



Analyse spatio-temporelle du ruissellement et des inondations dans la ville de Kinshasa (1990–2025) à partir des données satellitaires et climatiques

Georgine Batabolo Malieme^{1,2}, Willy Lusasi Swana³, Jeancy Mvindu Kidimbu³, Freddy Moshi Mvula², Senglaithons Kitenge Okaya², Jean-Pierre Azangidi Makwama¹, Fils Milau Impwal¹, Benjamin Mandjo Lingbandulu¹

⁽¹⁾Université de Kinshasa (UNIKIN). Faculté des Sciences et Technologies. Mention Sciences et Gestion de l'Environnement. BP 190 Kinshasa XI (RDC). E-mail : willy.lusasi@unikin.ac.cd

⁽²⁾Ministère de l'Enseignement Supérieur et Universitaire, Recherche Scientifique et Innovation (MINESU-RS). Centre de Recherche en Géophysique. Kinshasa (RDC)

⁽³⁾Université de Kinshasa (UNIKIN). Faculté des Sciences et Technologies. Mention Sciences de la Vie. Laboratoire de Limnologie, Hydrobiologie et Aquaculture. BP 190 Kinshasa XI (RDC)

Reçu le 03 août 2026, accepté le 19 septembre 2026, publié en ligne le 29 septembre 2026

DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/rafea.v9i3.38>

RESUME

Description du sujet. L'accélération de l'urbanisation et les effets du changement climatique modifient profondément le fonctionnement hydrologique des villes africaines. La ville de Kinshasa, caractérisée par une croissance démographique rapide, une urbanisation souvent non planifiée et une imperméabilisation progressive des surfaces, connaît une augmentation importante des phénomènes de ruissellement et des inondations urbaines.

Objectif. Cette étude analyse la dynamique spatio-temporelle du ruissellement dans la ville de Kinshasa sur la période 1990 – 2025 à partir des données satellitaires, climatiques et géospatiales.

Méthodes. Les images Landsat multi-temporelles, les données météorologiques, les modèles numériques de terrain ainsi que les outils de télédétection et des systèmes d'information géographique ont été mobilisés pour caractériser l'évolution de l'occupation du sol, des précipitations et du ruissellement. Les analyses statistiques ont été réalisées sous XLSTAT 2024 et IBM SPSS Statistics 26, tandis que les traitements cartographiques ont été effectués sous ArcGIS 10.8.

Résultats. Les résultats montrent une augmentation significative des surfaces urbanisées accompagnée d'une réduction des espaces végétalisés entre 1990 et 2025. Cette évolution s'accompagne d'une intensification du ruissellement de surface et d'une extension progressive des zones exposées aux inondations, notamment dans les bassins versants de la N'djili, de la Lukaya et de la Funa. Les analyses de corrélation indiquent que les précipitations, l'humidité des sols et le degré d'imperméabilisation constituent les principaux facteurs expliquant les variations du ruissellement urbain.

Conclusion. L'étude met en évidence la nécessité d'intégrer les données satellitaires dans la planification urbaine afin d'améliorer la gestion des eaux pluviales et de renforcer la résilience de Kinshasa face aux changements climatiques.

Mots-clés : Ruissellement urbain, télédétection, changement climatique, inondation, Kinshasa.

ABSTRACT

Spatiotemporal analysis of runoff and flooding in the city of Kinshasa (1990–2025) using satellite and climate data

Description of the subject. Accelerating urbanisation and the effects of climate change are profoundly altering the hydrological behaviour of African cities. The city of Kinshasa, characterised by rapid population growth, often unplanned urbanisation and the gradual sealing of surfaces, is experiencing a significant increase in runoff and urban flooding.

Objective. This study analyses the spatio-temporal dynamics of runoff in the city of Kinshasa over the period 1990–2025 using satellite, climate and geospatial data.

Methods. Multi-temporal Landsat imagery, meteorological data, digital elevation models, as well as remote sensing tools and geographic information systems were utilised to characterise changes in land cover, precipitation and runoff. Statistical analyses were carried out using XLSTAT 2024 and IBM SPSS Statistics 26, whilst cartographic processing was performed using ArcGIS 10.8.

Results. The results show a significant increase in urbanised areas accompanied by a reduction in green spaces between 1990 and 2025. This trend is accompanied by an increase in surface runoff and a gradual expansion of areas at risk of flooding, particularly in the N'djili, Lukaya and Funa catchment areas. Correlation analyses indicate that rainfall, soil moisture and the degree of surface sealing are the main factors explaining variations in urban runoff.

Conclusion. The study highlights the need to incorporate satellite data into urban planning in order to improve stormwater management and enhance Kinshasa's resilience to climate change.

Keywords: Urban runoff, remote sensing, climate change, flooding, Kinshasa.

1. INTRODUCTION

Les villes africaines connaissent depuis plusieurs décennies une croissance démographique rapide accompagnée d'une urbanisation souvent non planifiée, entraînant de profondes transformations environnementales et hydrologiques (World Meteorological Organization, 2022). Dans la ville de Kinshasa, l'expansion spatiale accélérée, l'artificialisation des sols par les infrastructures urbaines et l'occupation anarchique des zones à risque telles que les bas-fonds et les vallées modifient considérablement les conditions naturelles d'écoulement des eaux pluviales (Nicholson, 2018 ; IPCC, 2021 ; World Meteorological Organization, 2022).

Ces transformations perturbent considérablement les cycles hydrologiques urbains en modifiant les processus naturels d'infiltration et d'écoulement des eaux pluviales. Elles favorisent ainsi une augmentation importante du ruissellement de surface, une réduction des capacités d'infiltration des sols et une saturation rapide des réseaux de drainage, accentuant de manière significative les phénomènes d'inondation dans plusieurs communes de la ville (Douglas *et al.*, 2008 ; Seneviratne *et al.*, 2012 ; IPCC, 2021).

Les effets du changement climatique global, largement étudiés en climatologie, se traduisent par une modification du régime des précipitations, caractérisée notamment par l'intensification des pluies extrêmes et leur concentration sur de courtes périodes (IPCC, 2023).

En Afrique centrale, et particulièrement en République Démocratique du Congo, plusieurs études montrent une variabilité croissante des précipitations associée à l'augmentation des températures atmosphériques et aux perturbations des mécanismes climatiques régionaux. Cette évolution entraîne une hausse de la fréquence et de l'intensité des événements hydrométéorologiques extrêmes, tels que les pluies torrentielles responsables des crues soudaines et des inondations urbaines (Nicholson, 2018 ; IPCC, 2021 ; World Meteorological Organization, 2022).

L'évolution du climat, associée à l'accroissement des activités humaines, exacerbe considérablement les risques de ruissellement urbain dans toute la ville de Kinshasa, plus spécifiquement au niveau des bassins versants urbains, comme c'est le cas

pour la rivière N'djili. L'occupation désordonnée des espaces, l'insuffisance des infrastructures d'assainissement, la croissance démographique rapide et la vulnérabilité socio-économique des populations accentuent l'exposition aux inondations récurrentes (IPCC, 2023).

Ainsi, les quartiers situés dans les zones basses et les plaines alluviales deviennent particulièrement sensibles aux débordements des cours d'eau et aux phénomènes d'érosion hydrique, entraînant d'importants dégâts matériels, environnementaux et humains (UN-Habitat, 2010 ; Di Baldassarre *et al.*, 2018 ; IPCC, 2021).

Dans ce contexte, il devient indispensable de développer des approches scientifiques capables d'analyser l'évolution spatio-temporelle de l'occupation du sol et ses effets sur les processus de ruissellement urbain afin de mieux comprendre les dynamiques environnementales actuelles et futures. Afin d'approfondir l'analyse de cette problématique et de mieux comprendre les interactions entre les transformations urbaines, les conditions climatiques et les processus hydrologiques dans la ville de Kinshasa ; la présente étude a pour objectif d'analyser l'évolution spatio-temporelle du ruissellement à Kinshasa en lien avec le changement climatique et l'urbanisation, afin de contribuer à une meilleure gestion des risques d'inondation.

Les résultats de cette étude sont d'une grande importance dans la mise en place des méthodes durables sur la planification urbaine, la création d'espaces verts et la gestion intégrée des bassins fluviaux, afin de réduire les dangers potentiels liés au ruissellement et aux inondations futures dans la ville de Kinshasa comme partout ailleurs en RD Congo.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Milieu d'étude

La présente étude a été réalisée dans la ville-province de Kinshasa, capitale de la République Démocratique du Congo. Cinq stations virtuelles ont été générées afin de faire le monitoring des variables choisies. Il s'agit des stations de Menkao (situé à 15.602 de longitude Est, - 4.2118 de latitude Sud et 600 m d'altitude), Tshangu Aéro (situé à 15.4111 de longitude Est, - 4.4101 de latitude Sud et 305 m d'altitude), Palais du Peuple (situé à

géographique (SIG). Elle a servi pour analyser l'évolution temporelle des variables d'étude mais également pour calculer les anomalies standardisées des variables : (i) SIG (utilisé pour spatialiser les résultats) ; (ii) SPISS : pour l'analyse de variance ; (iii) ANOVA : a servi pour la modélisation ; (iv) MODIS : pour analyser la température, l'évapotranspiration potentielle, et les précipitations et la vitesse du vent analyser par l'ANOVA 2. Enfin, une analyse diachronique a permis de mettre en évidence les changements observés entre 1990 et 2025.

Traitement des données

L'ensemble des données collectées dans le cadre de cette étude a fait l'objet d'un traitement, d'une organisation et d'une analyse à l'aide de plusieurs logiciels spécialisés en statistiques, en analyse spatiale et en cartographie numérique. Ces outils ont permis d'assurer la fiabilité des résultats obtenus, d'analyser les relations entre les variables climatiques et hydrologiques, ainsi que de représenter spatialement les phénomènes étudiés dans la ville de Kinshasa.

