{1,3,6,9,10} Chercheur, Environnement, Centre National De Teledetecton

^{2,5} Chercheur, Cartographie, Centre National De Teledetecton

^{4,8} Chercheur, Agronomie, Centre National De Teledetecton

⁷ Chercheur, Geologie, Centre National De Teledetecton

Abstract:

This research focuses on analyzing flood susceptibility in the Democratic Republic of Congo, specifically in the Tshangu River basin in the eastern part of Kinshasa. Floods represent a major problem in this region, with significant human, material, and socio-economic consequences. The main objective of this research is to conduct a quantified and geospatial assessment of flood susceptibility in the Tshangu River basin. The approach employed involves the use of remote sensing, geographic information systems (GIS), and the ratio frequency (RF) model. This probabilistic method allows us to create maps locating areas likely to be affected by flooding. This methodological choice stems from the limited data available and the challenges of accessing the area in our study zone. The RF model is used to quantify the probability of flooding in identified at-risk areas based on the physical characteristics of the watershed and historical flood data. The results of the analysis using the FR model identified three distinct flood-prone areas. The main factors influencing the classification of flood zones are proximity to watercourses, river shape and density, the Stream Power Index (SPI), topography, and rainfall. Factors influencing flooding in the Tshangu basin are numerous, including heavy rainfall, the region's geomorphology, impermeable soils, and unplanned urbanization. These factors contribute to soil saturation, water accumulation in low-lying areas, and drainage problems. In conclusion, recommendations are proposed to mitigate flood risks in the Tshangu basin. These include improving drainage infrastructure, watershed management, urban planning, raising awareness and educating residents, and coordinating interventions among local authorities, government agencies, NGOs, and local communities.

Keywords: remote sensing; Floods; geographic information systems (GIS); geomorphology; Keywords 5; ...

Résumé:

La recherche porte sur l'analyse de la susceptibilité aux inondations en République Démocratique du Congo, plus précisément dans le bassin versant de la Tshangu dans la zone Est de Kinshasa.

Les inondations représentent un problème majeur dans cette région, avec des conséquences humaines, matérielles et socio-économiques importantes. L'objectif principal de cette recherche consiste à réaliser une évaluation quantifiée et géo spatiale sur la susceptibilité aux inondations dans le bassin de la Tshangu. La démarche employée implique l'exploitation de la télédétection, des systèmes d'information géographique (SIG) ainsi que du modèle à fréquence ratio (FR). Grâce à cette méthode probabiliste, nous sommes en mesure de créer des cartes localisant les zones susceptibles d'être affectées par des inondations. Ce choix méthodologique découle de la limitation des données disponibles et des défis d'accès sur le terrain propre à notre zone d'étude. Ainsi, le modèle FR est utilisé afin de quantifier la probabilité d'inondation dans les zones identifiées à risque en se basant sur les caractéristiques physiques du bassin versant et sur les données historiques concernant les inondations. Les résultats de l'analyse avec le modèle FR ont permis d'identifier trois zones distinctes de susceptibilité aux inondations. Les principaux facteurs qui influencent la classification des zones inondables sont la proximité de cours d'eau, la forme, la densité des rivières, le Stream Power Index (SPI), la topographie et les précipitations. Les facteurs qui influencent les inondations dans le bassin de la Tshangu sont multiples, les fortes précipitations, la géomorphologie de la région, les sols imperméables et l'urbanisation non planifiée. Ces facteurs contribuent à la saturation des sols, à l'accumulation d'eau dans les zones basses et aux problèmes de drainage. En conclusion, des recommandations sont proposées pour atténuer les risques d'inondations dans le bassin de la Tshangu. Celles-ci incluent l'amélioration des infrastructures de drainage, la gestion du bassin versant, la planification urbaine, la sensibilisation et l'éducation des résidents, ainsi que la coordination des interventions entre les autorités locales, les agences gouvernementales, les ONG et les communautés locales.

Mots clés : Télédétection ; inondation ; système d'information géographique(SIG) ; géomorphologie

1 Introduction

Les cours d'eau ont toujours été utilisés pour leurs richesses. Tout d'abord, ils constituent de façon évidente une ressource en eau pour les besoins alimentaires et d'hygiène ainsi que pour les prélèvements agricoles et industriels. La ville de Kinshasa est régulièrement confrontée aux inondations provoquées par de fortes pluie et le débordement des rivières, notamment ; dans les communes de kimbanseke, ndjili, Masina .Matete, Kinseso sont particulièrement vulnérables en raison de leur proximité avec certaines rivières et de l'urbanisation rapide par exemple, le débordement de la rivière Ndjili après des pluie diluviennes a provoqué des inondations majeurs en 2025,touchant plusieurs quartiers et causant des pertes humaines et matérielles importantes . Ces catastrophes sont souvent aggravées par :

- L'urbanisation anarchique dans les zones inondables ;
- L'absence ou l'insuffisance des systèmes de drainage ;
- L'occupation du lit des rivières par des constructions.

Les catastrophes naturelles ne sont plus uniquement des phénomènes naturels, mais des résultants compl-

exes d'interaction entre l'environnement et les dynamiques sociales, économiques et politiques.

Les inondations de la rivière ndjili en République Démocratiques Du Congo (RDC) constituent un exemple significatif de ces interactions. La fréquence et l'intensité des crues affectent de façon récurrente des zones densément peuplées comme kimbanseke ; Masina ; Ndjili ; kinseso ; Matete qui sont traversées par plusieurs rivières comme ; Ndjili, Mokali, Nsanga, entraînant pertes humaines, dégâts matériels importants et vulnérables accrues.

La problématique des inondations est importante et se fait de plus en plus sentir en république démocratique du Congo, où les mois se définissent par rapport aux saisons.

A. Gestions des risques et catastrophes :

Est un processus intègre visant :

- Identifier et analyses les risques
- Réduire la vulnérabilité
- Prépare et répondre efficacement aux catastrophe.
- Assurer la relance et l'adaptation post catastrophe. Elle implique des acteurs multiples : gouvernement ; collectivités, institutions internationales, organisations communautaires et populations locales.

B. Influence des saisons des pluies

Pendant la saison des pluies :

- Augmentation du niveau des rivières et des cours d'eau ;
- Saturation du sol ; la terre absorbe moins d'eau, ce qui favorise les inondations.
- Débordement des rivières dans les zones urbaines ou les plaines.
- Accumulation d'eau dans de caniveaux et les routes si le drainage est insuffisant.

La saison sèche dure trois à quatre mois (entre mi-mai et septembre de l'année n) et la saison de pluies s'étend pratiquement sur une durée de 8 à 9 mois (entre septembre et mi-mai n+1) ; Cette répartition des saisons est influencée par la situation du pays par rapport à l'équateur. Le front intertropical ou équateur météorologique défile sur le ciel de la RDC, occasionnant ainsi des pluies excessives que des vents violent et des températures élevées ce qui place le pays dans une prédisposition des inondations, ces catastrophes menacent non seulement le sol mais aussi la sante et le bien-être des populations étant donné qu'elles engendrent d'énormes conséquences tant économiques, sociales qu'environnementales,

Bien que les précipitations constituent la cause naturelle de la montée des eaux, il sied toute fois on signale que les activités humaines demeurent la principale cause de dommages sociaux dus à ces catastrophes. On note la construction anarchique, rejet des déchets solides mise en décharge sauvage sur le lit de la rivière etc.

