



HAL
open science

Analyse diachronique de l'expansion urbaine de la ville de Goma (RDC) durant la période 1986 -2022

Mumbere Vyalirendi Belden, Kambere Mayani Janvier, Athanase Athanase Nkunuzimana

► **To cite this version:**

Mumbere Vyalirendi Belden, Kambere Mayani Janvier, Athanase Athanase Nkunuzimana. Analyse diachronique de l'expansion urbaine de la ville de Goma (RDC) durant la période 1986 -2022. *Revue Ecosystèmes et Paysages*, 2025, 5 (1), pp.1 - 12. <10.59384/recopays.tg5129>. <hal-05146684>

HAL Id: hal-05146684

<https://hal.science/hal-05146684v1>

Submitted on 6 Jul 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY 4.0 - Attribution - International License

Analyse diachronique de l'expansion urbaine de la ville de Goma (RDC) durant la période 1986 -2022

Diachronic analysis of urban expansion in the city of Goma (DRC) during the Period 1986–2022

Mumbere Vyalirendi Belden¹ *, Kambere Mayani Janvier², Nkuzimana Athanase¹

1Centre de Recherche et d'Etude pour le Développement des Sociétés en Reconstruction (CREDSR), Université du Burundi, P.O.BOX 5142 Bujumbura, Burundi. Nationalité : Congolaise (RDC)

2Centre de Recherche en Sciences Naturelles et de l'Environnement (CRSNE), Université du Burundi, BP 2720 Bujumbura, Burundi. Nationalité : Congolaise (RDC)

(*) Auteur correspondant : beldenvyali@gmail.com

ORCID des auteurs

Mumbere Vyalirendi Belden: <https://orcid.org/0009-0007-9682-554X> , Kambere Mayani Janvier: <https://orcid.org/0009-0000-5916-7997> , Nkuzimana Athanase: <https://orcid.org/0000-0003-1675-1522>

Comment citer l'article : Vyalirendi Mumbere Belden, Kambere Mayani Janvier, Nkuzimana Athanase (2025)Analyse diachronique de l'expansion urbaine de la ville de Goma (RDC) durant la période 1986 -2022. *Revue Ecosystèmes et Paysages*, 5(1), 1-11, e-ISSN (Online) : 2790-3230

doi: <https://doi.org/10.59384/recopays.tg5129>

Reçu : 30 mars 2025

Accepté : 15 juin 2025

Publié : 30 juin 2025



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Résumé

L'expansion urbaine rapide de la ville de Goma, alimentée par la croissance démographique et les migrations, entraîne une pression croissante sur les ressources naturelles. Cette étude analyse l'évolution de l'occupation du sol entre 1986 et 2022 en utilisant des images satellites Landsat. Dans le processus de cartographie, l'algorithme de classification supervisée Maximum Likelihood (ML) a été utilisé pour identifier cinq grandes catégories d'occupation du sol : zones bâties, forêts, cultures et arbustes, hydrographie et sols nus. Les résultats révèlent une croissance rapide des zones bâties, passant de 13 km² en 1986 à 38 km² en 2022 soit une expansion moyenne annuelle de 2,98 %. Parallèlement, les terres agricoles et les forêts ont régressé, respectivement de 55,56 % et 83,33 %. L'analyse statistique sous Stata 17 confirme ces tendances avec un modèle de régression dynamique 84,1% de la variance des superficies ($R^2 = 0,841$, $p < 0,001$). L'éruption volcanique de 2002 a ajouté une dimension particulière à cette dynamique, modifiant certaines zones bâties et agricoles tout en favorisant l'expansion des sols nus. Les eaux n'ont montré aucune variation significative pendant la période étudiée. Ces résultats mettent en évidence l'importance de stratégies de planification urbaine durable pour minimiser l'impact de l'urbanisation sur les écosystèmes et gérer les risques environnementaux liés aux phénomènes naturels, tels que les éruptions volcaniques. Les tendances observées à Goma sont similaires à celles d'autres villes africaines en pleine urbanisation rapide, rappelant la nécessité d'approches intégrées pour le développement urbain, la conservation des ressources naturelles et la gestion des catastrophes.

Mots clés : Télédétection, Vulnérabilité, Risques, Densité, Déforestation.