Les traitements statistiques descriptifs et analytiques des données climatiques, hydrologiques et environnementales ont été réalisés à l'aide du logiciel XLSTAT 2024. Ce logiciel a permis d'effectuer des analyses de corrélation, des tests statistiques, des analyses de tendance ainsi que l'étude de la variabilité des précipitations et du ruissellement sur la période étudiée. En complément, le logiciel IBM SPSS Statistics 26 a été utilisé pour les analyses statistiques avancées, notamment les régressions, les analyses multi variées et l'évaluation des relations entre les facteurs climatiques, anthropiques et hydrologiques.

Par ailleurs, les traitements géo-spatiaux et cartographiques ont été effectués avec le logiciel arc GIS 10.8. Celui-ci a permis la production des cartes thématiques, l'analyse de l'occupation du sol, la délimitation des bassins versants, l'identification des zones vulnérables aux inondations ainsi que l'analyse spatio-temporelle du ruissellement urbain. L'intégration de ces différents outils méthodologiques a favorisé une approche multidisciplinaire combinant statistique, géomatique et hydrologie urbaine pour une meilleure compréhension des dynamiques environnementales dans la ville de Kinshasa.

3. RESULTATS

3.1. Température minimale

Profil mensuel

La figure 2 ci-dessous montre que la température minimale présente trois périodes particulières : janvier-mai (elle est élevée et quasi constante), juillet (elle atteint le minimum avec 18 °C à Mitendi et 19 °C à Tshangu Aéro) et enfin, elle remonte à partir d'octobre jusqu'en décembre pour atteindre 21,3 °C à Mitendi et 22,4 °C à l'aéroport.

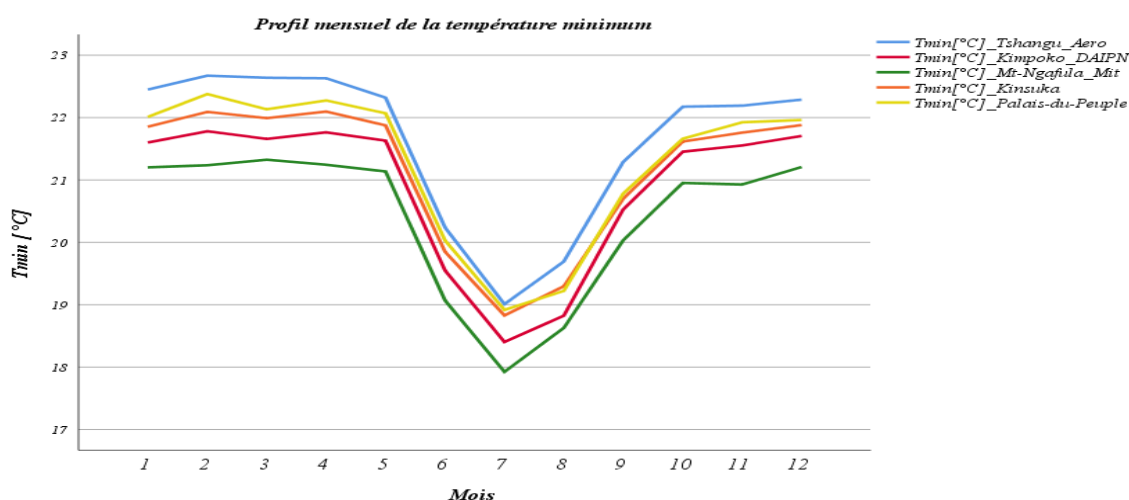


Figure 2. Profil mensuel de la température minimale observée dans cinq stations de la ville de Kinshasa entre 1990 et 2025

Profil annuel

Pendant toute la période de l'étude, les résultats montrent une tendance à la hausse des températures minimales dans les stations étudiées (figure 3). À approximativement, la température minimale varie entre 19,8 °C et 22,3 °C, ce qui traduit un réchauffement progressif du climat urbain à Kinshasa. Durant toute la période de l'étude,

Mont-Ngafula enregistre les températures les plus faibles, vraisemblablement à cause de son altitude supérieure et de son milieu moins peuplé, et Tshangu-Aéro donne les températures les plus élevées. Les stations Kinsuka, Palais du Peuple et Kimpoko présentent des statistiques au centre de l'éventail et suivent une progression comparable.

Il s'observe aussi des changements annuels significatifs à partir de 1998, 2010, 2016 et 2025. Ces situations pourraient être associées aux variétés climatiques au niveau régional ou à la croissance de l'urbanisation. Ce diagramme met en évidence une tendance stable à l'augmentation des températures minimales à Kinshasa de 1990 à 2025, suggérant l'influence combinée du réchauffement climatique et de l'effet d'îlot de chaleur urbain.

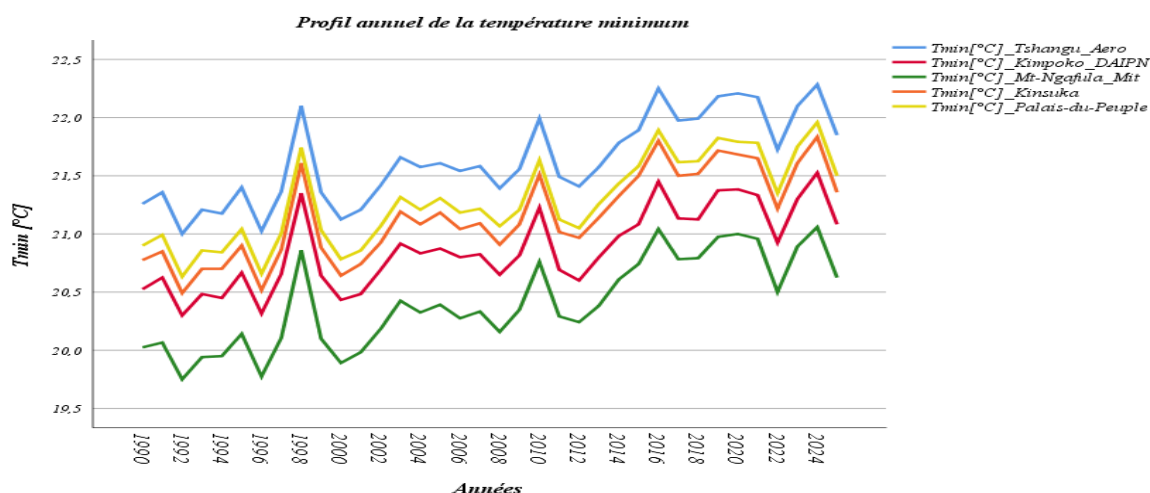


Figure 3. Profil annuel de la température minimale observée dans cinq stations de la ville de Kinshasa entre 1990 et 2025

Profil mensuel d'anomalies standardisées

La figure 4 ci-dessus présente l'évolution mensuelle des anomalies de la température minimale (Tmin) dans cinq stations de Kinshasa. Les courbes montrent une forte similitude entre les stations, traduisant un comportement climatique homogène à l'échelle de la ville. Les anomalies sont positives de janvier à mai, avec des valeurs comprises entre +0,5 °C et +0,8 °C, indiquant des températures minimales supérieures à la moyenne climatologique. À partir du mois de juin, les anomalies deviennent négatives et atteignent leur minimum en juillet, avec des valeurs proches de -2 °C, ce qui correspond à la saison sèche caractérisée par des nuits plus fraîches. Dès le mois d'août, les anomalies augmentent progressivement pour redevenir positives entre octobre et décembre. Cette évolution met en évidence une forte variabilité saisonnière de la température minimale à Kinshasa, marquée par un refroidissement prononcé durant la saison sèche et un réchauffement pendant la saison des pluies.

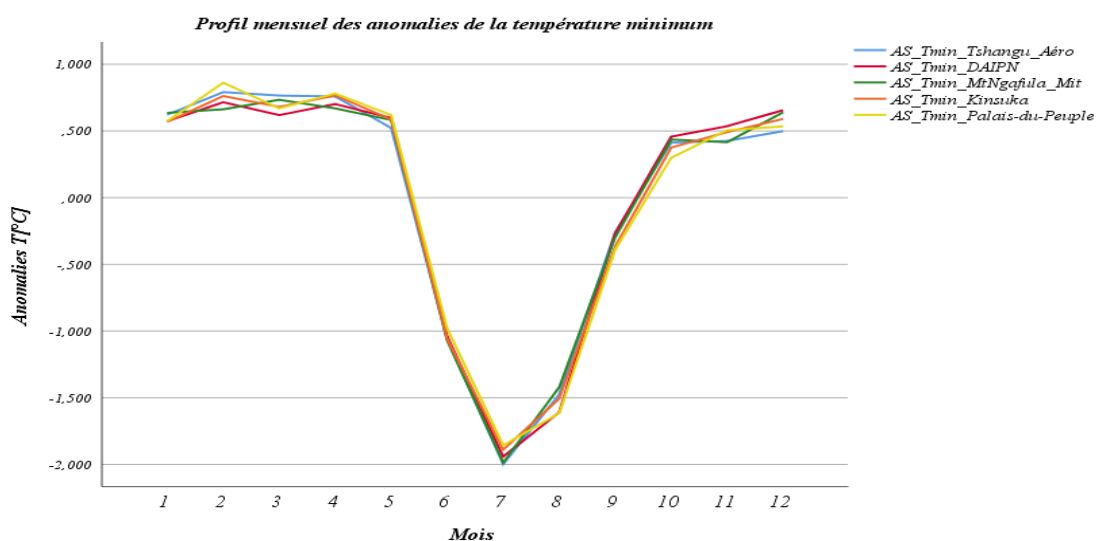


Figure 4 : Profil mensuel des anomalies de la température minimale observée dans cinq stations de la ville de Kinshasa entre 1990 et 2025

Profil annuel d'anomalies standardisées

La figure 5 montre l'évolution annuelle des anomalies de la température minimale (Tmin) dans cinq stations météorologiques de Kinshasa entre 1990 et 2025. Les résultats montrent que les anomalies sont majoritairement négatives durant les années 1990 et le début des années 2000, indiquant des températures minimales inférieures à la moyenne de référence. À partir de 2014, une tendance générale à l'augmentation des anomalies est observée, avec des valeurs devenant nettement positives et atteignant des pics supérieurs à $+0,5^{\circ}\text{C}$ autour de 2016, 2020 et 2025. Les courbes des différentes stations évoluent de manière très similaire, traduisant une homogénéité spatiale du réchauffement à l'échelle de la ville. Cette évolution met en évidence un réchauffement progressif des températures minimales à Kinshasa, probablement lié aux effets combinés du changement climatique global et de l'urbanisation croissante qui favorise le phénomène d'îlot de chaleur urbain.