Ces pratique s'accroissent et la situation va du mal en pis ,malgré l'interdiction par la loi n11/009 du 09 juillet portant principes fondamentale a la protection de l'environnement de tout rejet et mise en décharge dans des endroits non approprié et l'interdiction de tout construction a moins 100 mètres le long des cours d'eau par la loi n 15/026 du 31 décembre 2015 relative à l'eau .il est donc impératif d'intervenir pour préserver la qualité de vie de la population et protéger l'environnement .

Les risques d'inondations et la fréquence de ces catastrophes sont amplifiés par le réchauffement climatique. Ceci représente un problème majeur dans de nombreuses régions du monde, engendrant des pertes humaines, des dégâts matériels considérables et des perturbations socio-économiques significatives. (GIEC, 2014).

En République démocratique du Congo, plus spécifiquement dans le bassin versant de la Tshangu dans la zone Est de Kinshasa, il y'a des défis important liés à ces risques d'inondations.

Les études et les analyses menées par (Phanzu, 2016) et de (Bola et al. 2022) démontrent l'ampleur des dommages causés par les inondations dans cette partie de la ville. Notamment les inondations entre 1990 ; 2018 ; 2021 ; 2023 et 2025.

Comment évaluer les impacts potentiels des inondations sur les infrastructures, les populations et l'environnement, en prenant en compte les aspects sociaux, économiques et environnementaux ?

Et enfin, comment proposer des solutions pour la gestion des risques d'inondations qui soient efficaces, durables et acceptables pour la population locale ?

Objectifs global

L'objectif est d'analyser les facteurs de risques et proposer des stratégies de gestion des inondations dans le district de Tshangu.

Objectifs spécifiques

- Identifier les zones vulnérables aux inondations.
- Analyser les facteurs naturels et anthropiques des inondations.
- Utiliser la télédétection et le SIG pour cartographier les zones a risque.
- Proposer des mesures de prévention et de gestion des catastrophes.

1.1.Revue de la littérature

Terminologie et définitions

Le risque d'inondations : Les inondations ont causé une destruction considérable depuis de nombreuses années et cette situation perdure jusqu'à aujourd'hui. Il résulte de la convergence entre l'aléa d'inondation et la vulnérabilité. Il indique ainsi la probabilité d'occurrence de dommages ou de pertes dans une zone donnée après l'inondation. C'est le risque naturel le plus répandu et il occasionne plus de victimes et de dégâts (Pottier, 1998)

La notion **d'aléa** fait référence à la probabilité qu'un événement se produise. Cette probabilité dépend principalement de l'intensité de l'événement et de sa fréquence. Grâce à cette compréhension, il est maintenant possible d'anticiper les dangers potentiels à venir et de repérer les zones à risque (Ozer, 2019). Grâce à cette compréhension, il devient possible de prévoir les dangers potentiels à venir et d'identifier les zones présentant des risques.

Bassin versant : Dans le livre « Fluvial Processes Geomorphology » (Léopold et al., 2020) décrivent le bassin versant comme « Il s'agit d'une région géographique délimitée par une ligne topographique qui sépare les eaux de surface et une partie des eaux souterraines, lesquelles convergent vers un point de sortie commun. » ils soulignent aussi l'importance du bassin versant en tant que système ouvert, où l'interaction entre les processus hydrologiques et les caractéristiques géomorphologique façonne le paysage fluvial.

D'autres aspects :

- Carte des risques des inondations ; Les cartes des risques d'inondation renseignent sur des données cruciales comme les niveaux de montée des eaux, les zones d'écoulement, les zones à haut risque d'inondation et les zones de rétention d'eau. La manière dont les cartes de risques d'inondation sont élaborées diffère d'un pays à l'autre en fonction des données disponibles, notamment celles liées à l'hydrologie, à la géomorphologie, à l'hydraulique et à l'utilisation des sols, comme l'a soulignée

(Marco, 1994) dans son étude. Chacune de ces phases pose des problèmes différents et nécessite des méthodologies pertinentes pour les accomplir.

- Carte de susceptibilité aux inondations : permettant d'identifier les zones les plus susceptibles d'être affectées. La création de telles cartes repose souvent sur l'utilisation de modèles informatiques qui prennent en compte divers facteurs pertinents (S. Lee & Pradhan, 2006).

Système d'information géographique (SIG) avec la télédétection représente une méthode robuste pour comprendre et gérer efficacement les inondations, comme le soulignent (Meyer et al. 2009).

Cette combinaison permet de recueillir, d'analyser et de représenter visuellement des données géographiques.

1.2. Présentation de la zone d'étude et méthodologie

Il s'agit ici de décrire la zone d'étude, les caractéristiques physiques du bassin versant ainsi que les différents paramètres de manipulation du système d'information géographique (SIG), télédétection et la méthodologie mise en œuvre.

1.2.1. Situation géographique

Le bassin versant de la Tshangu est situé à l'est de la ville de Kinshasa avec une position géographique de 15°22' de longitude Est et 4°24' de latitude Sud et 15°28' de longitude Est et 4°29' de latitude Sud. Le bassin versant s'étend dans le district de la Tshangu ou est tiré le nom de la rivière principale (Figure 1).



Figure 1 : Bassin versant de la Tshangu comme zone d'étude

1.2.2. Climat

Le bassin versant de la Tshangu qui fait partie des affluents du fleuve Congo connaît un type de climat tropical, chaud et humide qui se traduit une saison de pluie d'une durée de 8 mois dont la période va de mi-septembre à la mi-mai et une saison sèche qui va de la mi-mai à la mi-septembre mais aussi une petite saison de pluies de mars à mi-mai, la période d'octobre à décembre produit des masses d'eau très importante (Sonwa et al., 2014) et (Bola et al., 2022). Au mois de décembre, la ville de Kinshasa dans son ensemble, enregistre une période d'humidité de 85,2% qui est proportionnellement plus élevée et un taux de 65% d'humidité au mois d'août. La ville a une température moyenne de 26,2°C, la période la plus chaude de l'année est observée au mois de Mars et une température moyenne est de 24,5°C est observée au mois de Juillet, cette période est considérée comme la plus froide de l'années.

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sep- tembre	Octobre	Novembre	Décembre
Température moyenne (°C)	25.5	26	26.2	25.9	25.8	24.9	24.5	25	26.1	26	25.3	25.2
Température minimale moyenne (°C)	22.5	22.8	23	22.9	22.5	20.7	19.8	20.3	21.7	22.5	22.3	22.3
Température maximale (°C)	29.4	30	30.4	29.8	29.7	29.8	30	30.2	31.3	30.4	29	28.8
Précipitations (mm)	126	110	118	146	83	6	1	7	20	120	192	166
Humidité(%)	83%	82%	81%	84%	82%	73%	67%	65%	66%	75%	84%	85%
Jours de pluie (jée)	16	13	14	16	12	1	0	1	5	15	19	19
Heures de soleil (h)	6.6	6.5	6.9	6.6	5.9	5.1	5.1	4.2	4.7	5.9	6.5	6.6

(Source : <https://fr.climate-data.org/>)

Tableau 1 : Paramètres climatiques de la ville de Kinshasa, data 1991-2021 (Source : <https://fr.climate-data.org/>)

Le tableau 1 présente une récapitulation des températures mensuelles moyennes de certaines variables climatiques à Kinshasa au cours de la période allant de 1991 à 2021. Nous constatons une variation des précipitations entre le mois le plus sec et le mois le plus humide est de 191 mm et la température moyenne au cours de l'année varie de 1,7°C.