Abstract

The rapid urban expansion of the city of Goma, driven by population growth and migration, is exerting increasing pressure on natural resources. This study analyzes land use

changes between 1986 and 2022 using Landsat satellite imagery. In the mapping process, the supervised classification algorithm Maximum Likelihood (ML) was applied to identify five major land use categories: built-up areas, forests, crops and shrubs, water bodies, and bare soils. The results reveal a sharp increase in built-up areas, from 13 km² in 1986 to 38 km² in 2022, representing an average annual expansion rate of 2.98%. Meanwhile, agricultural land and forests declined by 55.56% and 83.33%, respectively. Statistical analysis conducted using Stata 17 confirms these trends, with a dynamic regression model explaining 84.1% of the variance in land areas ($R^2 = 0.841$, $p < 0.001$). The 2002 volcanic eruption added a distinct dimension to this dynamic by altering certain built-up and agricultural zones while contributing to the expansion of bare soils. Water bodies showed no significant variation during the study period. These findings highlight the need for sustainable urban planning strategies to mitigate the impact of urbanization on ecosystems and to manage environmental risks associated with natural hazards such as volcanic eruptions. The trends observed in Goma are consistent with those in other rapidly urbanizing African cities, underscoring the necessity of integrated approaches to urban development, natural resource conservation, and disaster management.

Keywords: Remote sensing, Vulnerability, Risk, Density, Deforestation.

1. Introduction

Au cours des dernières décennies, notre planète a été le théâtre de mutations spatiales profondes. L'urbanisation, presque achevée dans les pays développés, continue de progresser de manière fulgurante dans les pays du Sud, souvent de façon désordonnée (Useni Sikuzani *et al.*, 2018; Vermeiren *et al.*, 2012). En Afrique, ces changements se traduisent principalement par un déboisement massif et une dégradation du couvert végétal, remplacé par l'agriculture intensive et l'urbanisation anarchique, un phénomène qui ne cesse de s'intensifier. Les villes africaines, dont la population double en moyenne tous les vingt-cinq à trente ans, connaissent une expansion rapide des infrastructures, souvent au détriment des espaces verts urbains tels que les parcs, jardins publics et zones boisées résiduelles (Salomon *et al.*, 2020).

Les recherches les plus récentes sur les dynamiques urbaines révèlent que l'Amérique du Sud et l'Afrique ont perdu respectivement 4 et 3,4 millions d'hectares de couvert végétal par an, en raison de l'urbanisation entre 2000 et 2010 (FAO, 2010). Ces changements dans l'occupation des sols, qui découlent d'une croissance démographique soutenue, soulèvent de nombreuses interrogations scientifiques (Bogaert *et al.*, 2008). Entre 2015 et 2030, les pays africains devraient enregistrer un taux moyen annuel de croissance urbaine de 3,5 %, le plus élevé au monde, avec une population urbaine passant de 0,9 milliard à 1,4 milliard d'habitants, soit une augmentation de 85 % (Casari *et al.*, 2022; WCR, 2016).

Prenons l'exemple de Bamako, Casari *et al.*, (2022), à travers une analyse de l'évolution de l'occupation du sol entre 1972 et 2018 à l'aide d'images satellites, ont mis en lumière une extension spectaculaire des espaces bâtis, passant de 34,9 km² à 307,7 km². Cette croissance s'est accompagnée d'une régression notable des autres catégories d'occupation du sol, en particulier des formations végétales naturelles telles que les forêts, les savanes arborées et les prairies, qui couvraient auparavant une large part du territoire.

En République Démocratique du Congo (RDC), l'urbanisation rapide et, souvent, désordonnée est une réalité marquante, surtout dans les grandes villes comme Kinshasa, Kisangani et Lubumbashi. Des recherches conduites par Kayembe Wa Kayembe *et al.*, (2009), Maréchal, (2012), ainsi qu'Useni Sikuzani *et al.*, (2018), ont révélé d'importants changements spatiaux dans ces grandes agglomérations, entraînant des conséquences néfastes pour les ressources naturelles, notamment la dégradation des terres arables et la diminution du couvert végétal.

