

Analyse Multicritère Des Zones A Risque D'inondation Dans Une Région Urbaine : Approche Pour Une Gestion Durable Du Territoire. Cas De La Commune De Kalamu/Ville-Province De Kinshasa

[Multi-Criteria Analysis Of Flood-Prone Areas In An Urban Region: An Approach To Sustainable Land Management. A Case Study Of Kalamu Commune, City-Province Of Kinshasa]

OMALOTAHE DIMANDJA Joseph¹, ESHIMA OTSHUDI Faustin²

¹Ingénieur Géomètre – Topographe, chercheur en Géomatique appliquée et Assistant de deuxième mandant à l'INBTP

Email : omalotahahe.dimandja@inbtp.ac.cd

²Ingénieur Géomètre – Topographe et chercheur en SIG et Aménagement du Territoire

Auteur correspondant : OMALOTAHE DIMANDJA Joseph, omalotahahe.dimandja@inbtp.ac.cd



Résumé : L'urbanisation rapide et les effets des changements climatiques accentuent la vulnérabilité des villes africaines aux inondations, en particulier à Kinshasa (République Démocratique du Congo). Cette étude vise à évaluer le risque d'inondation dans la commune de Kalamu en intégrant les Systèmes d'Information Géographique (SIG) et le Processus de Hiérarchie Analytique (AHP) dans une approche d'analyse multicritère. Cinq facteurs déterminants, à savoir la pente, l'altitude, la pluviométrie, l'occupation du sol et la proximité des cours d'eau, ont été sélectionnés, pondérés selon la méthode AHP, puis combinés afin de produire une carte des risques d'inondation.

Les résultats distinguent cinq niveaux de risque, allant de très faible à très élevé. Ils montrent que 13,24 % de la superficie de la commune est exposée à un risque très élevé d'inondation, 45,05 % à un risque élevé, 35,33 % à un risque modéré et 6,38 % à un risque faible ou très faible. La validation de la carte obtenue à partir des données historiques des inondations a confirmé la fiabilité de l'approche méthodologique et sa pertinence pour l'identification des zones les plus vulnérables.

Cette étude démontre l'intérêt du couplage entre les SIG et le processus AHP pour la cartographie des risques d'inondation en milieu urbain. Les résultats constituent un outil d'aide à la décision pour les acteurs de l'aménagement du territoire et de la gestion des risques, en favorisant une planification urbaine durable et le renforcement de la résilience des territoires face aux inondations.

Mots-clés : Inondation ; Analyse multicritère ; Système d'information géographique (SIG) ; Processus de Hiérarchie Analytique (AHP) ; Cartographie des risques ; Aménagement du territoire ; Résilience urbaine.

Abstract: Rapid urbanization combined with climate change has significantly increased flood vulnerability in many African cities, particularly in Kinshasa, Democratic Republic of the Congo. This study aims to assess flood risk in the municipality of Kalamu by integrating Geographic Information Systems (GIS) and the Analytic Hierarchy Process (AHP) within a multi-criteria decision analysis framework. Five key flood-conditioning factors, including slope, elevation, rainfall, land use, and proximity to rivers, were selected, standardized, weighted using the AHP method, and combined to produce a flood risk map.

The resulting map classified the study area into five flood risk levels ranging from very low to very high. The results revealed that 13.24% of the municipality is exposed to very high flood risk, 45.05% to high risk, 35.33% to moderate risk, and only 6.38% to low or very low risk. Validation using historical flood records demonstrated a strong agreement between the predicted high-risk zones and observed flood events, confirming the reliability of the proposed approach.

The study highlights the effectiveness of integrating GIS and AHP for flood susceptibility assessment in densely urbanized environments. The generated flood risk map provides a valuable decision-support tool for urban planning and disaster risk reduction. The findings also emphasize the need for integrated land-use planning and sustainable flood mitigation measures to enhance urban resilience and reduce the impacts of future flood events.

Keywords: Flood risk assessment; Geographic Information System (GIS); Analytic Hierarchy Process (AHP); Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA); Urban resilience; Land-use planning; Kinshasa.

I. INTRODUCTION

Le risque d'inondation est caractérisé par deux composantes: l'aléa et la vulnérabilité. Ces composantes étant soumises à une forte variabilité spatio-temporelle, leur combinaison est d'autant plus complexe, pouvant donner lieu à une multitude de scénario (KOUAME, KOUADIO, YAO, & BIEMI, Juillet 2023). Aujourd'hui, peu de pays échappent aux phénomènes d'inondation. Ils causent plus de 50% de catastrophes naturelles: en moyenne 20 000 morts par an dans le monde (Djibril, 2005)

L'extension des zones urbaines sur des terrains inappropriés, le manque d'infrastructures efficaces pouvant assurer le drainage et la montée des précipitations dues aux changements climatiques aggravent la situation. Kinshasa, avec sa population de plus de 17 millions d'habitants (World population review, s.d.), est particulièrement vulnérable à ces phénomènes, surtout dans des communes comme Kalamu, Kintambo et Limete, qui souffrent régulièrement des effets des inondations.

À Kalamu, une commune située sur la rive droite de Kinshasa, les risques d'inondation sont amplifiés par l'urbanisation informelle et l'absence de planification urbaine. L'intégration d'une gestion des risques dans l'aménagement du territoire devient donc essentielle et importante pour réduire la vulnérabilité de la population locale.

L'intérêt de cette étude réside dans la nécessité de développer des outils et stratégies d'aménagement permettant d'anticiper, de réduire et de gérer les impacts des inondations à Kalamu. En intégrant la cartographie des risques, l'analyse spatiale et les politiques d'aménagement, cette étude contribue à orienter les décisions urbaines vers une meilleure résilience territoriale. Elle s'aligne sur les objectifs de développement durable (ODD 11 : villes et communes durables) (<https://fr.wikipedia.org>, s.d.) et sur les priorités locales de gestion des risques.