Les analyses de (Imwangana et al. 2015) ont conclu que pour une compréhension sur les changements qui ont eu lieu dans le paysage de Kinshasa, les facteurs ne sont pas à rechercher dans les événements pluviométriques extrêmes mais plutôt dans la pluviosité combinée à l'occupation de la surface du sol.

1.2.3. Hydrographie

La région de Kinshasa se distingue par la prédominance d'un réseau de cours d'eau (Figure 2.3) qui coulent généralement vers le nord et se déversent dans le Pool Malebo, une partie intégrante du fleuve Congo. Ce réseau hydrographique présente une structure dendritique bien développée, avec des principaux axes de drainage orientés dans la direction sud-ouest/nord-est. Au sud, dans les régions montagneuses, on peut observer la présence d'un réseau hydrographique composé de vallées profondément encaissées. Ces vallées résultent de l'érosion ayant agi sur une ancienne surface de collines, dont l'altitude diminue à environ 350 mètres près du fond des vallées (Imwangana et al. 2014). D'après (Cahen, 1954), les mouvements géographiques qui se sont produits au fil des cycles ont donné naissance à un réseau ancien de cours d'eau pendant la période tertiaire, ce qui a façonné la surface mi- tertiaire. On dispose de peu d'informations sur ce réseau, si ce n'est qu'il était orienté du sud au nord dans le sud du Congo. En raison des modifications de l'aplanissement à la fin du Crétacé, on estime que les cours d'eau devaient s'écouler approximativement d'est en ouest et d'ouest en est, respectivement dans l'est et l'ouest du bassin du Congo.

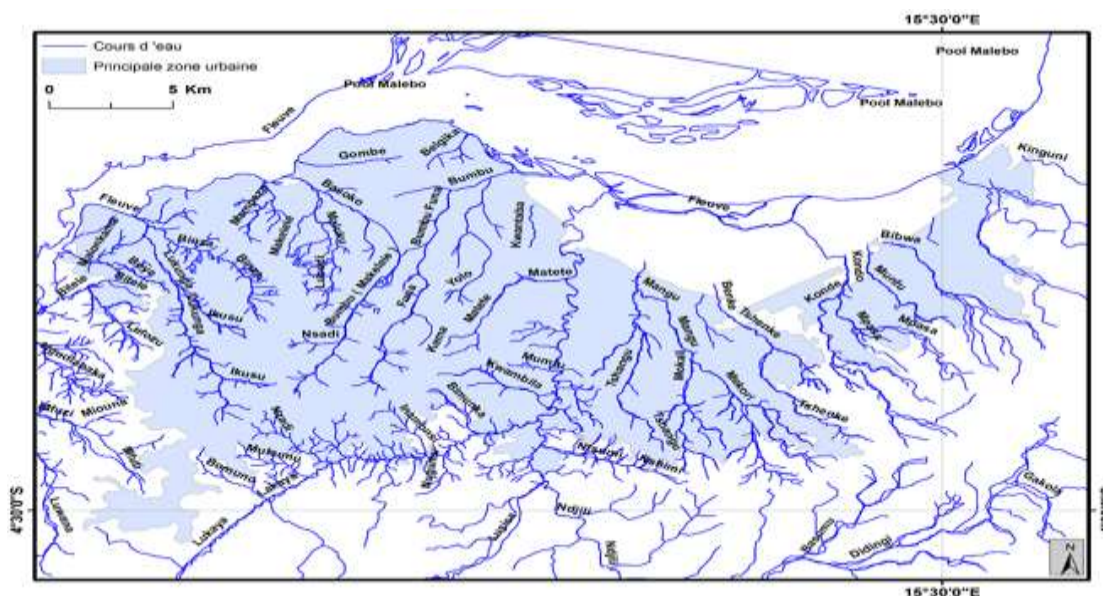


Figure 2 : Réseau hydrographique de la ville de Kinshasa (Makanzu Imwangana, 2014)

(Makanzu Imwangana, 2014) dit que (Moeyersons & Trefois, 2008) attirent l'attention un changement du régime des cours d'eau en Afrique centrale. Il est admis que depuis quelques décennies ou quelques siècles seulement dans l'histoire récente de l'Holocène, le réseau hydrographique était principalement composé de larges vallées au fond relativement plat, connues sous le nom de "dambo" ou "dembo" (Vandecasteele et al, 2011). Ces vallées, qui ne présentaient pas de lit de rivière distinct, étaient marécageuses toute l'année, même pendant la saison sèche. Les dembos étaient alimentés en eau par des sources internes de résurgence, résultant d'une remontée quasi-permanente de la nappe phréatique au fond de la vallée. Depuis un laps de temps variant entre quelques siècles et aujourd'hui, on a observé que les rivières ont commencé à creuser leur lit dans ces vallées. Ce changement de régime des rivières est attribué à une augmentation des débits de crue. En effet, selon (Ntombi et al, 2004), le coefficient de ruissellement dans la ville de Kinshasa est de 13%.

1.2.4 Sols

Selon (Duchaufour, 2001), le sol est une formation naturelle en surface, composée de constituants minéraux et/ou organiques, résultant de la transformation d'une roche mère sous l'influence du climat, de la nature de la roche mère, de la géomorphologie et dans une moindre mesure de la végétation, de l'action humaine et de la faune. Cependant, il est important de prendre en compte le facteur temps. (Miti & Aloni, 2005) définissent le sol comme étant le produit de l'altération des roches sous l'influence du climat et des conditions biologiques de l'environnement. Ainsi, sa nature et ses propriétés dépendent largement de celles de la roche mère. Il convient de noter que les formations du Paléozoïque ou de l'ère primaire sont absentes, car les dépôts sédimentaires se sont directement superposés au socle rocheux ou en discordance avec celui-ci. Cependant, le bassin versant de la Tshangu présente des sols avec des caractéristiques spécifiques dans les zones suivantes :

- **Dans la plaine de N'Djili-Nsele, ainsi que les collines de Kimbanseke et Nsele :**
 - a) Sols superficiels : - Sables fins argileux bruns ou jaunes - Sables blancs fins ou moyens Argiles
 - b) Sols en profondeur : - Sables d'alluvions plus anciennes, sables grossiers et argiles
 - Colluvions d'origine éolienne plus tardive (sables grossiers moyens)
 - Débris ou dalles de grès tendres et grès polymorphes.