La ville de Goma, située à l'est de la RDC, connaît également une croissance urbaine soutenue depuis les années 1980 (infosgrandlac.com, 2024). Cette expansion rapide de la population, résultant de migrations massives dues à l'insécurité et à l'exode rural, a conduit à une urbanisation extensive, souvent au détriment des ressources naturelles (Kayembe Wa Kayembe *et al.*, 2009). Cependant, contrairement à d'autres grandes villes congolaises, peu d'études ont abordé de manière diachronique les transformations de l'occupation des sols à Goma sur une longue période. Cette lacune est d'autant plus préoccupante que la ville possède des caractéristiques géographiques particulières, telles que sa proximité avec le volcan Nyiragongo et les lacs Kivu, qui influencent profondément ses dynamiques urbaines (Kamate Kaleghetso et Catas, 2018)

De plus, l'éruption volcanique de 2002 a ajouté une nouvelle dimension à l'évolution urbaine de Goma, modifiant certaines zones bâties et naturelles (Favalli, *et al.*, 2009). Les mécanismes et facteurs à l'origine de cette expansion, qu'ils soient d'origine anthropique (croissance démographique, insécurité, migrations) ou naturelle (catastrophes volcaniques), demeurent mal connus. Par ailleurs, les répercussions de ces transformations sur les écosystèmes locaux et les modes de vie des résidents n'ont pas encore été pleinement étudiées. Face à ces constats et aux lacunes identifiées dans la littérature, il apparaît nécessaire de mener une analyse approfondie de l'évolution spatiale de Goma.

Cette recherche a donc pour objectif d'analyser les dynamiques spatiales et temporelles de l'occupation des sols à Goma entre 1986 et 2022. Elle s'attache spécifiquement à retracer l'évolution des grandes catégories d'occupation du sol au fil du temps, tout en mettant en évidence les principaux moteurs de l'expansion urbaine, qu'ils soient démographiques, politiques ou environnementaux. Elle vise également à évaluer les effets de ces transformations sur les ressources naturelles de la ville, avec l'ambition de fournir des éléments scientifiques pertinents pour une gestion urbaine durable et adaptée aux spécificités de Goma.

2. Matériel et méthodes

2.1. Zone d'étude

Goma, capitale de la province du Nord-Kivu en RDC, est une ville touristique fascinante. Elle est stratégiquement localisée entre le Parc national de Virunga au nord-ouest, le lac Kivu au sud et le Rwanda à l'est, tout en étant à l'ouest de la chaîne volcanique des Virunga. Sur le plan géographique, Goma se trouve à une latitude de 1°40'26" S et une longitude de 29°13'42" E, à une altitude de 1 518 mètres (Kamate Kaleghetso et Catas, 2018; Mbeva *et al.*, 2020)

La ville jouit d'un climat tempéré, influencé par les brises provenant du lac Kivu et des volcans environnants. Elle connaît deux saisons principales : une saison pluvieuse qui s'étend de la fin août à la mi-mai, avec une courte saison sèche de décembre à mi-février, suivie d'une saison sèche de mi-mai à fin août (Kagadju *et al.*, 2023).

Depuis les années 1980, Goma a fait face à une urbanisation rapide, alimentée par l'insécurité régionale et l'exode rural. La population a considérablement augmenté, passant de 744 247 habitants en 2010 à 1 170 000 en 2023 (Musubao *et al.*, 2021). La ville est divisée en deux communes, Goma et Karisimbi, mais elle reste vulnérable aux éruptions volcaniques, avec de nombreux bâtiments érigés sur des coulées de lave (Balagizi et al., 2018).