II. APPROCHE METHODOLOGIQUE DE L'ETUDE

1. Données et matériels utilisés

Les données utilisées dans la présente étude sont multiples et proviennent de plusieurs sources :

- Données spatiales : MNT, images satellites téléchargées sur le site <https://earthexplorer.usgs.gov/ont> avec une résolution de 30 m x 30 m.
- Données climatologiques constituées des séries pluviométriques sur la période de 2000 à 2025 collectées sur WORLDCLIM
- Données socio-économiques : Répartition de la population, infrastructures, données urbaines de Kalamu issues de services de la commune de Kalamu.

Quant au matériel, le logiciel QGIS a permis le traitement des images satellitaires et la confection des différentes cartes thématiques.

2. Méthode adoptée

La méthodologie adoptée dans cette étude repose sur une approche pluridisciplinaire combinant les techniques d'analyse spatiale par Systèmes d'Information Géographique (SIG), la méthode multicritère AHP (Processus de hiérarchie analytique), et une analyse qualitative des aménagements du territoire.

Le choix de l'approche de l'AHP se justifie par sa capacité à élaborer un modèle composé d'une hiérarchie de critères dans le but d'évaluer des alternatives considérées pour l'atteinte d'un objectif donné (R, 2019). C'est donc une méthode d'aide à la décision dont l'efficacité n'est plus à démontrer.

III. PRESENTATION DES RESULTAS

Pour cette étude, nous la résumons aux trois (3) grandes étapes suivantes : choix des critères et structuration des facteurs intrinsèques intervenant dans le phénomène étudié (i) ; pondération des différents critères selon leur importance relative ou degré d'influence (ii) ; agrégation et validation de la carte de pertinence finale (carte des risques d'inondation) (iii).

1. Choix et classification des critères d'analyse du risque d'inondation

Dans le domaine de la cartographie et de la vulnérabilité aux inondations, il est important de noter qu'il n'y a pas de modèle standardisé qui détermine le nombre précis de facteurs à prendre en compte. Cependant, pour assurer une précision optimale, l'incorporation de certains paramètres est considérée comme essentielle dans le processus d'évaluation.

Toutefois, l'identification et le choix des critères pertinents constituent une étape essentielle dans toute approche multicritère. Pour évaluer la vulnérabilité aux inondations dans la commune de Kalamu, cinq critères principaux ont été retenus : **la pente, l'altitude, l'occupation du sol, la proximité aux cours d'eau et la pluviométrie**. Chacun de ces critères a un impact direct ou indirect sur le niveau de risque d'inondation. Ces éléments sont jugés pertinents pour la création d'une cartographie thématique qui met en évidence les zones les plus vulnérables aux inondations.

2. Pondération des différents critères selon leur importance relative ou degré d'influence

a) Construction de la matrice de comparaison par paire de critères

Nous devons maintenant comparer les critères entre eux en fonction de leur importance relative pour l'évaluation du risque d'inondation.

La matrice est basée sur une échelle de 1 à 9 développée par Saaty, où 1 signifie que les critères sont équivalents et 9 signifie qu'un critère est extrêmement plus important que l'autre.

La matrice de comparaison par paires de cette étude, est présentée dans le tableau ci – dessous en utilisant une matrice 5 x 5, où les valeurs de la diagonale sont égales à 1. Les valeurs de chaque ligne sont comparées à chaque colonne pour définir l'importance relative de chaque critère afin d'obtenir une valeur.

Tableau 1: Matrice de comparaison par paires de critères

Critères	Pluviométrie	Proximité aux cours d'eaux	Pente	Occupation du sol	Altitude
Pluviométrie	1	2	3	2	4
Proximité aux cours d'eaux	1/2	1	3	2	4
Pente	1/3	1/3	1	3/2	3/4
Occupation du sol	1/2	1/2	3/2	1	2/4
Altitude	1/4	1/4	3/4	2/4	1
Somme	2,58	4,08	9,25	7,00	10,25

b) Normalisation de la matrice de comparaison par paire de critères

Après la construction de la matrice de comparaison, nous allons la normaliser et calculer les poids relatifs de chaque critère.

Il s'agit de calculer les poids relatifs de chaque facteur/critère à partir d'une matrice de comparaison par paire et de comparer l'importance relative de tous les facteurs retenus pris deux à deux pour configurer une matrice carrée réciproque. (THOMAS, 1977). Cette méthode permet de produire des coefficients de pondération standardisés dont la somme est égale à 1.

Tableau 2: Matrice de pondération

Critères	Pluviométrie	Proximité aux cours d'eaux	Pente	Occupation du sol	Altitude	somme
Pluviométrie	0,38759689	0,4901961	0,3243243	0,2857142	0,3902439	1,878075
Proximité aux cours d'eaux	0,1937984	0,245098	0,3243243	0,2857142	0,3902439	1,439179
Pente	0,127907	0,0808824	0,1081081	0,2142857	0,0731707	0,604354
Occupation du sol	0,1937984	0,122549	0,1621622	0,1428571	0,0487805	0,670147
Altitude	0,0968992	0,0612745	0,0810811	0,0714286	0,097561	0,408244
Somme	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	5,00

c) Calcul des poids relatifs des critères

Après la normalisation de la matrice, nous devons ensuite calculer les poids relatifs de chaque critère. Pour ce faire, pour chaque critère, nous calculons la moyenne des valeurs normalisées dans chaque ligne pour obtenir les poids relatifs.

1. Pluviométrie : $1,8780755 : 5 = 0,375651$
2. Proximité aux cours d'eaux : $1,439179 : 5 = 0,2878358$
3. Pente : $0,6043539 : 5 = 0,12087077$

4. Occupation du sol : 0,6701473 :5=0,134029452
5. Altitude : 0,4082444 :5=0,081648873

d) Vérification de la cohérence de la matrice

Après l'élaboration de la matrice de comparaison et la définition des poids de chaque critère, il est nécessaire de vérifier la cohérence des jugements, par le calcul du ratio de cohérence. Il s'agit de vérifier la logique des données obtenues par un test de cohérence (KOUAME, Décembre 2023).