• **Dans la zone collinaire (Kimbanseke et Nsele) :**

1. Sols superficiels : - Terrains meubles constitués de sables fins argileux, jaunes à bruns ; - Sables fins moyens blancs.
2. Sols de profondeur : Terrains plus grossiers ou cohérents : - Sables grossiers ; - Dalle de grès polymorphes

1.2.5. Pression démographique

En se basant sur les données fournies par (worldpopulationreview.com), il a été déterminé en 2022 que la population de Kinshasa s'élevait à environ 15 628 085 habitants, affichant un taux de croissance de 4%. Cette croissance démographique, particulièrement est constatée dans la région du bassin de la Tshangu où la population est estimée à 2 014 606 habitants,

NOM	STATUT	Recensement de la population 1984	Estimation de la population 2022
Kimbaseke	Commune	353.209	946.372
Masina	Commune	158.080	485.167
Ndjili	Commune	157.010	442.138
Nsele	Commune	28.963	140.929
	4 Communes	697.262	2.014.606

Table 2 : La démographie dans les communes concernées par le bassin versant de la Tshangu (source : Institut National de Statistique de Kinshasa/ Ministère du Plan)

Recensement de la population 1984 Estimation de la population 2022 Kimbanseke Commune 353.209 946.372 Masina Commune 158.080 485.167 Ndjili Commune 157.010 442.138 Nsele Commune 28.963 140.929 4 Communes 697.262 2.014.606.

1.2.6. Brève historique des inondations dans la ville de Kinshasa

Les inondations dans la ville de Kinshasa Les informations recueillies dans la presse écrite et sur des plateformes web nous ont permis de constituer un historique des différents événements catastrophiques qui se sont déroulés dans la capitale congolaise. Le tableau 2.3 est une compilation sur les différents nous présente les différentes périodes catastrophiques qu'a connues la ville de Kinshasa. Géographiquement, les inondations sont principalement concentrées dans les communes et les quartiers situés dans la plaine du fleuve Congo et dans les zones basses de la ville.

Années	Hauteur d'eau	Commentaires
2007	5,55 m	32 décès et une centaines des sinistres
2015	6,82 m	L'usine d'eau « REGIDESO » inondée, 31 décès
2017	-	5.100 sinistrés, 192 maisons écroulées et 44 décès
2018	6,93 m	L'inondation, éboulement plus menace d'une épidémie de choléra avec 220 cas et 48 décès
2019	-	Ruptures de Pont N'Djili, 18840 sinistrés et 54 décès
2021	-	Ruptures des digues sur la rivière Kalamu et 4 décès

Source : (Journal l'avenir n°1142, 1212 et 1214, <https://habarirdc.net/> et www.catnat.net/veille-catastrophes-naturelles)

Table 3 : [naturelles](http://www.catnat.net/veille-catastrophes-naturelles)

Ces événements catastrophiques ont eu des répercussions paralysantes dans divers secteurs socio-économiques de la ville.

Lors de fortes pluies de 2015 et 2024, les locaux de l'entreprise RESIDESO ont été complètement inondés, entraînant de nombreuses pertes de matériel et d'équipements électriques. Cette usine de traitement d'eau potable qui desserte pratiquement trois quarts de la ville, couvrant toute la partie Est. Afin de protéger ses

équipements contre des courts-circuits, l'usine est souvent contrainte de suspendre sa production jusqu'à ce que les eaux se retirent vers le cours inférieur de la rivière.



Figure 3 : District de la Tshangu sous les eaux (source : www.vooafrique.com)



Figure 4 : Le poste haute tension de la SNEL sous eaux (source : www.mediacongo.net)

1.2.7. Les différents types et causes des inondations dans la ville de Kinshasa

Selon les études de (Phanzy, 2016) sur la ville de Kinshasa, illustrer que la ville est exposée aux différents types d'inondations ci-après :

Inondations dues à la remontée lente des rivières : Ces inondations sont principalement observées dans les bassins versants situés à l'Est de la ville de Kinshasa, notamment les bassins versants de la N'djili, de la Nsele et de la Tshangu. Une grande partie de ces bassins versants prend sa source dans la province du Kongo Central et traverse les 14 communes dans la capitale avant de se jeter dans le fleuve Congo. Cette montée des eaux spectaculaire et lente est due aux abondantes précipitations qui s'abattent en amont des cours d'eau provenant du Kongo Central.

Inondations dues à la remontée rapide des rivières : Ces phénomènes sont particulièrement observés dans la partie Ouest de la ville de Kinshasa, où les rivières traversent des zones collinaires et urbaines. Les inondations sont causées par la remontée rapide des cours d'eau, qui subissent une surcharge importante lors des fortes pluies avec des particules érodées provenant des versants et des ravins. Ceci induit l'ensablement des lits des rivières par des sédiments provenant des zones à haute altitude. De plus, les cours d'eau sont envahis par des déchets solides et des déchets ménagers.

Cette colonisation des cours d'eau par ces sédiments est responsable des inondations observées à l'Ouest.

a) **Inondations dues aux crues du fleuve Congo :** Il est important de noter que le fleuve Congo

traverse l'équateur. Cette position lui permet de modifier son écoulement lors des fortes pluies qui surviennent en amont. En aval, les cours d'eau de Kinshasa sont incapables de rejoindre le fleuve Congo et sont donc refoulés, ce qui entraîne des inondations dans les quartiers de Kinshasa. Ce sont des inondations par remous ou de contre-courant.

- b) **Facteur anthropique liée aux inondations** : Selon les analyses menées par (Ozer, 2014), il est démontré que certains phénomènes, « tels que l'étalement urbain croissant, augmentent considérablement la vulnérabilité des sociétés aux aléas naturels, en particulier les risques d'inondation ». Cette affirmation est étayée par les travaux de (Danvide, 2015), qui mettent en évidence le lien étroit entre la gouvernance territoriale et l'environnement urbain. En effet, des facteurs tels que la densité et la croissance démographique, l'urbanisation incontrôlée et l'imperméabilisation des sols contribuent à la vulnérabilité aux inondations. (Holenu Mangenda, 2020), dans une conclusion, souligne que la ville se trouve prise au piège de son expansion démesurée, résultant souvent d'une gestion initialement mal contrôlée voire incompetente, ce qui finit par entraver les efforts de planification à long terme. Les urgences vitales prévalent sur les actions de planification, ce qui aggrave les problèmes auxquels la ville doit faire face. En raison d'une croissance démographique rapide et d'une migration persistante depuis les zones rurales, Kinshasa connaît une expansion urbaine sans normes urbanistiques adéquates. Malgré certaines initiatives visant à démolir les constructions anarchiques afin de réduire les risques de sinistres lors des inondations, la gestion des déchets domestiques reste un problème majeur. Les déchets plastiques, ménagers et d'autres types de déchets sont retrouvés sur les conduits des ouvrages hydrauliques (Figure 2.6). Cette situation entraîne l'envahissement des cours d'eau de la capitale, provoquant des obstructions dans les caniveaux et des accumulations d'eau sous les ponts de la ville. Cette accumulation de déchets engendre divers problèmes environnementaux et sanitaires.



Figure 5 : Rivières de plastique sur les cours d'eau de Kinshasa (source : France24-2019)



Figure 6 : Pont de la rivière NDjili endommagé (source : Newsglobe7 – L'info en toute simplicité 2021) b) Kinshasa, Mont Kitambo (Source, <https://www.bbc.com/afrique> 2018)

En plus de la problématique des inondations qui se manifestent en contre bas des pentes, la métropole de Kinshasa est sujette aux dangers d'érosion et d'éboulement qui surgissent à la suite des précipitations intenses. Cette menace découle de l'instabilité des sols due à l'occupation anarchique des zones élevées, (Makanzu Imwangana, 2023).