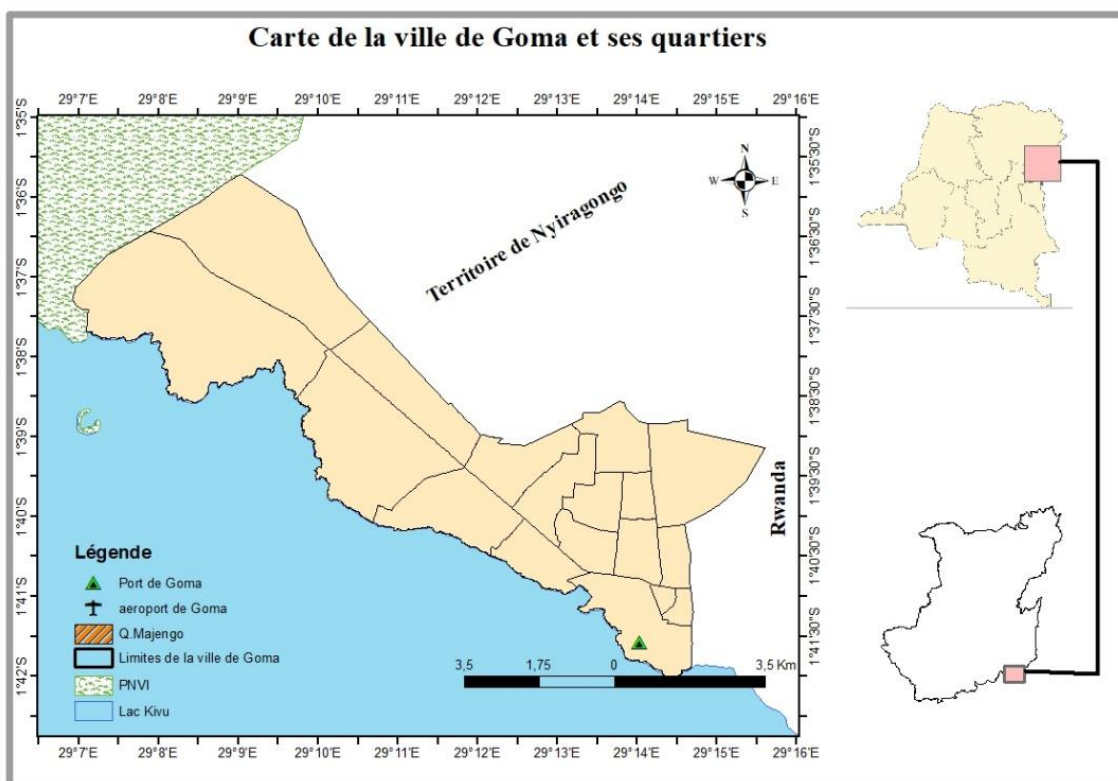


Figure 1: Carte de la ville de Goma / Map of the city of Goma

2.2. Collecte des données satellitaires

Les données utilisées dans cette étude proviennent exclusivement de la mission Landsat, notamment Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ et Landsat 8 OLI, disponibles en accès libre sur la plateforme USGS Earth Explorer. Les images ont été téléchargées en novembre 2023 au format GeoTIFF, avec une résolution spatiale homogène de 30 mètres (Path 193, Row 53). Cinq années de référence ont été retenues : 1986, 1995, 2005, 2012 et 2022. Le choix de ces dates repose sur deux critères principaux : la disponibilité d'images sans nuages pour les périodes clés de transformation urbaine à Goma, et la volonté de couvrir de manière équilibrée près de quatre décennies, en tenant compte des événements majeurs (exode rural dans les années 1990, éruption volcanique de 2002, intensification de l'urbanisation après 2010). L'utilisation exclusive de la série Landsat permet d'éviter tout biais méthodologique lié à la variation de résolution spatiale entre capteurs. Le choix de Landsat 8 pour les images les plus récentes a été motivé par sa meilleure qualité radiométrique et sa stabilité instrumentale, notamment par rapport à Landsat 7, affecté depuis 2003 par la panne du Scan Line Corrector (SLC-off), rendant ses données postérieures à 2010 partiellement inexploitable. Ainsi, seule Landsat 8 a été utilisée pour l'année 2022. Les images des années antérieures (1986, 1995, 2005, 2012) ont été extraites de Landsat 5 et 7 selon leur disponibilité et leur qualité. Ce choix méthodologique permet d'assurer une continuité spatiale et spectrale fiable sur l'ensemble de la période étudiée.

2.3. Traitement et analyse des images

Les images ont été prétraitées et classées à l'aide des logiciels ENVI 5.1 et ArcGIS 10.4.1. L'approche méthodologique a inclus les étapes suivantes :

- **Prétraitement radiométrique et géométrique** : chaque image a été calibrée radiométriquement à l'aide des métadonnées fournies avec les scènes Landsat. Une correction géométrique a été réalisée à l'aide du système de projection UTM (Zone 35S, WGS84), garantissant la superposition correcte des scènes sur l'ensemble des années.
- **Classification supervisée** : l'algorithme Maximum Likelihood (ML) a été utilisé pour classer les pixels selon cinq grandes catégories d'occupation du sol : zones bâties, forêts, cultures et arbustes, les eaux et les sols nus. Cette méthode probabiliste permet une attribution fine des pixels en fonction des signatures spectrales.
- **Numérisation et délimitation manuelle** : les contours des unités d'occupation du sol ont été affinés pour garantir la cohérence spatiale entre les années et faciliter les comparaisons diachroniques.
- **Analyse diachronique** : les cartes produites ont été comparées deux à deux (1986–1995, 1995–2005, etc.) afin de détecter les transformations majeures du paysage urbain.