L'équation suivante donne le calcul du ratio de cohérence :

$$CR = \frac{CI}{CA}$$

Avec CI est l'indice de cohérence et CA est l'indice de cohérence aléatoire (Tableau 3) dont la valeur dépend du nombre n, et n le nombre de critères.

La matrice sera cohérente si $CR < 0,10$.

$$CI = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)}$$

Avec - CI: indice de cohérence;

- ✓ n: nombre de critères évalués;
- ✓ $\lambda_{\max}$: la valeur propre maximale.

• Calcul de la valeur propre maximale ($\lambda_{\max}$)

La valeur propre maximale ($\lambda_{\max}$) est la moyenne entre les rapports lignes et poids. Pour l'obtenir, on multiplie chaque ligne de la matrice par les poids relatifs obtenus précédemment et on calcul la moyenne de ces rapports.

Les rapports lignes/poids relatifs ainsi obtenus sont les suivants :

- a) Pour la pluviométrie : 1,9085534 : 0,375651=5,0811414
- b) Pour la proximité aux cours d'eaux : 1,43291 : 0,2878358=4,97822
- c) Pour la pente : 0,6020904 : 0,120870777=4,98127357
- d) Pour l'occupation du sol : 0,6878855: 0,134029452=5,13234584
- e) Pour l'altitude : 0,4051794 : 0,081648873=4,96246174

Disposant déjà de ces rapports lignes et poids ci-haut, la valeur propre maximale peut s'obtenir de la manière suivante :

$$\lambda_{\max} = \frac{5,08414 + 4,97822 + 4,981274 + 5,132346 + 4,96246}{5} = 5,0270886$$

• Calcul de l'indice de cohérence

L'indice de cohérence (IC) est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$CI = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n-1)} = \frac{5,0270886 - 5}{5-1} = 0,00677$$

• Calcul du ratio de cohérence (RC)

Une fois l'indice de cohérence (IC) calculé, le ratio de cohérence (RC) peut être obtenu en le divisant par l'indice de cohérence aléatoire (CA), qui dépend du nombre de critères (n).

Tableau 3: Valeurs de CA proposé par Saaty

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CA	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Dans le cas de notre étude, le nombre de critères étant cinq, la valeur de CA est de 1,12. Le ratio de cohérence (RC) est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$CR = \frac{CI}{CA} = \frac{0,00677}{1,12} = 0,006$$

Le ratio de cohérence est égal à 0,006 ce qui est inférieur à 0,10 ; la cohérence de la pondération est valide et cela signifie que la matrice est considérée comme cohérente.

Tableau 4: Classes des facteurs et leur pondération

Critères	Classes	Rang	Poids
Pluviométrie	259-450	1	0,375651
	450-650	2	
	650-880	3	
	880-1000	4	
	1000-1385	5	
	1385-1450	6	
Proximité aux cours d'eau	0-105	5	0,2878358
	106-215	4	
	216-325	3	
	326-444	2	
	445-686	1	
Pente	0-2	6	0,120870777
	2-3	5	
	4-5	4	
	6-7	3	
	8-16	1	
Occupation du sol	Végétation	1	0,134029452
	Sol nu	2	
	Zone bâtie	5	
Altitude	277-284	5	0,081648873

	285-287	4	
	288-291	3	
	292-294	2	
	295-301	1	

Les notes (rangs) de vulnérabilité sont des valeurs numériques attribuées à chaque rang d'un critère, allant généralement de 1 (très faible vulnérabilité) à 6 (extrême vulnérabilité). Ces notes permettent de traduire l'influence relative de chaque variable sur le risque d'inondation dans un modèle multicritère.

Tableau 5:Explication des notes de vulnérabilité

Note (rang)	Signification	Interprétation en contexte d'inondation
6	Extrême vulnérabilité	Zone extrêmement exposée aux inondations
5	Très forte vulnérabilité	Zone hautement exposée aux inondations
4	Forte vulnérabilité	Zone à risque élevé mais moins critique
3	Vulnérabilité moyenne	Zone modérément exposée
2	Faible vulnérabilité	Zone relativement protégée
1	Très faible vulnérabilité	Zone très peu exposée aux inondations

e) Production des cartes

L'analyse du risque d'inondation à Kalamu s'est faite à travers les différents facteurs d'aléas et de vulnérabilité identifiés.

1) La pente du terrain

En tant que facteur intrinsèque, la pente influence fortement la vitesse de ruissellement des eaux. Les zones à forte pente permettent une évacuation plus rapide des eaux, réduisant ainsi les risques d'accumulation. À l'inverse, les zones à faible pente ou planes favorisent la stagnation, ce qui accroît la probabilité d'inondation.

La carte des pentes (Figure 2) ci-dessous a été créée à partir du Modèle Numérique de Terrain de la zone d'étude où les pentes varient de 0 % à 16%. La carte des pentes a été regroupée en cinq classes avec le rang le plus élevé attribué à la classe de très faible pente.