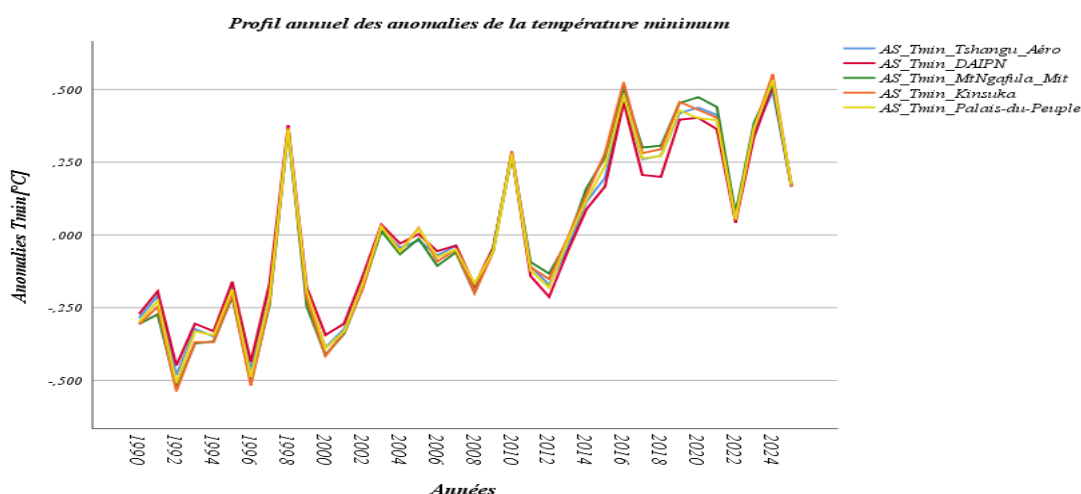


Figure 5 : Profil annuel des anomalies de la température minimale observée dans cinq stations de la ville de Kinshasa entre 1990 et 2025

Distribution spatiale de la température minimale

La figure 6 illustre la répartition spatiale de la température minimale moyenne (Tmin) dans la ville de Kinshasa. A l'échelle de la ville, une variabilité thermique a été observée avec des valeurs globalement situées entre $20,40^{\circ}\text{C}$ et $21,63^{\circ}\text{C}$. Les plus basses températures sont signalées en vert ($20,40$ à $20,81^{\circ}\text{C}$), sont localisées à l'ouest et au nord-ouest, précisément autour du fleuve Congo et dans les zones moins urbanisées. Cependant, les températures minimales les plus élevées sont signalées en rouge (entre $21,36$ et $21,63^{\circ}\text{C}$) et situées zones majoritairement urbanisées. Cette distribution spatiale de la température minimale montre l'influence de l'urbanisation sur le climat local. Les zones les plus urbanisées et imperméables accumulent la chaleur et maintiennent des températures nocturnes plus élevées que les régions à couvert végétale.

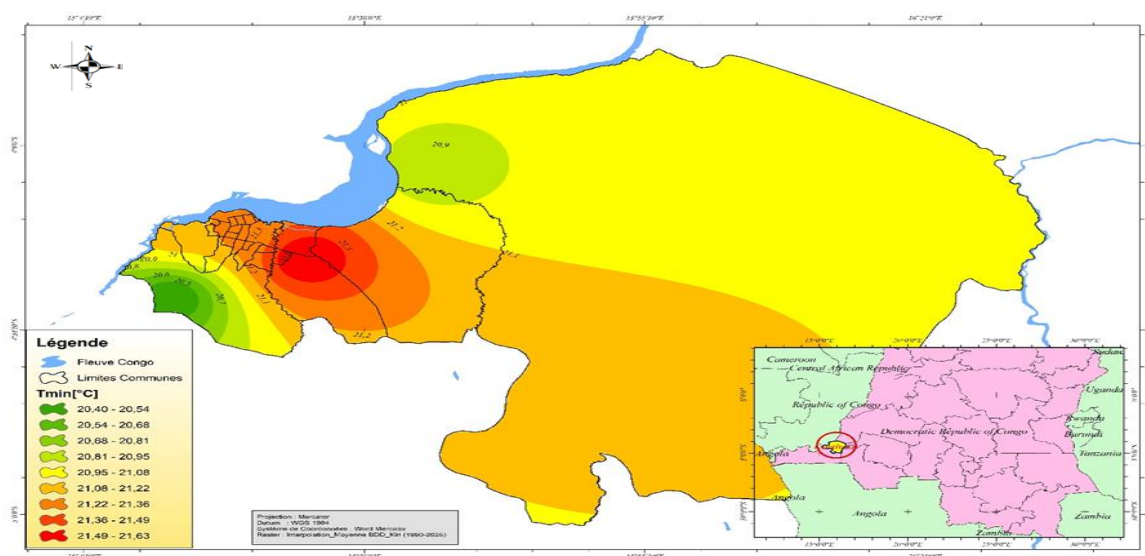


Figure 6. Distribution spatiale de la température minimale observée dans cinq stations de la ville de Kinshasa entre 1990 et 2025

3.2. Température maximale

Profil mensuel

Les résultats montrent une évolution saisonnière similaire pour l'ensemble des stations. Les températures maximales augmentent progressivement de janvier à mars-avril, où elles atteignent leurs valeurs les plus élevées, comprises entre 31,5 °C et 33,1 °C (figure 7). Et on observe une baisse considérable jusqu'en juillet, où elle varie entre 27,0 °C et 28,5 °C. C'est la saison sèche, période pendant laquelle l'on observe une réduction de l'exposition au soleil et un ciel souvent couvert de nuage. Au mois d'août, on note une hausse progressive des températures jusqu'à septembre-octobre, avant de baisser légèrement à la fin de l'année. La station de Tshangu Aéro mesure les températures les plus élevées, tandis que Mont-Ngafula enregistre les plus basses, probablement due à son altitude supérieure et à sa végétation plus fournie. Cette distribution souligne l'impact des saisons et des caractéristiques locales sur la variabilité thermique de la ville de Kinshasa.

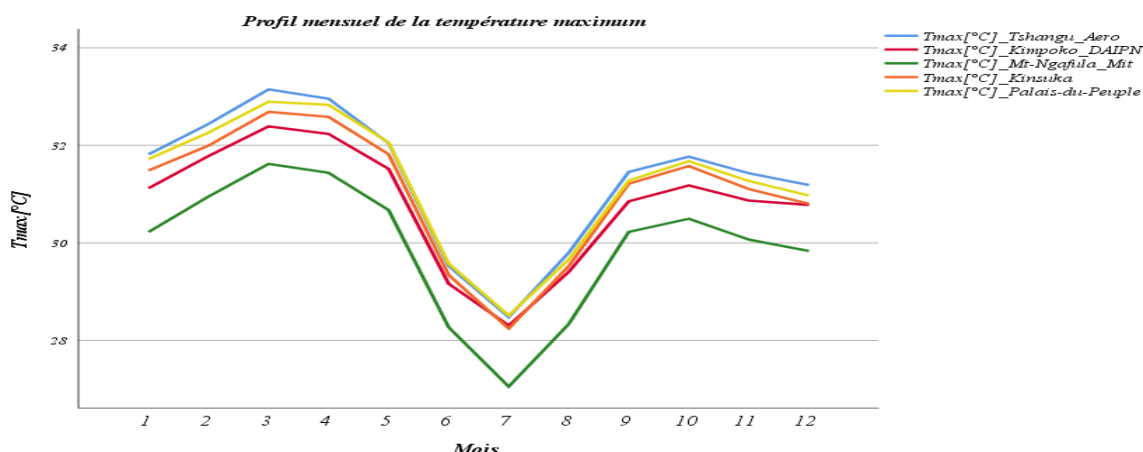


Figure 7. Profil mensuel de la température maximale observée dans cinq stations de la ville de Kinshasa entre 1990 et 2025

Profil annuel

Les résultats démontrent une tendance générale à l'élévation des températures maximales durant la période examinée, bien qu'il y ait quelques variations d'une année à l'autre (figure 8). Les valeurs les plus basses sont notées au début des années 1990, alors que les températures les plus hautes se manifestent au cours de la période la plus récente, surtout entre 2015 et 2025, une époque où plusieurs enregistrements ont franchi la barre des 32 °C dans différentes stations. La station de Tshangu Aéro repère régulièrement les températures maximales les plus hautes, tandis que Mont-Ngafula affiche les chiffres les plus bas, vraisemblablement grâce à son altitude supérieure et à sa couverture végétale plus abondante. L'évolution similaire des différentes courbes indique un réchauffement généralisé à l'échelle de la ville. Cette tendance traduit l'influence combinée du changement climatique et de l'urbanisation croissante, qui contribuent à l'augmentation des températures maximales et au renforcement du phénomène d'îlot de chaleur urbain à Kinshasa.