2 Matériels et Méthode

2.1 Choix de la méthode pour la gestion d'aléa d'inondation

Pour la délimitation des zones inondables, notre choix s'est porté sur l'utilisation de la méthode de modélisation basée sur la fréquence ratio. Cette approche probabiliste nous permet de cartographier les zones potentiellement exposées aux inondations. Cette décision découle du fait que notre zone d'étude présente des contraintes en termes de données disponibles et d'accès sur le terrain.

2.2 Inventaire des zones inondables par Les techniques de la télédétection et des systèmes d'information géographique (SIG)

Ils ont été employées pour mener un inventaire des régions à risque d'inondation (Sheppard & Cizek, 2009), (Ozer, 2014). Grâce à ces techniques, nous avons identifié, délimité et cartographié les zones sujettes aux inondations, tout en mettant en évidence d'autres configurations ou facteurs pouvant contribuer à ces risques naturels dans l'ensemble du bassin versant. L'intégration de notre zone d'étude dans la plateforme Google Earth Engine a permis l'acquisition et l'interprétation des images. Cette plateforme logicielle a facilité la réalisation d'analyses visuelles ainsi que la numérisation des zones à risque d'inondation sous forme de points ou de polygones en utilisant le format "KML", en fournissant également leurs positions spatiales correspondantes.

SRTM (30mx30m) et Landsat fournies par www.earthexplorer.usgs.gov pour la ville de Kinshasa, dont le SRTM a permis d'extraire la zone d'étude et les images Landsat ont servi pour effectuer le NDVI, l'analyse d'Occupation du sol. Quelques cartes des degrés carrés de la ville de Kinshasa au 1/100 000 provenant du Centre de Recherches Géologiques et Minières (CRGM) ont servi à l'extraction du réseau hydrographique, carte du sol et la carte géologique. Des séries chronologiques de la quantité de pluie en mm, mensuelles de 1991 à 2024 fournies par <https://fr.climate-data.org> pour la ville de Kinshasa ont fourni les informations nécessaires à l'appréciation de la hauteur pluviométrique.

2.3 Approche méthodologique utilisée

La susceptibilité désigne la propension d'une zone à être affectée par des phénomènes dangereux à un moment indéterminé, évaluée en fonction de critères de prédisposition à ces phénomènes ou actions, sans

tenir compte de leur période de récurrence ou de la possibilité de leur répétition (Yao & Dai, 2006). Pour évaluer la susceptibilité, nous avons choisi d'utiliser le rapport de fréquence ou Fréquence Ratio (FR), qui est une méthode statistique bi variée quantitative largement utilisée pour élaborer des cartes de risques d'inondation. Ce modèle est très répandu et largement accepté dans la littérature (S. Lee & Talib, 2005), (Pourghasemi et al. 2013) (Khosravi et al. 2020) (Samanta et al. 2018) Il permet de calculer une probabilité bi variée en se basant sur la corrélation spatiale entre les variables indépendantes et dépendantes.

2.4 Facteurs dépendants

Proximité de cours d'eau Sur le terrain, à l'aide de notre GPS, nous avons pu prélever des échantillons (géo localiser) des différentes zones inondables, ainsi que mesurer la hauteur d'eau lors des précédentes inondations à l'aide d'un décimètre.

Ces données ont été complétées par nos observations à partir des images satellites disponibles sur la plateforme Google Earth. Les précipitations ont été reprises comme facteurs causatifs des inondations et les périodes déclencheurs des inondations par des fortes averses sont connus.

2.5. Facteurs indépendants

Élévation (Altitude) Les analyses des (Ayalew et al. 2005) et de (Kavzoglu et al. 2014) ont conclu que, l'un des facteurs qui contribue le plus à l'inondation sont les zones plates ou des faibles altitudes. Ils jouent un rôle très déterminatif sur les surfaces susceptibles d'être inondées. Pente (Slope) Elle fait référence à la caractéristique de l'inclinaison de la surface en fonction du plan horizontal. C'est un facteur très important dans le contrôle de ruissellement en surface et de l'infiltration sur l'écoulement souterrain (Ali et al, 2019) ;(Das, 2019). Les zones à faible pente ou douce pente sont beaucoup plus vulnérables et sont ainsi caractérisées par des terrains plats, plus sensibles aux stagnations d'eau en fonction de la pente qui est raide (Hammams et al. 2019) (Periyasamy et al. 2018).

Aspect de Pente (Slope Aspect) Selon (Yalcin, 2008), l'aspect de pente décrit la présence des zones humides ou l'humidité de sol qui provoque indirectement les inondations et les glissements de terrain.

Cela est lié aux degrés d'expositions des pentes au soleil, courbure de la pente (Courbature) C'est un indice géomorphologique important de caractéristique topographique, défini comme le taux de changement de pente dans une certaine direction (Khan et al. 2023). Il affecte négativement l'érosion de surface en faisant converger et diverger le ruissellement vers le bas de la pente (Kayastha et al. 2013), (Pradhan, 2010).

L'indice indique deux valeurs maximales : les valeurs positives (+) indiquent que la surface est convexe vers le haut à un certain endroit, tandis que les valeurs négatives (-) indiquent que la surface est concave vers le haut. Plus la valeur négative augmente, plus la probabilité d'occurrence d'un glissement de terrain est élevée ; au contraire, une zone relativement plate (0) est exposée aux inondations, stagnations d'eau car une pente avec une surface concave (-) aura tendance à retenir plus d'eau de pluie. Topographique

Wetness Index (TWI) L'indice d'humidité topographique est plusieurs fois utilisé afin d'évaluer l'influence de la topographie sur l'accumulation des débits de façon à générer le ruissellement en tout point de la zone du bassin (Ali et al. 2019), (I. D. Moore et al. 1991) ; (Sorensen et al. 2006). Elle est exprimée sous la forme $TWI = \ln(As = \tan\beta)$, où « TWI » fait référence à l'indice d'humidité topographique, "As" est la zone spécifique du bassin et "β" est la pente locale (Das, 2019) ; (Tien Buis et al. 2019), la zone avec une valeur TWI plus élevée indique la forte potentialité de l'événement d'inondation. La distance d'une zone à un chenal actif est très importante dans le domaine de la cartographie des risques d'inondation (Das, 2019) et enfin, les zones proches des canaux actifs sont plus vulnérables aux inondations.

3 Résultats et discussion

Nous présenterons les résultats de notre étude sous trois formes : premièrement, un aperçu de l'histoire des inondations dans cette partie de la ville ; deuxièmement, un état des lieux des données disponibles ; et troisièmement, une analyse des caractéristiques physiques du bassin versant, comprenant la cartographie et le zonage du risque, ainsi que les facteurs explicatifs de la susceptibilité aux inondations dans le bassin versant.

3.1. Enquêtes et observations sur le terrain

Nous avons recueilli des données auprès de 195 ménages susceptibles d'être inondés en utilisant des cartes thématiques, un système de positionnement global (GPS). Les cartes thématiques ont permis de visualiser l'emplacement des ménages par rapport au niveau d'expansion de l'eau lors des crues. Grâce au GPS, nous avons pu localiser la limite des inondations et mesurer la hauteur de l'eau sur les maisons submergées. Parmi les 195 ménages répertoriés, nous avons également tenté de délimiter les zones inondables en fonction de l'intensité ou hauteur des crues survenues en 2020 et 2025, car ce sont les événements catastrophiques les plus récents dont les habitants peuvent se souvenir et dont nous pouvons facilement retrouver les traces sur le terrain (Figure 3.1) les données géo localisées collectes sur les zones inondables Les observations de terrain ont révélé que les cours d'eau de Kinshasa, en particulier la rivière Tshangu, sont obstrués par des Déchets ménagers en plastique. Nous pouvons donc le constater sur les Figures 3.2 et 3.3.