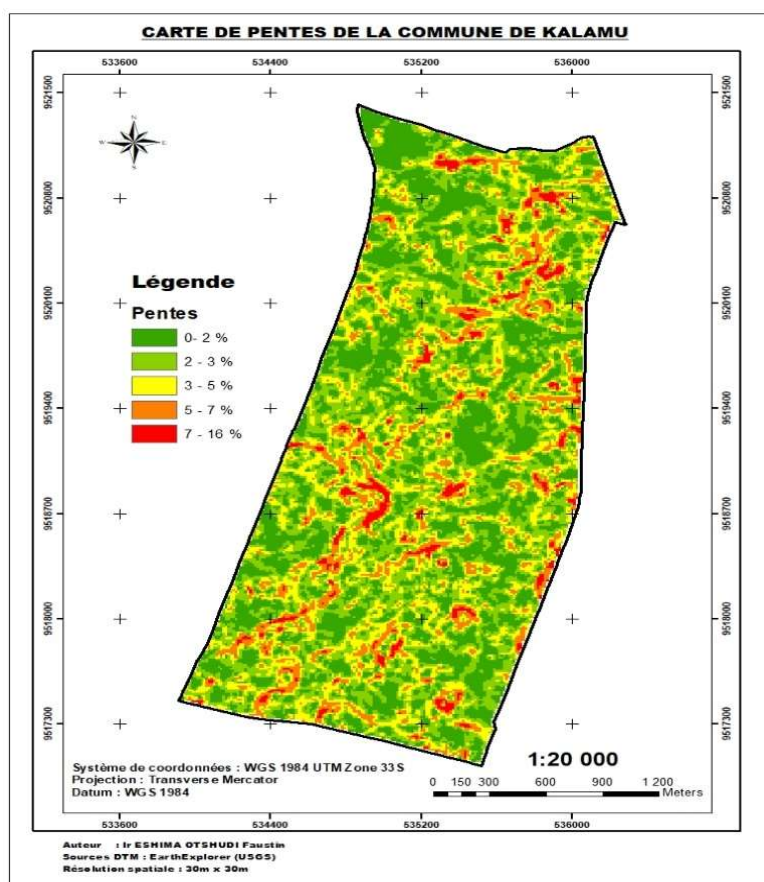


Figure 1: La carte de pente de la commune de Kalamu

L'analyse de la carte des pentes ci-dessus révèle que 89,99 % de la superficie de Kalamu (soit 5 808 739,31 m² sur 6 454 872,00 m²) présente une pente inférieure à 5 %. Plus précisément, 42,36 % de la superficie (2 734 283,78 m²) se situe entre 0 et 2 %, seuil généralement reconnu comme favorable à la rétention d'eau. Les classes 2-3 % et 3-5 %, représentant respectivement 22,88 % et 24,75 % de la superficie, correspondent également à des zones à potentiel de rétention modéré selon les conditions locales (nature du sol, imperméabilisation, etc.).

Techniquement, cette faible déclivité sur la quasi-totalité du territoire communal favorise l'accumulation des eaux pluviales, en particulier en l'absence de systèmes d'évacuation efficaces.

2) L'altitude

L'altitude est étroitement liée à la topographie locale. Les zones les plus basses sont naturellement plus sujettes à l'accumulation d'eau en cas de fortes précipitations ou de débordement des cours d'eau. Elles constituent des cuvettes naturelles où les eaux de ruissellement convergent.

Ce critère joue un rôle important dans la régulation du mouvement directionnel de l'écoulement d'eau et dans la détermination de la profondeur de l'inondation. En ce qui concerne la carte d'altitude, elle est produite par une classification automatique du

Modèle Numérique de Terrain (MNT). Cette méthode de classification segmente le MNT en cinq catégories distinctes, comme illustré dans la figure 3.

En général, les zones de faible altitude sont plus susceptibles d'être inondées car l'eau a tendance à s'accumuler dans ces zones. Par conséquent, lors de la cartographie de la susceptibilité aux inondations, les zones de faible altitude sont souvent identifiées comme des zones à risque élevé d'inondation.

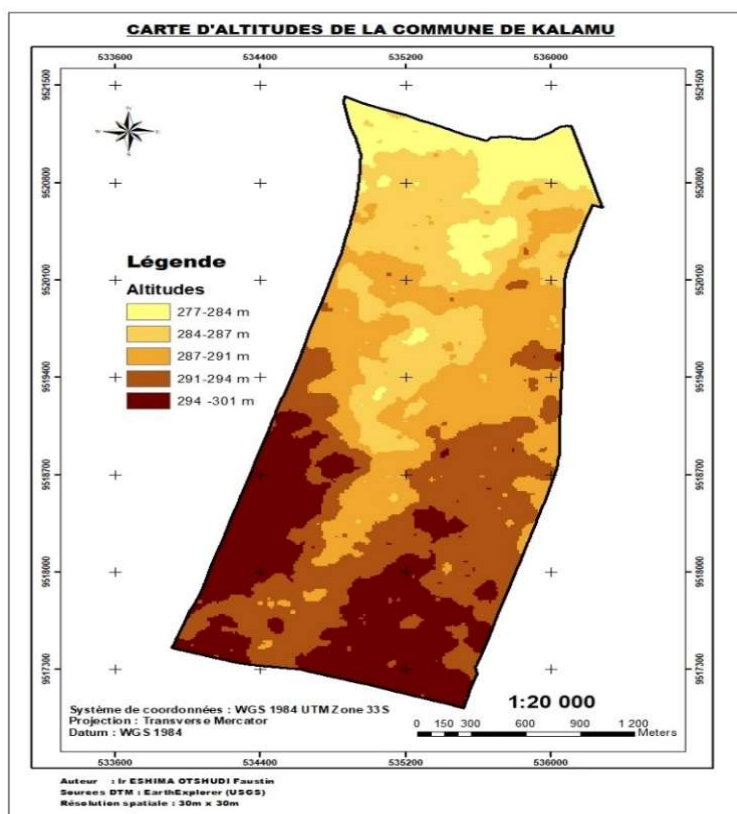


Figure 2: Carte d'altitudes de la commune de Kalamu

L'analyse altimétrique de la commune de Kalamu met en évidence une prédominance des zones de faibles altitudes. En effet, 54,39 % de la superficie totale, soit 3 510 804,88 m² sur 6 454 872,00 m², se situe entre 277 m et 291 m, notamment dans la partie Nord de la commune. Cette répartition altimétrique indique une topographie peu élevée, propice à l'accumulation des eaux pluviales et à la formation de zones inondables en cas de précipitations intenses.