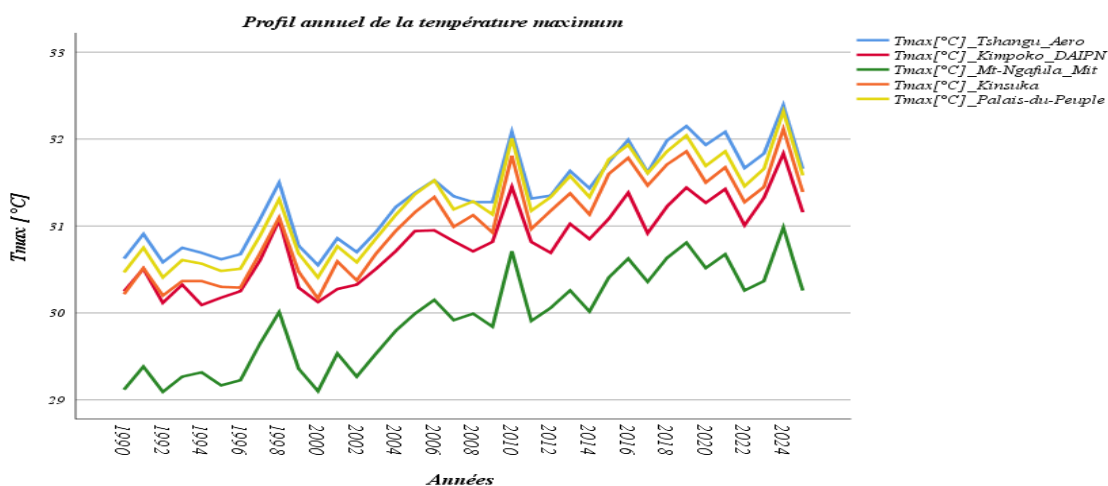


Figure 8. Profil annuel de la température maximale observée dans cinq stations de la ville de Kinshasa entre 1990 et 2025

Profil mensuel d'anomalies standardisées

Les courbes montrent un comportement très similaire d'une station à l'autre, traduisant une forte homogénéité spatiale du régime thermique (figure 9). Les anomalies sont positives de janvier à mai, avec un maximum observé en mars-avril où elles dépassent $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$, indiquant des températures maximales supérieures à la normale. À partir du mois de juin, les anomalies deviennent fortement négatives et atteignent leur minimum en juillet (environ $-1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$), correspondant à la période la plus fraîche de la saison sèche. Ensuite, elles augmentent progressivement dès le mois d'août pour redevenir légèrement positives en septembre et octobre, avant de se rapprocher de la normale en novembre et décembre. Cette répartition met en évidence une forte influence de la saisonnalité sur les températures maximales à Kinshasa, avec un contraste marqué entre la saison des pluies, plus chaude, et la saison sèche, plus fraîche.

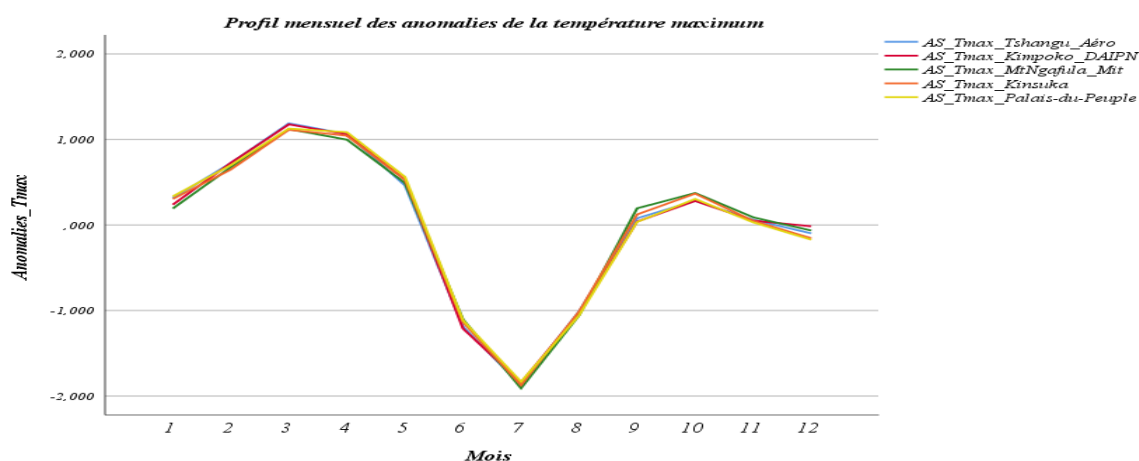


Figure 9 : Profil mensuel des anomalies de la température maximale observée dans cinq stations de la ville de Kinshasa entre 1990 et 2025

Profil annuel d'anomalies standardisées

Les résultats montrent que les anomalies sont majoritairement négatives durant les années 1990 et le début des années 2000, avec des valeurs atteignant parfois $-0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, traduisant des températures maximales inférieures à la moyenne de référence (figure 10). À partir du milieu des années 2000, une tendance générale à l'augmentation des anomalies est observée, celles-ci devenant progressivement positives. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées après 2015, avec plusieurs pics dépassant $+0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, notamment vers 2020 et 2025, ce qui témoigne d'un réchauffement marqué des températures maximales. La forte similitude des courbes entre les différentes stations indique que ce réchauffement affecte l'ensemble de la ville de Kinshasa. Cette évolution met en évidence une tendance au réchauffement climatique local, probablement renforcée par l'expansion urbaine et le développement des surfaces imperméabilisées qui contribuent à l'intensification du phénomène d'îlot de chaleur urbain.

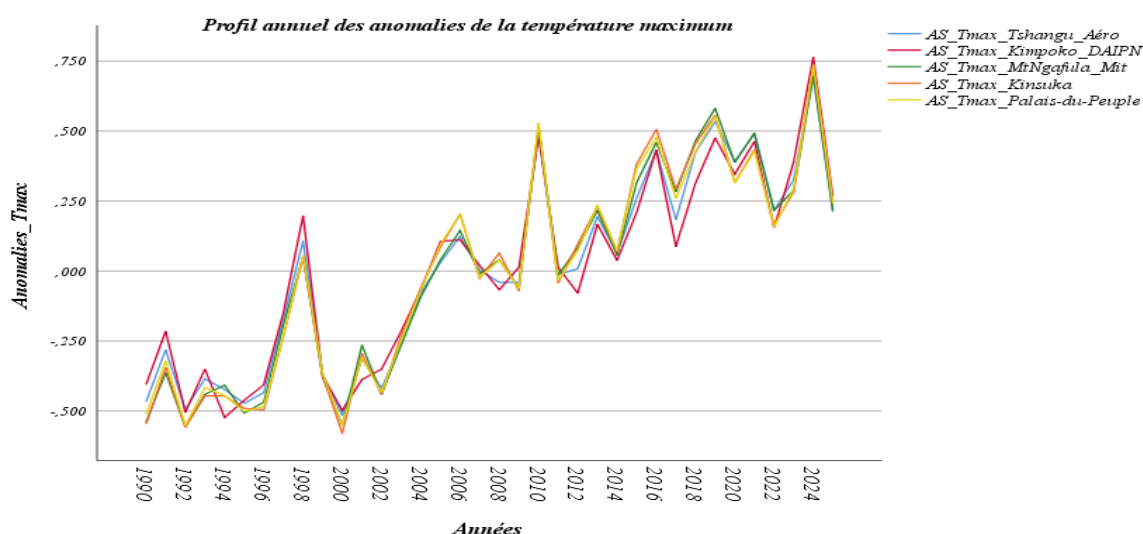


Figure 10. Profil annuel des anomalies de la température maximale observée dans cinq stations de la ville de Kinshasa entre 1990 et 2025

Distribution spatiale

Les valeurs varient entre 29,93 °C et 31,33 °C, avec une distribution hétérogène. Les valeurs varient entre 29,93 °C et 31,33 °C, présentant une distribution inégale (figure 11). Les températures les plus hautes (31,02 - 31,33 °C), mises en évidence par une couleur rouge sombre, se localisent principalement à l'ouest et au sud-ouest de la ville, particulièrement dans les secteurs denses en urbanisation où l'emprise de l'effet d'îlot de chaleur urbain est plus prononcée. On remarque que les températures les plus faibles (29,93 - 30,24 °C), signalées en jaune, à proximité du fleuve Congo et dans certaines zones environnantes où l'influence des étendues d'eau et de la verdure est plus marquée. La plupart de la région est caractérisée par des températures oscillant entre 30,55 °C et 30,86 °C, signalant ainsi un climat majoritairement chaud. Ce déploiement révèle l'impact cumulatif de l'urbanisation, de la végétation et de la présence du fleuve sur les fluctuations thermiques enregistrées à Kinshasa.