Les déchets ménagers (pastique) constituant une digue sur une rivière Tshangu Les déchets plastique consolidés sur la rivière Tshangu. Lors de nos enquêtes, la population nous a révélé que dans cette partie de la ville, la politique de gestion des déchets ménagers est quasiment inexistante. Malgré cela, quelques initiatives ont été prises par quelque personne instruite dont les chefs des quartiers et des rues. Les consignes sont simples : "Il est interdit de jeter ses poubelles ou déchets ménagers dans la rivière". Cependant, certaines personnes persistent à accumuler leurs déchets ménagers pour former une sorte de digue (Figure 4.1). D'autres individus stockent une grande quantité de déchets dans l'intention de les jeter dans la rivière une fois la nuit tombée. Sur la Figure 4.3, nous pouvons apercevoir une couche très épaisse occupant une grande partie du lit de la rivière.



Figure 7 : les déchets ménagers constituant une digue sur une rivière de la Tshangu

Cette couche consolidée est composée de déchets plastiques, d'ordures ménagères, de déjections humaines, de cadavres d'animaux domestiques et d'autres déchets biodégradables baignant tant à la surface qu'à profondeur de la rivière. Elle étouffe la rivière, la confinant et entravant son cours. L'une des

infrastructures touchées est le chemin de fer qui relie la ville depuis l'est à l'ouest soit de l'aéroport international au centre-ville.

En raison des inondations récurrentes, l'érosion sous les rails s'accélère, ce qui rend la voie ferrée instable. D'autres facteurs anthropiques contribuent également à l'instabilité de cette ligne ferroviaire dans la partie de notre bassin versant (Figure).



Figure 8 : Rails de train menacer 4°22'57.81"S/ 15°23'20.26"E

Sur la figure 8, nous constatons l'inexistence des réseaux de drainage adéquate en aval du bassin versant et la rivière constitue une fosse septique à ciel ouvert. Figure 4.5 : a) Réseaux des drainages et b) rivière servant de fosse septique Après avoir effectué des observations, nous avons compris que les systèmes de drainage dans cette partie de la ville sont insuffisants ou inefficaces. Les canaux de drainage construits par les Belges subsistent encore, mais d'autres sont enfouis, tandis que ceux construits par les Chinois sont obstrués par des déchets et des sédiments, réduisant ainsi leur capacité à évacuer efficacement l'eau vers la rivière Tshangu. Nous avons également observé des cas très préoccupants directement liés à la pollution de la rivière Tshangu principalement en raison du manque de moyens pour construire des fosses septiques. Certains estiment également qu'il est préférable d'éliminer les déchets directement dans la rivière, par crainte que les excréments stockés remontent à la surface après une inondation. 73 cm 330 60 cm 332 71 cm 310 75 cm 315 72 cm 292 99cm 288 1,55 m.

La zone présente quelques milieux très humides, hélas que nous n'avons pas pu géo localiser.

Les facteurs dépendants et indépendants analysés précédemment. (Équation 3) Figure : Carte de la susceptibilité aux inondations dans le bassin versant de la Tshangu. L'analyse cartographique de la susceptibilité aux inondations a permis d'identifier trois zones distinctes, dont les zones les plus exposées sont représentées en rouge sur la carte. (Figure), ces cartes mettent également en évidence les principaux facteurs qui influencent la classification des zones comme étant inondables ou non. Voici les conclusions principales tirées de cette analyse : Les principaux facteurs causaux de l'inondation sont la proximité, la morphologie du bassin versant et la densité des rivières. Les zones qui sont proches des cours d'eau, qui

ont une forme particulière ou qui sont densément peuplées le long des cours d'eau, sont plus susceptibles d'être exposées aux inondations. En résumé, l'analyse des indices SPI et TWI dans le bassin de la Tshangu démontre que la zone présente une forte humidité, favorisant les inondations. De plus, les activités humaines, telles que les constructions, contribuent à accroître la vulnérabilité aux inondations dans cette région. La topographie joue un rôle important dans la vulnérabilité aux inondations ainsi les zones situées à des altitudes inférieures ou égales à 325 mètres d'altitude sont les plus exposées aux inondations. Cela signifie que les zones en basse altitude sont plus sujettes aux risques d'inondations. L'analyse indique que les précipitations sont plus abondantes pendant la saison des pluies, qui s'étend généralement de septembre à mai. Les inondations sont plus susceptibles de se produire pendant cette période, avec les mois de novembre, décembre, janvier, février et mars étant les plus propices à des précipitations intenses et des inondations dans le bassin versant de la Tshangu. En revanche, la saison sèche, qui se situe entre les mois de juin et août, connaît généralement des périodes de moindre occurrence des inondations. Les précipitations sont moins fréquentes et moins abondantes pendant cette période, ce qui réduit le risque d'inondations. En résumé, cette analyse du Fréquence ratio (Fr) met en évidence les facteurs clés de la vulnérabilité aux inondations dans la région étudiée, en soulignant l'importance de la proximité, de la forme et de la densité des rivières, du Stream Power Index, des activités humaines, de la topographie et des précipitations dans la classification des zones inondables.

3.2 Causes des inondations dans le bassin de la Tshangu

Il est essentiel de comprendre que les inondations qui se produisent dans le bassin versant de la Tshangu résultent généralement d'une combinaison de différents facteurs, tels que les conditions météorologiques, les activités humaines et la géologie de la zone. Les éléments suivants mettent en évidence notre analyse de la situation : Des pluies abondantes : Dans la région que nous avons étudiée, les précipitations sont souvent abondantes, surtout pendant la saison des pluies. Les averses intenses conduisent rapidement à la saturation des sols, ce qui empêche les systèmes de drainage de gérer efficacement de grands volumes d'eau. Cette situation aboutit finalement à des inondations. La géomorphologie : notre zone d'étude est située dans la région de basse altitude de Kinshasa, traversée par le fleuve Congo à Nord et entourée de collines. Cette topographie rend notre bassin 59 versant vulnérable aux inondations, car l'eau est charriée avec plusieurs types de matériaux pour s'accumuler dans les zones basses et les vallées. Sols imperméables : la géologie du bassin de la Tshangu est caractérisée par des sols imperméables, tels que les alluvions (l'argile, gales, limons) qui ne permettent pas une infiltration adéquate de l'eau. Cela entraîne une augmentation du ruissellement des eaux de pluie, ce qui aggrave les risques d'inondations. L'Urbanisation non planifiée : la croissance rapide de la population des communes se situant dans notre bassin versant ont entraîné une construction anarchique et une absence d'infrastructures adéquates. Les constructions illégales dans les zones inondables et le comblement des zones humides réduisent la capacité sur la zone d'étude absorbée l'eau lors des fortes pluies.