Techniquement, les basses altitudes, combinées à une faible pente du terrain et à une urbanisation dense, limitent la capacité naturelle de drainage gravitaire. Cela renforce la vulnérabilité hydrologique de Kalamu, en particulier dans les zones où les infrastructures d'assainissement sont insuffisantes ou défectueuses. Ces données altimétriques confirment la nécessité d'une planification urbaine intégrée, tenant compte des dynamiques topographiques pour réduire les risques d'inondation.

3) L'occupation du sol

L'occupation du sol ou l'utilisation du terrain est un facteur important dans la détermination des zones susceptibles d'être inondées. L'occupation du sol influe sur l'infiltration et le ruissellement des eaux. Les surfaces imperméabilisées (routes, bâtiments, trottoirs, etc.) empêchent l'infiltration naturelle, augmentant ainsi les volumes de ruissellement. Les zones fortement urbanisées sont donc plus vulnérables aux inondations.

Dans cette étude, une carte d'occupation du sol a été élaborée par la méthode dite de classification supervisée classifiant le terrain en 4 classes en fonction de leur susceptibilité aux inondations, à savoir : sols nus, végétation, zones bâties et cours d'eau (figure 4).

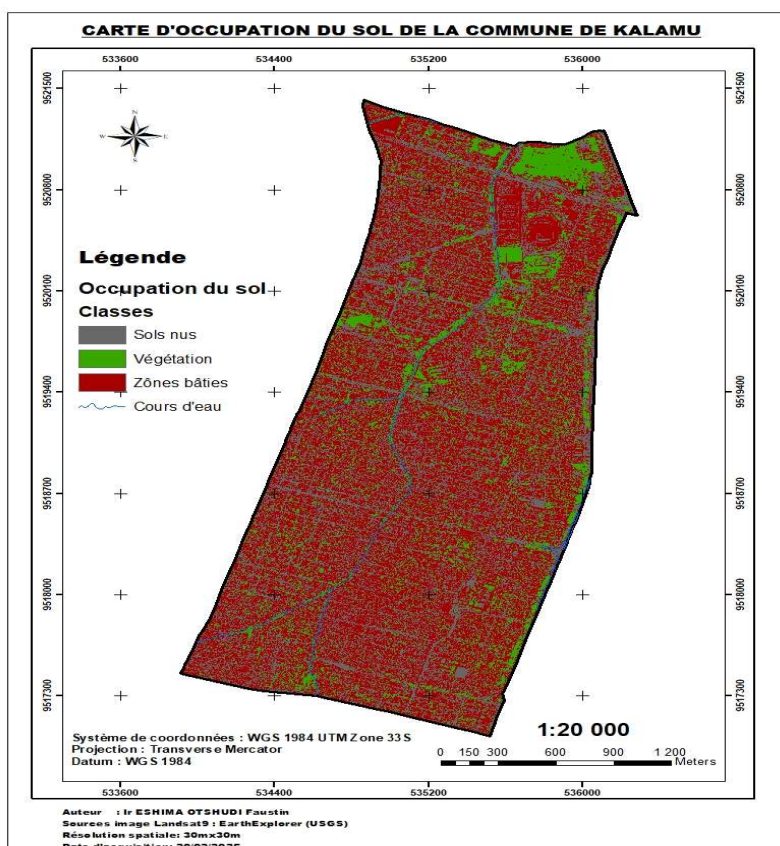


Figure 3: Carte d'occupation du sol de la commune de Kalamu

L'analyse de l'occupation du sol montre que 54,13 % de la superficie de Kalamu est occupée par des zones bâties (3 494 022,21 m² sur 6 454 872,00 m²), traduisant une urbanisation dense, souvent non maîtrisée. Cette forte imperméabilisation des sols, combinée à une faible couverture végétale (14,63 %) et à la présence de 31,13 % de sols nus, limite fortement l'infiltration des eaux pluviales et intensifie le ruissellement de surface. Bien que des cours d'eau existent (0,11 %), ceux-ci ont perdu leurs lits majeurs, voire mineurs, à cause de l'urbanisation incontrôlée et de leurs transformations aux dépotoirs, réduisant significativement leur capacité d'écoulement et aggravant les phénomènes d'inondation dans la commune.

4) Proximité aux cours d'eaux

Les régions situées à proximité des rivières et autres cours d'eau sont fortement susceptibles d'être inondées en raison du risque de débordement. La distance par rapport aux eaux est donc un paramètre important dans l'évaluation du risque d'inondation. Notre zone d'étude étant bordée par les rivières Funa et Bumbu ainsi que d'autres ruisseaux non encore cartographiés, ce critère est d'importance non négligeable. Dans cette étude, une carte de proximité aux cours d'eaux a été créée, classant les distances par rapport aux cours d'eau en cinq catégories : (0-105), (106-215), (216-325), (326-444) et (445-686) mètres (figure 5).

Les différentes distances ont été obtenues au travers des outils d'analyse spatiale par le calcul de la distance euclidienne sur ARCGIS entre les couches de la zone d'étude et celle des cours d'eaux.