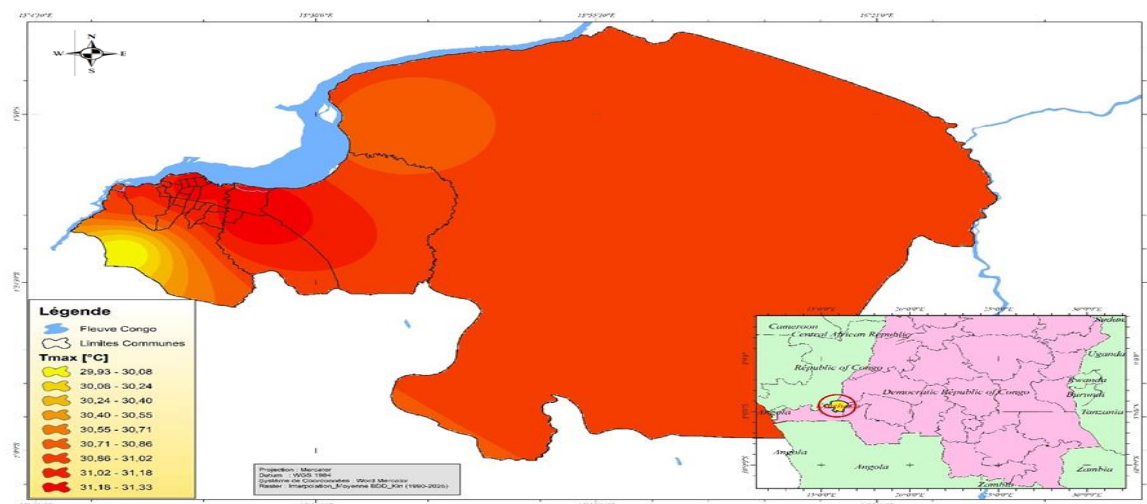


Figure 11. Distribution spatiale de la température maximale observée dans cinq stations de la ville de Kinshasa entre 1990 et 2025

3.3. Précipitations mensuelles

Profil mensuel

Les courbes montrent une évolution presque identique d'une station à l'autre, ce qui traduit une répartition relativement homogène des pluies à l'échelle de la ville (figure 12). On remarque une élévation progressive des précipitations de janvier à avril, culminant à un premier pic d'environ 220 à 230 mm en avril. Elles connaissent ensuite une chute considérable pour abaisser à des niveaux très bas entre juin et août, avec un plancher établi en juillet (moins de 10 mm), période qui concorde avec la saison sèche. Les précipitations commencent à monter en flèche dès septembre pour atteindre un pic en novembre, avec des valeurs qui surpassent 280 à 300 mm, signalant l'apogée de la saison des fortes pluies. Les précipitations demeurent copieuses en décembre puis connaissent une baisse progressive. Cette répartition met en évidence le régime pluviométrique bimodal de Kinshasa, caractérisé par deux saisons pluvieuses (mars-mai et septembre-décembre) séparées par une saison sèche marquée de juin à août. Cette forte variabilité saisonnière des précipitations influence directement les phénomènes de ruissellement, d'érosion et d'inondation observés dans la ville.

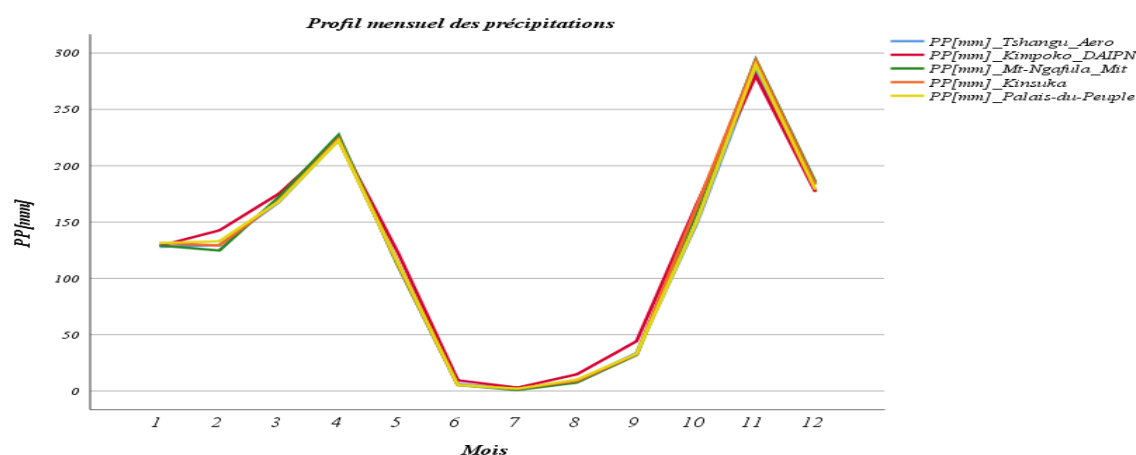


Figure 12. Profil mensuel des précipitations observé dans cinq stations de la ville de Kinshasa entre 1990 et 2025

Profil annuel

Les résultats ci-dessous montrent une similitude notable entre les diverses stations, ce qui indique une répartition assez équilibrée des précipitations dans l'ensemble de la ville (figure 13). Les quantités de précipitations annuelles varient d'une année à l'autre et se situent habituellement entre 95 mm et 145 mm, témoignant d'une forte variabilité annuelle. Les années 2001, 2010 et 2015, sont caractérisées par des déficits pluviométriques, alors que 1997, 2011, 2019 et 2025, se distinguent par des précipitations plus élevées. Durant cette période, aucune tendance à la hausse ou à la baisse n'est nette malgré la fluctuation. Cette variabilité pluviométrique peut être influencée par les oscillations climatiques régionales constituant un facteur important dans la dynamique du ruissellement et des inondations urbaines à Kinshasa, lors des années exceptionnellement humides.

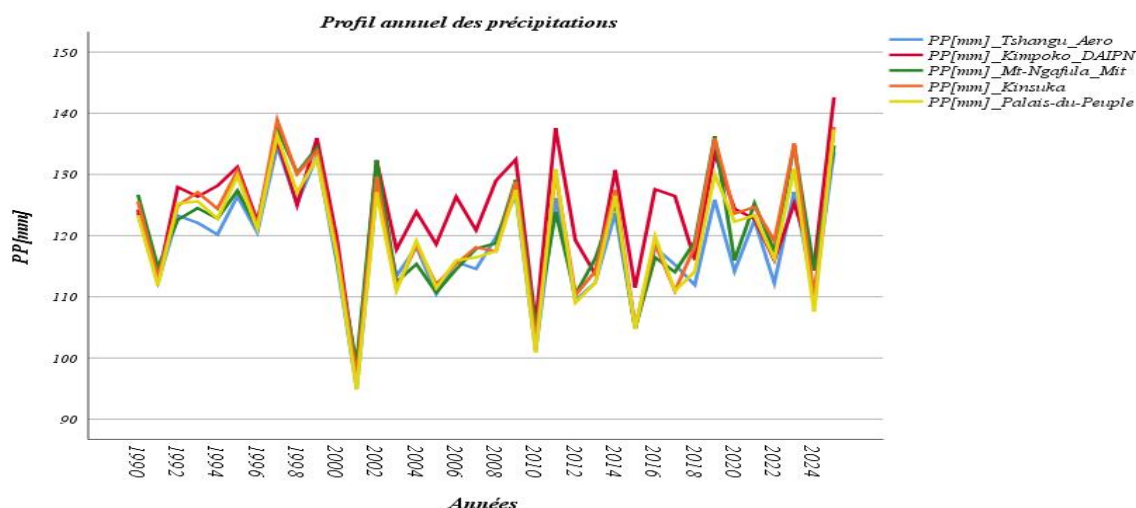


Figure 13. Profil annuel des précipitations observé dans cinq stations de la ville de Kinshasa entre 1990 et 2025

Profil mensuel d'anomalies standardisées

Les courbes sont pratiquement confondues, ce qui traduit une faible variabilité spatiale des anomalies pluviométriques à l'échelle de la ville (figure 14). Les anomalies sont légèrement positives de janvier à avril, avec un maximum observé en avril (environ +1,1), indiquant des précipitations supérieures à la moyenne climatologique. À partir du mois de mai, les anomalies diminuent fortement et deviennent négatives de juin à septembre, atteignant leur minimum en juillet (environ -1,3), ce qui correspond à la saison sèche caractérisée par un déficit pluviométrique marqué. Les anomalies augmentent ensuite rapidement dès octobre pour atteindre un pic en novembre (près de +1,8), mois le plus arrosé de l'année, avant de diminuer légèrement en décembre tout en restant positives. Cette répartition met en évidence le caractère saisonnier du régime pluviométrique de Kinshasa, avec une alternance entre des périodes excédentaires durant les saisons des pluies et déficitaires pendant la saison sèche, influençant directement les phénomènes de ruissellement et d'inondation dans la ville.