Conclusion

Le bassin de la Tshangu, situé dans la partie urbanisée de la ville de Kinshasa, présente une forme allongée avec un indice de compacité de 1,8. Il s'agit d'un bassin mature, d'une superficie de 77,6 km² et d'un périmètre de 49,9 Km. Le relief de la région présente différentes altitudes, avec une faible pente globale dans l'ensemble du bassin versant. La rapide croissance démographique de la ville de Kinshasa, combinée au manque de politique de logement favorable à la population, a conduit à une occupation des zones à haut risque. Certains habitent sur des collines présentant des pentes élevées de 20% à 25%, tandis que d'autres

résident à proximité des cours d'eau, sans aménagement adéquat sur leurs lits majeurs. Cette situation expose davantage ces populations aux risques d'inondations. Dans le bassin de la Tshangu, caractérisé par sa forme allongée, le temps de réponse aux périodes de pluie est relativement long. De plus, les bas-fonds connaissent régulièrement des problèmes de stagnation des eaux. Les variations des précipitations enregistrées ces dernières années, notamment aux mois d'octobre, novembre, décembre, mars et avril, ont entraîné des inondations récurrentes dans cette partie de la ville. Sur le plan géologique, la zone d'étude est principalement composée de formations de grès très tendre, d'alluvions de la moyenne terrasse et d'alluvions de fonds de vallées. Le substratum est constitué de grès d'Inkisi, une roche perméable qui explique la faible densité hydrographique enregistrée dans ce bassin versant ($F=0,3 \text{ km}^{-2}$). Cela justifie également l'occurrence d'inondations par débordement indirect ou par remontée des eaux de la nappe à certains endroits proches de la rivière Tshangu, où les eaux remontent à travers les nappes alluviales par effet de siphon. En conclusion, nous recommandons de prendre en compte les aspects suivants afin d'atténuer les risques d'inondations dans le bassin versant de la Tshangu : Amélioration des infrastructures de drainage : Il sera essentiel d'investir dans la construction et la maintenance des systèmes de drainage, tels que les canaux, les égouts et les systèmes de gestion des eaux pluviales, afin d'évacuer efficacement les eaux sur l'ensemble des trois communes du bassin versant. 61 Gestion du bassin versant : Pour assurer une gestion efficace du bassin versant, il serait souhaitable de mettre en œuvre des mesures de conservation des sols, de reforestation sur tous les versants des communes de Kimbanseke et de Ndjili, ainsi que la création de réservoirs d'eau. Ces structures hydrauliques aideront à réguler le débit des cours d'eau et à réduire les risques d'inondation. Planification urbaine : La mise en place de réglementations strictes en matière d'utilisation des terres permettra ainsi de limiter la construction dans les zones inondables et pour garantir les nouvelles infrastructures qui seront conçues pour résister aux inondations. Sensibilisation et éducation : Il serait important de sensibiliser les résidents aux risques d'inondation et de les éduquer sur les mesures de prévention, telles que l'élévation des maisons si possible, l'utilisation de matériaux résistants à l'eau et l'adoption de comportements responsables en matière de gestion des déchets. Coordination des interventions : Une coordination efficace entre les autorités locales, les agences gouvernementales, les organisations non gouvernementales et les communautés locales seraient essentielles pour mettre en œuvre de manière cohérente et efficace des stratégies d'atténuation des inondations sur les zones vulnérables du bassin versant. Surveillance et alerte précoce liées aux inondations : Il serait préférable de mettre en place un système de surveillance météorologique et hydrologique pour détecter les conditions météorologiques défavorables et les niveaux d'eau élevés. Des systèmes d'alerte précoce doivent être développés pour informer la population en temps réel des risques d'inondation. Et enfin, la mise en place de ces recommandations nécessitera une coordination entre les autorités locales, les organismes de gestion de l'eau, les urbanistes, les communautés locales et d'autres parties prenantes. Ces mesures seront efficaces pour atténuer les risques d'inondations dans le bassin versant de la Tshangu.

REFERENCES

1. Achour, Y., Boumezbeur, A., Hadji, R., Chouabbi, A., Cavaleiro, V., & Bendaoud, E. A. (2017). Landslide susceptibility mapping using analytic hierarchy process and information value methods along a highway road section in Constantine, Algeria. *Arabian Journal of Geosciences*, 10, 1-16.

2. Ali, S. A., Khatun, R., Ahmad, A., & Ahmad, S. N. (2019). Application of GIS-based analytic hierarchy process and frequency ratio model to flood vulnerable mapping and risk area estimation at Sunderland region, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 5, 1083 1102.
3. Ayalew, L., Yamagishi, H., Marui, H., & Keno, T. (2005). Landslides in Sado Island of Japan: Part II. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of results from two methods and verifications. *Engineering geology*, 81(4), 432 445.
4. Azizat, N., & Omar, W. M. S. W. (2018). Assessment of three flood hazard mapping methods: A case study of Perlis. *E3S Web of Conférences*, 34, 02028.
5. BENTEKHICI, N. (2006). Utilisation d'un SIG pour l'évaluation des caractéristiques physiques d'un bassin versant et leurs influences sur l'écoulement des eaux (bassin versant d'Oued El Maleh, Nord-Ouest d'Algérie). *Conference Francophone ESRI, Issy les Moulineaux, SIG*
6. Beucher, (2008). La gestion des inondations en Angleterre : La mise en place d'un système efficace de gouvernance du risque ? *Information geographies*, 72(4), 27 43.
7. Bizzi, S., & Lerner, D. N. (2015). The use of stream power as an indicator of channel sensitivity to erosion and deposition processes. *River Research and Applications*, 31(1), 16 27. 63
8. Bola, G. B., Tshimanga, R. M., Neal, J., Hawker, L., Trigg, M. A., Mwamba, L., & Bates, P. D. (2022). Evaluation des risques d'inondation à périodes de retour multiples dans le bassin du fleuve Congo. *Hydrologie, Climat et Bio géochimie du Bassin du Congo : Une Base pour l'Avenir*, 537 559.
9. Bourenane, H., Guettouche, M. S., Bouhadad, Y., & Braham, M. (2016). Landslide hazard mapping in the Constantine city, Northeast Algeria using frequency ratio, weighting factor, logistic regression, weights of evidence, and analytical hierarchy process methods. *Arabian journal of Géosciences*, 9, 1 24.
10. Cahen, L. (1954). *Géologie du Congo belge*. Impr. H. Vaillant-Carmanne.
11. Danvide, T. B. (2015). *Gouvernance des politiques de planification urbaine et gestion des inondations à Cotonou (Bénin) [PhD Thesis]*. Paris 8.
12. Das, S. (2019). Geospatial mapping of flood susceptibility and hydro-geomorphic response to the floods in Ulhās basin, India. *Remonte Sensing Applications : Society and Environnement*, 14, 60 74.
13. Duchaufour, P. (2001). *Introduction à la science du sol : Sol, végétation, environnement : [1er à 3e cycles, concours, professionnels]*. Dunod.
14. Guha, S. (2014). *Determination of the Relationship between Relief and Annual Rainfall in Konkan Basins*.
15. Hammami, S., Zouhir, L., Soussi, D., Souei, A., Zghibi, A., Marzougui, A., & Dlala, M. (2019). Application of the GIS based multi-criteria decision analysis and analytical hierarchy process (AHP) in the flood susceptibility mapping (Tunisia). *Arabian Journal of Géosciences*, 12, 1 16. 64.
16. Halen Mangenda, H. (2020). *Kinshasa : Urbanisation et enjeux écologiques durables*. Kinshasa, 1 365.
17. Imwangana, F. M., Dewitt, O., Ntombi, M., & Moeyersons, J. (2014). Topographic and road control of mega-gullies in Kinshasa (DR Congo). *Geomorphology*, 217, 131 139.
18. Imwangana, F. M., Vandecasteele, I., Trefoils, P., Ozer, P., & Moeyersons, J. (2015). The origin and control of mega-gullies in Kinshasa (DR Congo). *Catena*, 125, 38 49.
19. Kanwal, S., Atif, S., & Shafiq, M. (2017). GIS based landslide susceptibility mapping of northern areas of Pakistan, a case study of Shigar and Shyok Basins. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2), 348 366.