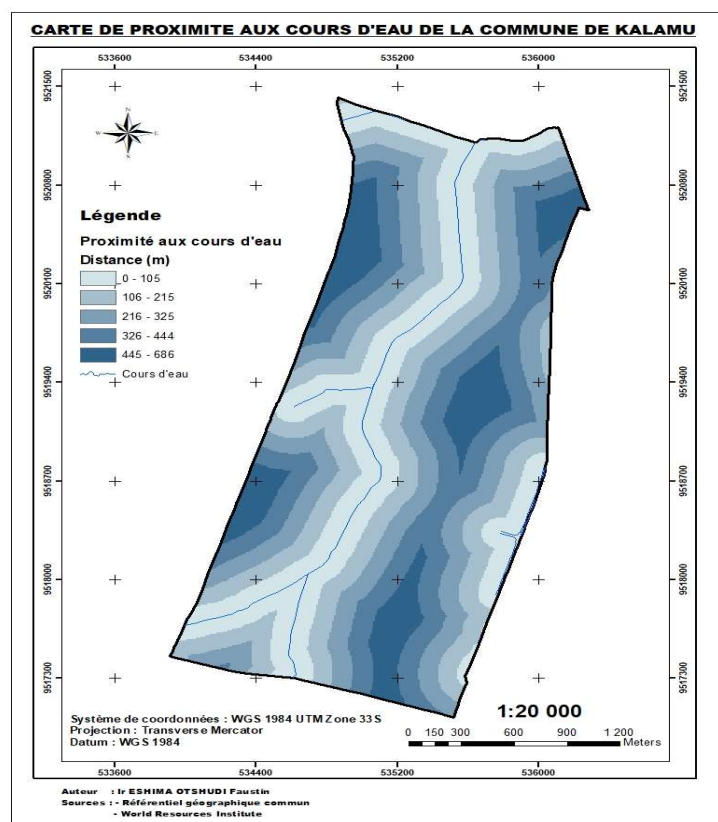


Figure 4: Carte de proximité aux cours d'eau de la commune de Kalamu

L'analyse spatiale des distances aux cours d'eau montre que 46,84 % de la superficie de Kalamu, soit 3 023 462,04 m² sur 6 454 872,00 m², est située à moins de 215 mètres des rivières, dont 23,79 % à moins de 105 m et 23,05% à moins de 215m. Ces zones sont globalement exposées aux risques d'inondation, mais le degré de vulnérabilité dépend de plusieurs facteurs, notamment :

- *La topographie* : si le terrain est plat ou faiblement incliné (comme c'est le cas pour une grande partie de Kalamu), même à 200 m des rivières, l'eau peut facilement stagner.
- *La capacité d'écoulement des rivières* : plusieurs cours d'eau à Kalamu ont perdu leurs lits majeurs et mineurs, réduisant leur capacité à évacuer les eaux pluviales.

- *L'urbanisation* : l'occupation anarchique empêche l'infiltration naturelle, favorisant le ruissellement et la surcharge des rivières.

- *L'absence ou l'insuffisance des ouvrages d'assainissement* : sans un bon réseau de drainage, les eaux débordent même au-delà des 200 m.

5) La pluviométrie

La quantité et l'intensité des précipitations sont des facteurs déclencheurs majeurs d'inondations particulièrement en milieu urbain. Une forte pluviométrie, surtout concentrée dans le temps, peut saturer les sols et les systèmes de drainage, provoquant ainsi des inondations même dans des zones à risque modéré.

Dans cette étude, une carte pluviométrique a été créée, classant les différentes intensités pluvieuses en six catégories : (259-450), (450-650), (650-880), (880-1000), (1000-1385 et (1385-1450) mm (figure 6).

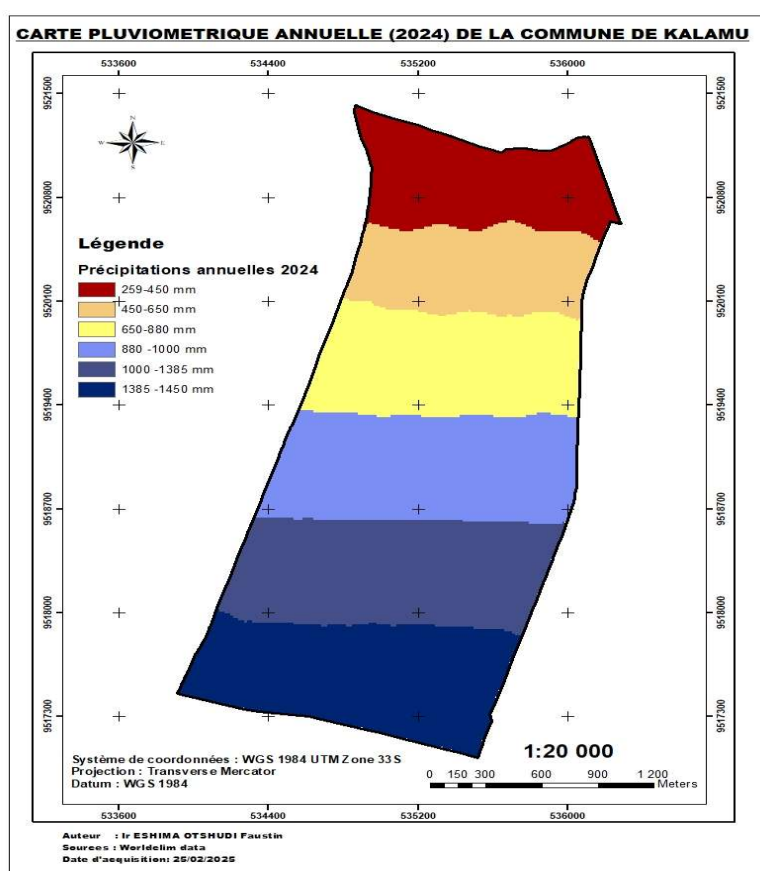


Figure 5: Carte pluviométrique annuelle (2025) de la commune de Kalamu

La carte pluviométrique annuelle 2025 de la commune de Kalamu ci-haut révèle une forte variabilité spatiale des précipitations sur l'ensemble de la commune. On y observe une augmentation progressive des hauteurs de pluie en allant du nord vers le sud de la commune :

- La zone nord de Kalamu (en rouge et orange) reçoit les précipitations les plus faibles, entre 259 mm et 650 mm par an.
- La zone centrale (jaune et bleu clair) connaît des précipitations modérées, allant de 650 mm à 1000 mm par an.

- La zone sud (bleu foncé à bleu très foncé) enregistre les pluies les plus importantes, entre 1000 mm et 1450 mm par an, représentant une charge hydrologique élevée.

En somme, cette carte montre que Kalamu, particulièrement dans sa moitié sud, est exposée à de fortes précipitations, ce qui accentue sa vulnérabilité aux inondations en absence de dispositifs adaptés.