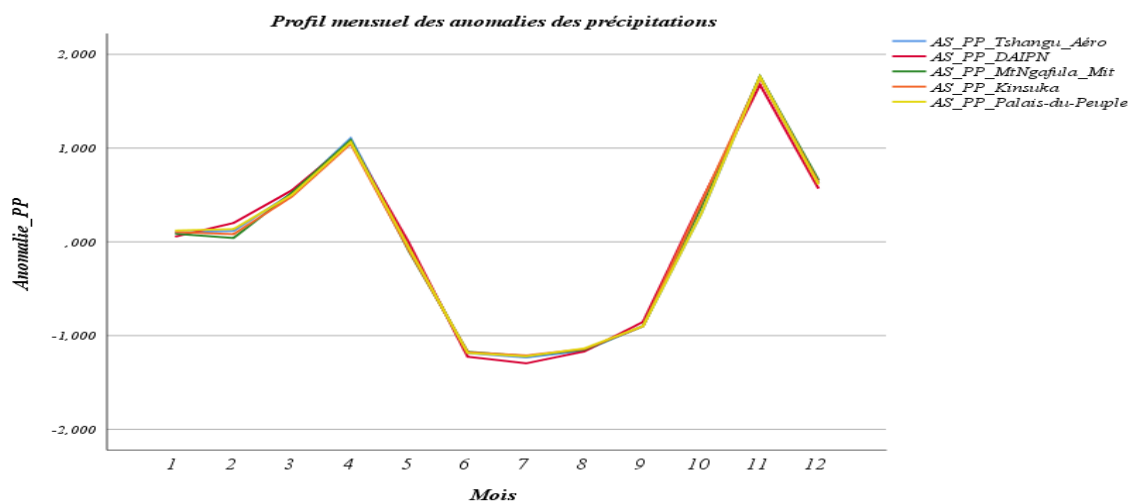


Figure 14. Profil mensuel des anomalies standardisées relatives aux précipitations observé dans cinq stations de la ville de Kinshasa entre 1990 et 2025

Profil annuel d'anomalies standardisées

Les courbes montrent des fluctuations importantes d'une année à l'autre, avec une alternance d'anomalies positives et négatives, traduisant une forte variabilité interannuelle des précipitations (figure 15). Les années caractérisées par des anomalies positives correspondent à des périodes plus humides que la normale, tandis que les anomalies négatives indiquent des déficits pluviométriques. Les déficits les plus marqués sont observés autour des années 2002, 2010 et 2015, alors que des excédents pluviométriques importants apparaissent notamment vers 1998, 2011, 2019 et 2025. La similitude des courbes entre les différentes stations témoigne d'une homogénéité spatiale du régime pluviométrique à l'échelle de la ville. Globalement, aucune tendance nette à l'augmentation ou à la diminution des précipitations n'est observée sur l'ensemble de la période, mais la succession d'années humides et sèches met en évidence une variabilité climatique susceptible d'influencer l'intensité du ruissellement, l'érosion des sols et la fréquence des inondations urbaines à Kinshasa.

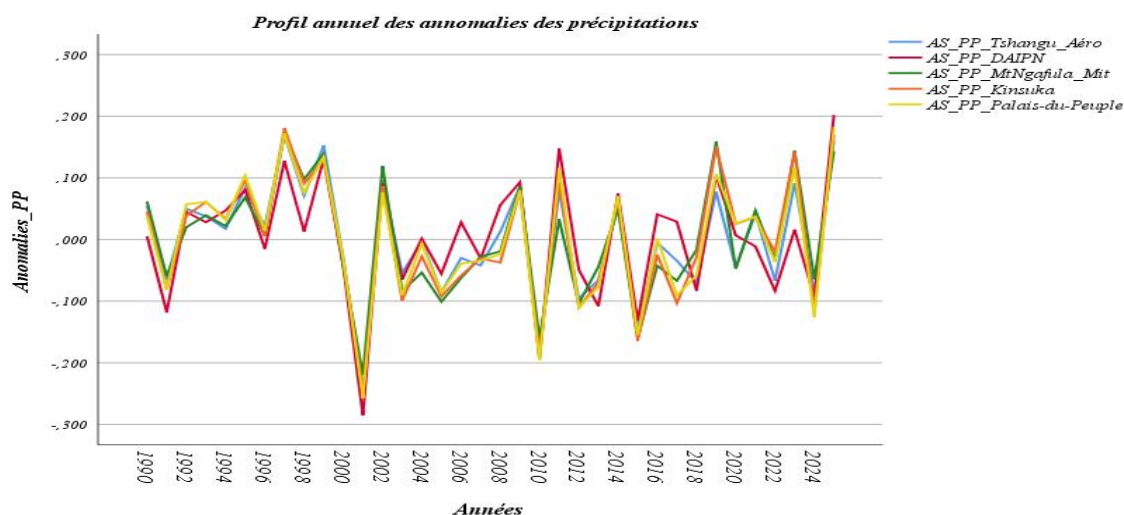


Figure 15. Profil annuel des anomalies standardisées de précipitations observé dans cinq stations de la ville de Kinshasa entre 1990 et 2025

Distribution spatiale

Les valeurs varient globalement entre 118,54 mm et 123,76 mm, révélant une légère variabilité spatiale du régime pluviométrique (figure 16). Les précipitations maximales en bleu foncé à 122,60 à 123,76 mm, sont été enregistrées au nord de la ville à proximité du fleuve Congo. Alors que les valeurs les plus faibles en vert de 118,54 à 119,70 mm, sont concentrées dans les zones ouest et sud-ouest. La majeure partie de la ville présente des précipitations qui sont comprises entre 120 et 122 mm, ce qui traduit une distribution relativement homogène de pluie. Cette répartition spatiale montre une influence des conditions topographique, circulation atmosphérique locale et le voisinage du fleuve Congo. Les zones recevant les plus fortes pluies sont potentiellement plus exposées aux phénomènes de ruissellement et d'inondation, particulièrement lorsque les capacités d'infiltration et de drainage sont limitées.

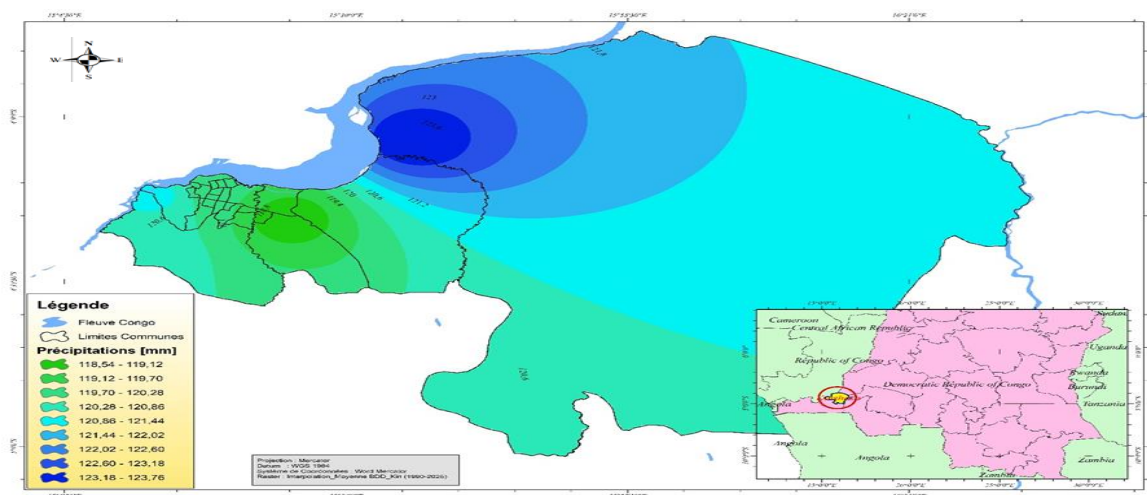


Figure 16. Répartition spatiale des précipitations sur une base mensuelle observé dans cinq stations de la ville de Kinshasa entre 1990 et 2025

3.4. Ruissellement

Profil mensuel

Les courbes montrent une très forte similitude entre les stations, indiquant une faible variabilité spatiale du ruissellement à l'échelle de la ville (figure 17). Les valeurs les plus élevées sont observées en avril, avec des maxima compris entre 90 et 95 mm, période correspondant à l'une des saisons les plus pluvieuses de l'année. Suite à cette période de pointe, le ruissellement connaît une forte baisse de mai à septembre, atteignant son niveau le plus bas en septembre avec des valeurs qui tombent en dessous de 10 mm, ceci est dû à une présence marquée de pluie restreinte et à la saison sèche. À partir d'octobre, le débit de ruissellement connaît une nette montée et atteint un deuxième pic en novembre et décembre (environ 65 à 77 mm), suite au retour des intenses précipitations. Cette progression est étroitement corrélée avec le schéma de précipitations de Kinshasa et démontre que les périodes de pluies intenses conduisent à une hausse significative des débits de surface. Ainsi, les mois d'avril, novembre et décembre apparaissent comme les périodes les plus favorables au développement du ruissellement et, par conséquent, aux risques d'érosion et d'inondation dans la ville de Kinshasa.

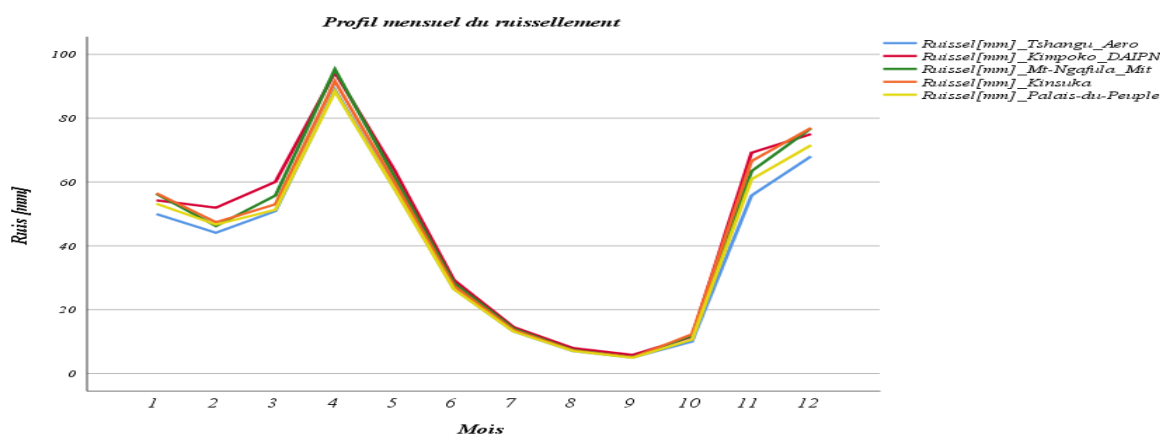


Figure 17. Profil mensuel du ruissellement observé dans cinq stations de la ville de Kinshasa entre 1990 et 2025

Profil annuel

Les résultats ci-dessous démontrent une large variation interannuelle du ruissellement, les valeurs variant généralement entre 22 mm et 63 mm en fonction des années et des sites d'observation (figure 18). Les courbes montrent une tendance générale similaire, suggérant que les fluctuations du débit sont principalement influencées par les conditions météorologiques régionales, en particulier les précipitations. Les années 1997, 1998, 2010, 2019 et 2025 sont marquées par une intensification du ruissellement, témoignant d'une plus grande humidité et d'une hausse des courants de surface. À l'opposé, on observe des creux notables autour de 2001, 2011 et 2016, qui correspondent à des phases assez sèches. Généralement, la station de Kimpoko donne des valeurs plus hautes, alors que les autres stations montrent des niveaux similaires. Globalement, aucune tendance régulière à la hausse ou à la baisse n'est observée sur l'ensemble de la période, mais les fluctuations enregistrées témoignent d'une forte sensibilité du ruissellement aux variations climatiques. Ces variations peuvent avoir des conséquences importantes sur les phénomènes d'érosion, de transport des sédiments et d'inondation dans la ville de Kinshasa.