20. Kavzoglu, T., Sahin, E. K., & Colkesen, I. (2014). Landslide susceptibility mapping using GIS-based multi-criteria decision analysis, support vector machines, and logistic regression. *Landslides*, 11, 425 439.
21. Kayastha, P., Dhital, M. R., & De Smedt, F. (2013). Evaluation of the consistency of landslide susceptibility mapping: A case study from the Kankai watershed in east Nepal. *Landslides*, 10, 785 799.
22. Khan, Q. U. Z., Farhan, M., & Raza, A. (2023). Progressive deterioration of reinforced concrete structures: Effect on dynamic properties of flexural members. *Multidiscipline Modeling in Materials and Structures*.
23. Khosravi, K., Panahi, M., Golkarian, A., Keesstra, S. D., Saco, P. M., Bui, D. T., & Lee, S. (2020). Convolutional neural network approach for spatial prediction of flood hazard at national scale of Iran. *Journal of Hydrology*, 591, 125552. 65.
24. Lee, M.-J., Kang, J., & Jeon, S. (2012). Application of frequency ratio model and validation for predictive flooded area susceptibility mapping using GIS. 2012 IEEE international geoscience and remote sensing symposium, 895 898.
25. Lee, S., Kim, J.-C., Jung, H.-S., Lee, M. J., & Lee, S. (2017). Spatial prediction of flood susceptibility using random-forest and boosted-tree models in Seoul metropolitan city, Korea. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2), 1185 1203.
26. Lee, S., Kim, Y.-S., & Oh, H.-J. (2012). Application of a weights-of-evidence method and GIS to regional groundwater productivity potential mapping. *Journal of Environmental Management*, 96(1), 91 105.
27. Lee, S., & Pradhan, B. (2006). Probabilistic landslide hazards and risk mapping on Penang Island, Malaysia. *Journal of Earth System Science*, 115, 661 672.
28. Lee, S., & Pradhan, B. (2007). Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models. *Landslides*, 4(1), 33 41.
29. Lee, S., & Talib, J. A. (2005). Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis. *Environmental geology*, 47, 982 990.
30. Leopold, L. B., Wolman, M. G., Miller, J. P., & Wohl, E. E. (2020). *Fluvial processes in geomorphology*. Courier Dover Publications.
31. Makanzu Imwangana, F. (2014). Etude de l'érosion ravinant à Kinshasa : Dynamisme Pluviaux-Morphogénique et Développement d'un Outil de Prévision (Study on Gully Erosion in Kinshasa : Rainfall-formation Dynamics of and prévention stratégies).
32. Makanzu Imwangana, F. (2023). L'érosion ravinant à Kinshasa : Origine et gestion dans la haute ville. *Erosion revenant à Kinshasa*, 1 274.
33. Marco, J. B. (1994). Flood risk mapping. In *coping with floods* (p. 353 373). Springer. 66
34. Mason, R. R., & Bales, J. (1996). Estimating flood hydrographs for urban basins in North Carolina (Vol. 96). US Department of the Interior, US Geological Survey.
35. Masure, A. (2014). Graphisme en numérique : Entre certitudes et incertitudes. *Graphisme en France*.
36. Meyer, V., Scheuer, S., & Haase, D. (2009). A multicriteria approach for flood risk mapping exemplified at the Mulde River, Germany. *Natural hazards*, 48, 17 39.
37. Miti, T., & Aloni, K. J. (2005). Les incidences de l'érosion sur le développement socio-économique et l'urbanisation future de Kinshasa. *Mouvements et enjeux sociaux*, 27, 15 28.

38. Moazzam, M. F. U., Vansarochana, A., Boonyanuphap, J., Choosumrong, S., Rahman, G., & Djueyep, G. P. (2020). Spatio-statistical comparative approaches for landslide susceptibility modeling: Case of Mae Phun, Uttaradit Province, Thailand. *SN Applied Sciences*, 2, 1 15.
39. Moeyersons, J., & Trefois, P. (2008). Desertification and changes in river regime in Central Africa: Possible ways to prevention and remediation. Ghent University.
40. Moore, I. D., Grayson, R. B., & Ladson, A. R. (1991). Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological processes*, 5(1), 3 30.
41. Moore, J. N., Luoma, S. N., & Peters, D. (1991). Downstream effects of mine effluent on an intermontane riparian. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 48(2), 222 232.
42. Ntombi, M. K., Yina, N., Kisangala, M., & Makanzu, I. M. F. (2004). Evolution des précipitations supérieures ou égales à 15 mm durant la période 1972–2002 à Kinshasa. *Revue Congolaise des Sciences Nucléaires*, 20, 30 40. 67.
43. Oh, H.-J., Kim, Y.-S., Choi, J.-K., Park, E., & Lee, S. (2011). GIS mapping of regional probabilistic groundwater potential in the area of Pohang City, Korea. *Journal of Hydrology*, 399(3 4), 158 172.
44. Ozer, P. (2014). Catastrophes naturelles et aménagement du territoire : De l'intérêt des images Google Earth dans les pays en développement. *Géo-Eco-Trop : Revue Internationale de Géologie, de Géographie et d'Écologie Tropicales*, 38(1).
45. Ozer, P. (2019). Les risques naturels. 9782874035319.
46. Periyasamy, P., Yagoub, M. M., & Sudalaimuthu, M. (2018). Flood vulnerable zones in the rural blocks of Thiruvallur district, South India. *Geoenvironmental Disasters*, 5(1), 1 16.
47. Phanzu, G. (2016). Cadastres Fonciers Et Prévention Des Catastrophes Naturelles A Kinshasa. *Transport*, 35(12), 0 352.
48. Pottier, N. (1998). L'utilisation des outils juridiques de prévention des risques d'inondation : Évaluation des effets sur l'homme et l'occupation des sols dans les plaines alluviales (application à la Saône et à la Marne) [PhD Thesis]. Marne-la-vallée, ENPC.
49. Pourghasemi, H., Pradhan, B., Gokceoglu, C., & Moezzi, K. D. (2013). A comparative assessment of prediction capabilities of Dempster–Shafer and weights-of-evidence models in landslide susceptibility mapping using GIS. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 4(2), 93 118.
50. Powell, C., Blesius, L., Davis, J., & Schuetzenmeister, F. (2011). Using MODIS snow cover and precipitation data to model water runoff for the Mokelumne River Basin in the Sierra Nevada, California (2000–2009). *Global and Planetary Change*, 77(1 2), 77 84.