3. Agrégation et validation de la carte de pertinence finale (carte des risques d'inondation)

Les zones à risques d'inondations ont été déterminées en utilisant l'outil d'analyse spatiale – Superposition pondérée pour agréger toutes les trames de facteurs pondérés afin de produire le résultat final, ceci en intégrant l'équation de la susceptibilité d'inondation.

L'indice de la susceptibilité aux inondations a été calculé selon l'équation suivante :

$$R=n$$

$$I = \sum RN(Ci) \times P(cr)$$

$$R= 1$$

Avec : **I**=indice global de susceptibilité aux inondations ;

n= nombre total de critères pris en compte pour l'analyse ;

R= indice de chaque critère allant de 1 à n ;

RN(Ci)= importance (poids normalisé) du critère i ;

P(cr)= note (rang) attribuée à chaque classe dans un critère.

Vulnérabilité aux inondations = (Pluviométrie * 0,375651) + (Proximité aux cours d'eau * 0,2878358) + (Pente * 0,120870777) + (Occupation du sol * 0,134029452) + (Altitude * 0,081648873)

Enfin, les témoignages historiques sur les inondations ont été utilisés pour valider la carte réalisée.

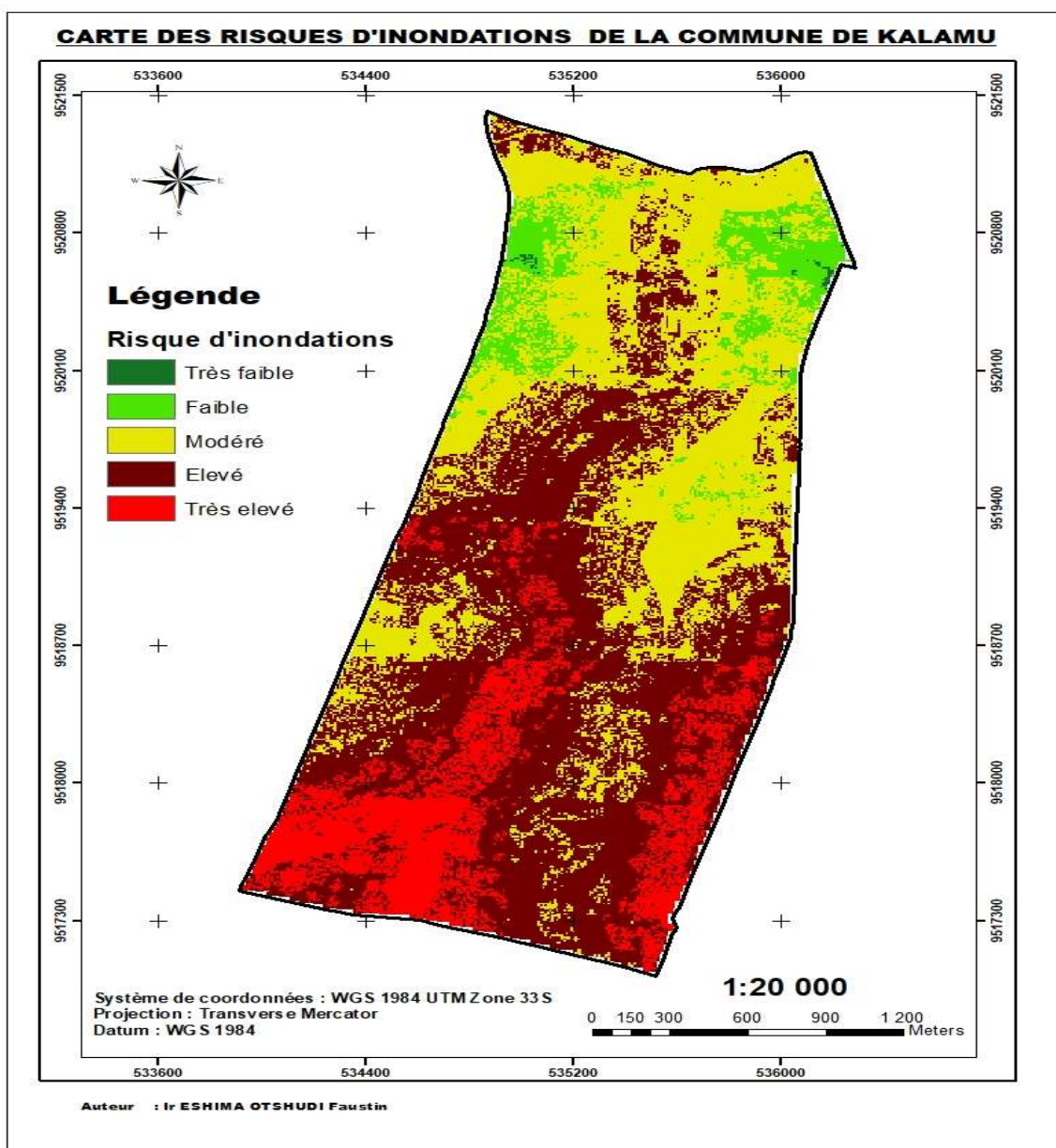


Figure 6: Carte des risques d'inondations de la commune de Kalamu

La carte des risques d'inondations, issue du croisement pondéré des facteurs d'influence, présente des valeurs continues de 1 à 5 par pixel, traduisant le degré de risques d'inondations relatifs de chaque zone. La sortie est fortement influencée par les poids, mais les valeurs combinées conservent des informations sur le degré de la vulnérabilité relative. Classée en cinq catégories : très faible, faible, modérée, élevée et très élevée ; elle révèle une répartition spatiale différenciée de risques d'inondations.

L'analyse de cette carte montre que les zones à **risque très élevé** couvrent 13,24% de la superficie totale. Elles occupent la majeure partie sud, sud-ouest et centre-sud de la commune. Ces zones présentent des pentes et des altitudes faibles, sont proches des cours d'eaux et reçoivent des précipitations annuelles importantes. Les crues affectent d'abord les basses altitudes pour inonder les parties plates, et les lits des cours d'eau sont facilement débordés.