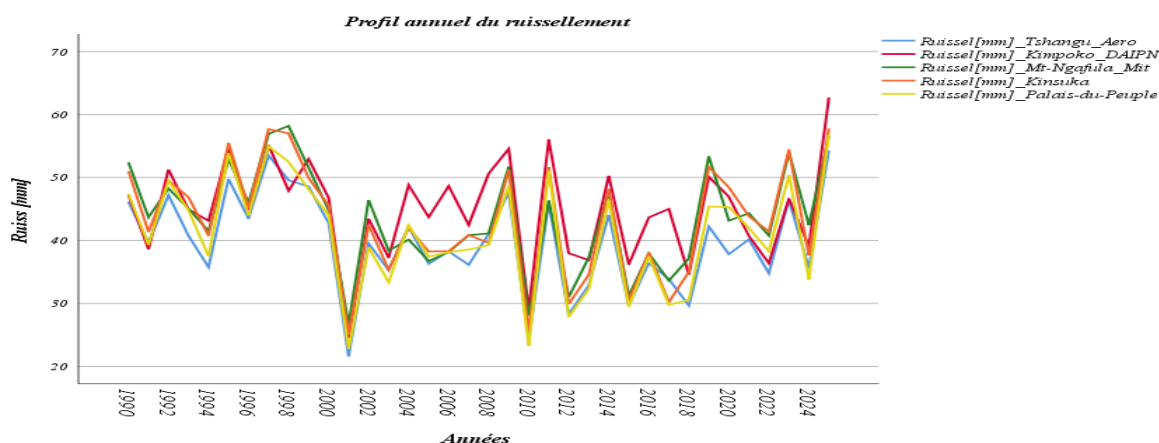


Figure 18. Profil annuel du ruissellement observé dans cinq stations de la ville de Kinshasa entre 1990 et 2025

Profil mensuel d'anomalies standardisées

L'analyse mensuelle des irrégularités du ruissellement révèle une tendance similaire dans les cinq sites examinés (Tshangu Aéro, DAIPN, Mont-Ngafula, Kinsuka et Palais du Peuple), soulignant une forte consistance spatiale de ce phénomène à Kinshasa (figure 19). Les anomalies sont positives de janvier à Mai avec un pic maximal en avril (soit +1,5) cela traduit un ruissellement supérieur à la normal pendant les fortes précipitations. Vers le mois de juin, les anomalies deviennent négatives et les valeurs le plus faibles sont observées en août et septembre -1,1. C'est la saison sèche correspondant à une diminution de pluie et de ruissellement. Vers le mois de novembre, les anomalies redeviennent positives pour atteindre le maximum au mois de décembre.

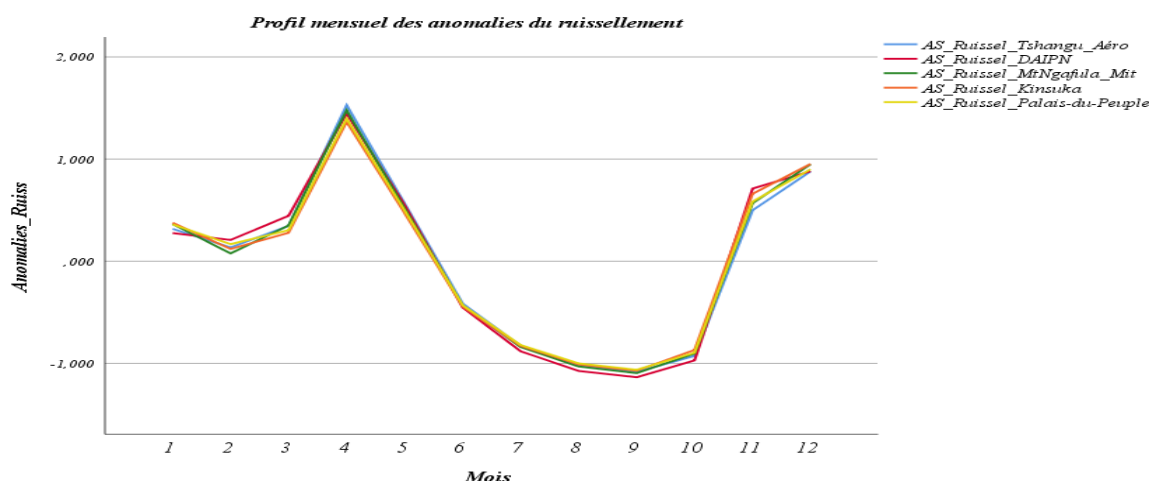


Figure 19. Profil mensuel des anomalies du ruissellement observé dans cinq stations de la ville de Kinshasa entre 1990 et 2025

Profil annuel d'anomalies standardisées

D'après la figure 20 ci-dessous, le profil annuel des anomalies du ruissellement montre une forte variabilité interannuelle entre 1990 et 2025 dans les différentes stations de Kinshasa (Tshangu Aéro, DAIPN, Mont-Ngafula, Kinsuka et Palais du Peuple). Les anomalies varient entre des valeurs positives et négatives, indiquant des variations de périodes de surplus et de pénurie en termes de ruissellement. Des pics positifs sont remarqués, surtout entre 1997-1999, 2009-2011, 2020 et 2025, signalant des années où le ruissellement était au-dessus de la moyenne, probablement en raison de pluies généreuses. À l'inverse, des sommets d'anomalies négatives marquantes apparaissent autour de 2003, 2010, 2012, 2015 et 2018, mettant en lumière des insuffisances de ruissellement associés à des périodes plus chaudes. L'homogénéité de la réponse hydrologique à l'échelle de la ville est attestée par la similarité des courbes entre les stations. Dans l'ensemble, ces changements soulignent l'impact de la variabilité climatique sur le modèle du ruissellement à Kinshasa et mettent l'accent sur la présence de phases successives de sécheresse et de manque d'eau qui pourraient influencer la gestion de l'eau et le risque d'inondation.

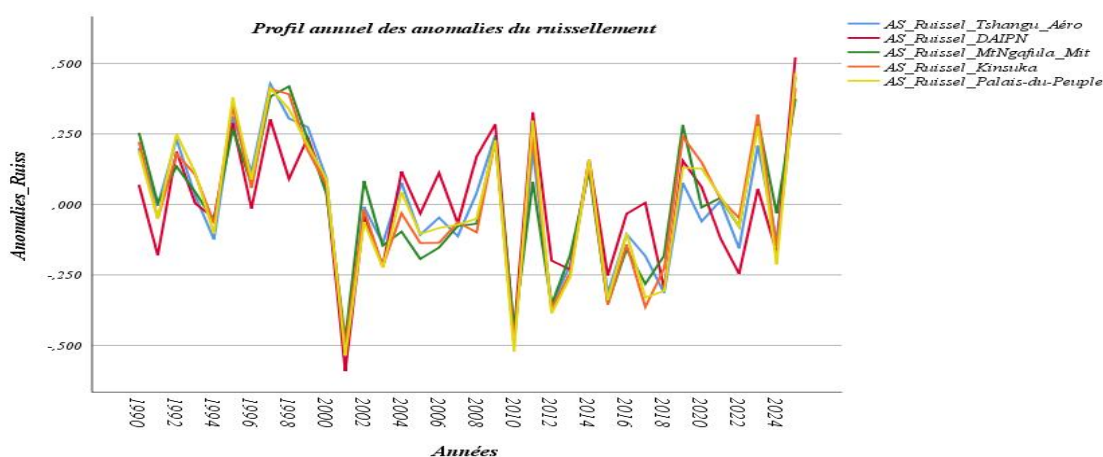


Figure 20. Profil annuel du ruissellement observé dans cinq stations de la ville de Kinshasa entre 1990 et 2025

Distribution spatiale

La figure 21 montre la répartition spatiale du ruissellement moyen dans la ville de Kinshasa, avec des valeurs comprises entre 39,76 mm et 44,80 mm. Les zones de fort ruissellement (43,68 à 44,80 mm), représentées en rouge, sont localisées principalement dans la partie nord-centre de la ville, à proximité du fleuve Congo, où les conditions de surface favorisent un écoulement rapide des eaux de pluie. Toutefois, les régions où le taux de ruissellement est bas (39,76 à 40,88 mm), rendues visibles en bleu, se trouvent dans les municipalités du centre-ouest et du sud-ouest, signalant un fort processus d'infiltration de l'eau ou une tendance faible à créer des ruisseaux. La majorité des surfaces affichent des valeurs comprises entre 41 et 43 mm. Cette répartition spatiale souligne l'influence conjointe de la topographie, de l'utilisation des terres, de l'imperméabilisation des surfaces urbaines et des propriétés hydrologiques locales. Il semble que les secteurs à fort ruissellement sont plus susceptibles de subir des phénomènes d'accumulation d'eaux de pluie et d'inondations, alors que les zones à faible ruissellement facilitent davantage l'infiltration de ces eaux dans le sol.

Figure 21. Distribution spatiale du ruissellement observé dans cinq stations de la ville de Kinshasa entre 1990 et 2025

4. DISCUSSION

Les analyses diachroniques réalisées au cours de cette recherche ont montré une progression remarquable des zones bâties au détriment des formations végétales et des espaces naturels. Ce changement a conduit à une réduction de la capacité des sols à infiltrer les eaux pluviales, ce qui favorise l'accroissement des flux de surface. Ces résultats sont en accord avec ceux de Mukasani *et al.* (2025) qui ont noté une importante expansion des zones urbaines dans les plaines inondées du bassin versant de la N'djili de 2010 à 2025. Ces auteurs estiment que la croissance rapide de l'urbanisation est directement associée à une intensification du risque d'inondation ainsi qu'à un accroissement du nombre de populations exposées (Mukasani *et al.*, 2025). La similitude entre leurs conclusions et celles de la présente étude démontre que l'expansion urbaine non maîtrisée constitue aujourd'hui l'un des principaux facteurs de vulnérabilité hydrologique à Kinshasa.

L'analyse climatique a révélé une variabilité significative de précipitation dans le temps et dans l'espace est caractérisée par une alternance de période humide et sèche et par l'intensification des épisodes pluvieuses extrême. La variabilité pluviométrique est un facteur aggravant du ruissellement surtout dans les zones fortement urbanisé ou les surfaces sont imperméables et empêchant l'infiltration des eaux. Bien que les précipitations demeurent le principal facteur déclencheur des inondations, leur impact est amplifié par les transformations anthropiques du milieu urbain. Concernant la deuxième hypothèse secondaire, les résultats démontrent que les facteurs climatiques et anthropiques influencent significativement l'évolution du ruissellement dans la ville de Kinshasa (IPCC, 2023).

Les modèles statistiques et les analyses spatiales développés dans la présente étude ont mis en évidence l'importance combinée des précipitations, de l'évapotranspiration potentielle, de l'humidité du sol ainsi que des modifications de l'occupation du sol dans la génération des écoulements de surface.

Ces observations rejoignent les travaux de Mukuwa *et al.* (2024) qui ont montré que les zones urbanisées du bassin versant de la rivière N'djili présentent les plus fortes sensibilités à l'érosion et au ruissellement. Ces auteurs soulignent également que la réduction de la couverture végétale favorise l'accélération des écoulements superficiels et l'augmentation des pertes en sols (Mukuwa *et al.*, 2024). Ainsi, l'interaction entre les facteurs climatiques et les activités humaines apparaît comme un élément déterminant dans la dynamique hydrologique de Kinshasa.

Les cartes générées ont indiqué que les municipalités caractérisées par une urbanisation dense et fréquemment désordonnées montrent les niveaux de risque les plus importants. Cette condition est en grande partie due à l'envahissement des secteurs inondables, le manque de structures d'évacuation des eaux, la généralisation de l'imperméabilité des terrains et la dégradation graduelle de la flore en milieu urbain (Muya *et al.*, 2022). Dans le cadre de leur recherche, Muya *et al.* (2022) ont repéré un lien étroit entre le ruissellement de surface et la formation des ravins dans la commune de N'sele. Les auteurs ont démontré que les zones urbanisées non planifiées constituent des espaces particulièrement vulnérables aux phénomènes d'érosion hydrique, tandis que les axes routiers jouent le rôle de couloirs préférentiels d'écoulement des eaux pluviales (Muya *et al.*, 2022).

Ces observations concordent aussi avec celles relevées par Mukuwa *et al.* (2024) axée sur le bassin versant de la Lubudi en RD Congo. Entre 1979 à 2021, selon les analyses de Mukuwa *et al.* (2024), une diminution marquée de la couverture végétale est liée à la croissance démographique accélérée. Aussi, le changement dans l'usage de terre a provoqué une augmentation significative de ruissellements urbains et une intensification de l'incident d'inondation. Les observations faites par Mukuwa *et al.* (2024) mettent en évidence la dégradation des zones humides, les capacités hydrologiques naturelles de l'environnement

favorisant ainsi les ruissellements rapides des eaux superficielles.

Les conclusions de cette recherche sont aussi en accord avec celles de Mawana & Phanzu (2024), qui fait savoir que les inondations répétées constatées dans la ville de Kinshasa découlent autant de facteurs naturels que d'activités humaines. Selon cet auteur, le désordre dans l'aménagement, l'utilisation des plaines d'inondation et l'envasement progressif des cours d'eau sont des éléments centraux qui exacerbent le danger d'inondation (Mawana & Phanzu, 2024). Au cours de cette étude, les résultats obtenus ont mis en lumière que les régions à proximité de grands cours d'eau, en particulier dans les bassins de la N'djili, de la Funa et de la N'sele, demeurent massivement menacées par des inondations à cause de la grande concentration urbaine qui pèse sur ces zones.

5. CONCLUSION

La présente étude a permis de mettre en évidence l'importance de la dimension spatio-temporelle de l'usage des sols pour mieux comprendre les variations du ruissellement et des inondations dans la ville de Kinshasa en RD Congo de 1990 à 2025. Les analyses climatiques ont révélé une variabilité spatio-temporelle des précipitations, caractérisée par des épisodes pluvieux parfois intenses favorisant les écoulements de surface. Par ailleurs, les facteurs climatiques et anthropiques se sont avérés déterminants dans l'évolution du ruissellement, tandis que les zones à forte densité urbaine apparaissent comme les secteurs les plus exposés aux inondations. L'occupation anarchique des espaces sensibles, la réduction du couvert végétal et l'insuffisance des infrastructures de drainage accentuent considérablement la vulnérabilité de Kinshasa face aux risques hydrologiques. Les observations faites au cours de cette étude démontrent la nécessité d'adopter des approches durables en matière de planification urbaine, de prévention, des créations des espaces verts et une gestion intégrée de bassin fluviaux, pour diminuer les risques due aux ruissellements et aux inondations à venir.

Références

- Di Baldassarre G., Kooy M., Kemerink J.S. & Brandimarte L., 2018. Vers la compréhension du comportement dynamique des plaines inondables comme systèmes socio-hydrologiques. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(6), 3235 - 3244.
- Douglas. I., Alam K., Maghenda M., McDonnell Y., McLean L. & Campbell J., 2008. Eaux injustes : changement climatique, inondations et populations urbaines pauvres en Afrique. *Environment and Urbanization*, 20(1), 187-205. DOI : 10.1177/0956247808089156.
- IPCC, 2021. *Changement climatique 2021 : Les bases physiques*. Cambridge University Press, 74 p.
- IPCC, 2023. *Changement climatique 2023 : rapport de synthèse*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Genève, 83 p.
- Mawana R. & Phanzu B.G., 2024. Problématique des inondations dans la ville de Kinshasa. *FIG Working Week 2024, Accra (Ghana)*, 19 – 24 Mai 2024. *Communication*, N° 12745.
- Mikobi M.C., Kusunika N.A., Tangou T.T., Mutambwe S., Mulaji K.C., Lusasi S.W. & Pwema K.V., 2020. Mise au point et évaluation d'un système aquaponique domestique dans la ville province de Kinshasa (République Démocratique Du Congo). *European Scientific Journal*, 16(24), 70 – 87. <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2020.v16n24p70>.
- Mukasani B., Mambo H. & Mukome B., 2025. *Dynamique de l'exposition au risque d'inondation dans le bassin versant de la N'djili (Kinshasa, RDC) entre 2010 et 2025 : approche croisée des zones à risque et de la population exposée*. Préprint, DOI : 10.13140/RG.2.2.19471.24486.
- Mukuwa B.K., Lokango O., Lito L.D.P., Mutangila J., Samba L.C., Mundaya L.F. & Mukanzu L.F., 2024. Analyse de la dynamique de l'occupation du sol dans le bassin versant de la Lubudi et impacts sur les inondations. *Revue Internationale de la Recherche Scientifique*, 3(3), 3310 -3325. DOI : 10.5281/Zenodo.15776927.
- Muya L., 2022. Détection par télédétection satellitaire et SIG de l'érosion hydrique ravinante dans la commune de N'sele à l'Est de Kinshasa en République Démocratique du Congo. *Revue Internationale du Chercheur*, 3(4), 347 – 372. DOI : 11.3281/Zenodo-7429747.
- Nicholson S.E., 2018. L'ITCZ et le cycle saisonnier en Afrique équatoriale. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 99(2), 337 – 348. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0287.1>.
- Seneviratne S.I., Nicholls N., Easterling D., Goodess C.M., Kanae S., Kossin J., Luo Y., Marengo J., McInnes K., Rahimi M., Reichstein M., Sorteberg A., Vera C. & Zhang X., 2012. Changements des extrêmes climatiques et leurs impacts sur l'environnement physique naturel. Dans Field C.B. (Éds.), *Gérer les risques d'événements extrêmes et de catastrophes pour faire progresser l'adaptation au changement climatique*. Cambridge University Press, pp. 109 – 230.
- UN-Habitat, 2010. *État des villes africaines 2010. Gouvernance, inégalités et marchés fonciers urbains*. Programme des Nations Unies pour les établissements humains, Nairobi (Kenya), Rapport institutionnelle de référence, 279 p.
- World Meteorological Organization, 2022. *État du climat mondial 2022*. OMM, Genève, 55 p.