Les zones à **risque élevé** occupent une partie considérable de la commune et sont situées dans la partie centrale et centre-sud de la commune. Ces zones occupent une proportion de 45,05 % de la zone d'étude.

Quant aux zones à **risque modéré**, elles couvrent 35,33% de la superficie totale. Elles sont localisées au centre-nord de la commune.

Les zones à **faible risque et à très faible risque** d'inondations couvrent 6,38 % de la superficie totale et sont localisées au nord de la commune.

Cette carte des risques d'inondations reflète globalement la réalité du terrain dans la commune de Kalamu, en se basant sur les données historiques d'inondations :

Cohérence avec les zones touchées par les inondations

- ✓ Les zones à risque très élevé et les zones à risque élevé sont localisées au sud, au centre et au sud-est de Kalamu, correspondent aux quartiers comme Pinzi, Yolo Nord I, II et III, Kimbangu I, II et III, Yolo Sud I, II, III, et IV, etc. qui sont historiquement fréquemment inondés lors des fortes pluies (J. GELAMBE, Octobre 2024).
- ✓ Les zones à risque faible et les zones à risque modéré sont localisées au nord comprennent des quartiers comme Immo-Congo et une partie de Matonge, situés sur des pentes légèrement plus élevées, avec un meilleur écoulement naturel des eaux.
- ✓ Les rapports de la protection civile et les observations des ONG locales confirment que les sinistres dus aux inondations sont concentrés dans le sud de Kalamu, causant régulièrement des dégâts matériels et humains (J. GELAMBE, Octobre 2024).

En somme, la carte des risques d'inondations produite est réaliste et pertinente, car elle correspond bien à la distribution spatiale réelle des risques d'inondation observés sur le terrain dans la commune de Kalamu. Elle peut donc servir de base fiable pour la planification d'actions de prévention et d'aménagement.

IV. CONCLUSION

L'étude des catastrophes naturelles, en particulier des risques d'inondation, revêt une importance capitale pour les décideurs politiques. Elle fournit des informations stratégiques essentielles à l'élaboration de mesures d'atténuation et à la mise en place de plans de gestion cohérents, visant à prévenir ou réduire les impacts des catastrophes liées à ces phénomènes.

La présente étude nous a permis d'analyser de manière intégrée la problématique des inondations dans la commune de Kalamu à travers une approche combinant diagnostic territorial et analyse multicritère.

La méthode d'analyse multicritère a été appliquée pour évaluer les zones inondables dans un environnement de système d'information géographique (SIG). La méthodologie développée a été appliquée dans la commune de Kalamu, en traitant les informations de 5 facteurs : l'altitude, la Pluviométrie, la Pente, la proximité aux cours d'eau, et l'occupation du sol. La méthode utilisée attribue une importance relative à chacun des facteurs pour l'occurrence et l'ampleur des inondations ; et les valeurs de pondération correspondantes sont définies par un "processus de hiérarchie analytique". Par la suite, en fonction de l'importance relative de chaque indice à l'échelle communale, les informations spatiales sont superposées, ce qui donne une carte des risques d'inondation. La somme des facteurs pondérés dans le SIG a permis de produire la carte de risque d'inondations qui contient cinq classes: très faible, faible, modérée, élevée et très élevée avec des proportions relatives.

Il en résulte que 13,24% de la superficie totale de Kalamu est soumis à un risque très élevé aux inondations, 45,05% à un risque élevé, 35,33% à un risque modéré, 6,28% et 0,10% à un risque faible et très faible respectivement. Les résultats obtenus indiquent que les zones inondables, avec un risque très élevé se produisent principalement dans les basses terres à proximité de

cours d'eau. En se basant sur l'historique des inondations et à la distribution spatiale réelle des risques d'inondation observés sur le terrain dans la commune de Kalamu, la carte des risques d'inondations produite a été réaliste et pertinente. Elle va donc servir de base fiable pour une proposition d'aménagement adapté au contexte local.

REFERENCES

- [1]. Djibril, B. P. (2005). *Approches hydrologiques des zones inondables en milieu urbain : exemple de la ville de Thiès, (Dakar). DEA de géographie, Université Cheikh Anta Diop. Dakar.*
- [2]. <https://fr.wikipedia.org>. (s.d.).
- [3]. Institut National de la Statistique (INS), RDC. (2023). *Rapport sur les statistiques démographiques urbaines*. Kinshasa.
- [4]. J. GELAMBE, O. L. (Octobre 2024). Analyse environnementale et sociale de l'état de lieu des inondations à Kinshasa. Cas des quartiers Yolo Nord et Kimbangu I dans la commune de Kalamu. . *Revue-IRS*, 18.
- [5]. KOUAME, K. F. (Décembre 2023). Analyse du risque d'inondation fluviale par approche hiérarchique multicritère dans le bassin aménagé du fleuve Sassandra a soubre (côte d'ivoire). *Revue de géographie du laboratoire*, 66-79.
- [6]. KOUAME, M. K., KOUADIO, B. H., YAO , J. C., & BIEMI, J. (Juillet 2023). Cartographie du risque d'inondation à Cocody et Abobo-Abidjan (Côte d'Ivoire). *Editions Francophones Universitaires d'Afrique*, 430-447.
- [7]. *Organisation Mondiale de la Santé*. (s.d.). Récupéré sur www.afro.who
- [8]. R, R. (2019). Technique de simulation pour la recherche sur le perfectionnement de la méthode AHP. . *Mémoire de Maîtrise, HEC Montréal*, 112.
- [9]. Services administratifs de la commune de Kalamu . (2024). *Présentation de la commune de Kalamu, Page 8*. Kinshasa.
- [10]. THOMAS, S. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *journal of Mathematical Psychology*, 234-281.
- [11]. *World population review*. (s.d.).