2.4. Analyse statistique sous Stata 17

Les données issues de la télédétection ont été complétées par une analyse statistique avancée sous Stata 17 afin d'évaluer les dynamiques spatio-temporelles de l'occupation du sol.

- **Statistiques descriptives** : les superficies occupées par chaque classe ont été calculées pour chaque année afin d'observer les tendances générales.
- **Régression linéaire** : les évolutions temporelles des superficies ont été modélisées en fonction des années, pour identifier les catégories en expansion ou en régression significative.
- **Taux d'augmentation annuelle moyenne (TAAM)** : ce taux a permis de mesurer la dynamique relative de chaque classe d'occupation, avec une analyse des tendances positives ou négatives.

Cette combinaison entre analyse spatiale et statistique a permis une évaluation rigoureuse de l'évolution de l'occupation du sol à Goma, ainsi que de son impact sur les écosystèmes et les ressources naturelles.

2.5. Occupation du sol entre 1986 et 2022

Après le traitement des images, les changements dans l'occupation du sol ont été évalués à l'aide de trois indicateurs : le taux annuel moyen d'évolution (**T**), la variation absolue des superficies (**ΔS**), et le taux de croissance annuel composé. Ces indicateurs permettent de juger la stabilité, la progression ou la régression des différentes classes d'occupation du sol.

Le tableau 1 ci-dessous résume les formules utilisées et leurs sources. Pour mémoire, **S_1** désigne la superficie d'une classe à l'année de départ (**t_1**), **S_2** à l'année finale (**t_2**), et **T** la durée de la période. Le logarithme népérien **$\ln(S_2/S_1)$** permet de lisser la variation sur la période, et **$\Delta S = S_2 - S_1$** représente la variation brute.

Tableau 1. Formules de calcul des indicateurs d'évolution de l'occupation du sol

Indicateur	Formule	Description	Source
Taux annuel moyen d'évolution (T)	$T = \frac{1}{t_2 - t_1} \times Ln \frac{S_2}{S_1}$	Variation annuelle moyenne d'une catégorie d'occupation	FAO (1995), Noyola Medrano (2006)
Variation absolue des superficies (ΔS)	$\Delta S = \frac{Sp_2 - Sp_1}{t_2 - t_1}$	Différence brute entre les superficies en t_2 et t_1	Brun <i>et al.</i> (2018)
Classification de l'évolution	$\Delta S = 0 \rightarrow$ stabilité ; $\Delta S > 0 \rightarrow$ progression ; $\Delta S < 0 \rightarrow$ régression	Typologie des dynamiques spatiales	Brun <i>et al.</i> (2018)
Taux de croissance annuel moyen (composé)	$Taux(\%) = \frac{Valeur\ finale - Valeur\ initiale}{Valeur\ initiale} \times 100$	Croissance annuelle moyenne sur la période	Oloukoi & Mama (2009)

3. Résultats

L'analyse de la classification supervisée des images multi-dates de la ville de Goma a permis de détecter les différents usages du sol. La figure 2 montre les régressions moyennes annuelles des classes et leurs comportements face à l'occupation des sols de la ville de Goma entre 1986 et 2022.

3.1. Étalement urbain et occupations des sols

Les cartes d'occupation du sol générées pour les années 1986, 1995, 2005, 2012 et 2022 (Figure 2) montrent des changements notables dans la distribution spatiale des classes. Une progression constante des zones bâties est visible sur l'ensemble de la période, tandis que les superficies couvertes par les forêts et les cultures ont fortement diminué.

L'analyse de la Figure 2 met en évidence des changements significatifs dans l'occupation du sol à Goma entre 1986 et 2022. Ces changements se traduisent par une expansion progressive des zones bâties, facilement reconnaissables sur les cartes par leur forte concentration dans les secteurs périphériques. Cette dynamique s'accompagne d'une régression constante des zones de végétation naturelle et cultivée, telles que les forêts et les terres agricoles.

En 1986, la ville de Goma était principalement concentrée autour du centre urbain de Birere, près de la grande barrière et à proximité des limites de la ville de Gisenyi au Rwanda.

En 2022, la carte révèle une forte croissance des superficies bâties, avec une emprise urbaine bien plus étendue, parallèlement à une réduction marquée des espaces végétalisés. La dynamique spatiale de ces transformations, ainsi que l'évolution des différentes classes d'occupation du sol (zones bâties, forêts, cultures, sols nus, l'eau), sont synthétisées dans les tableaux ci-dessous.

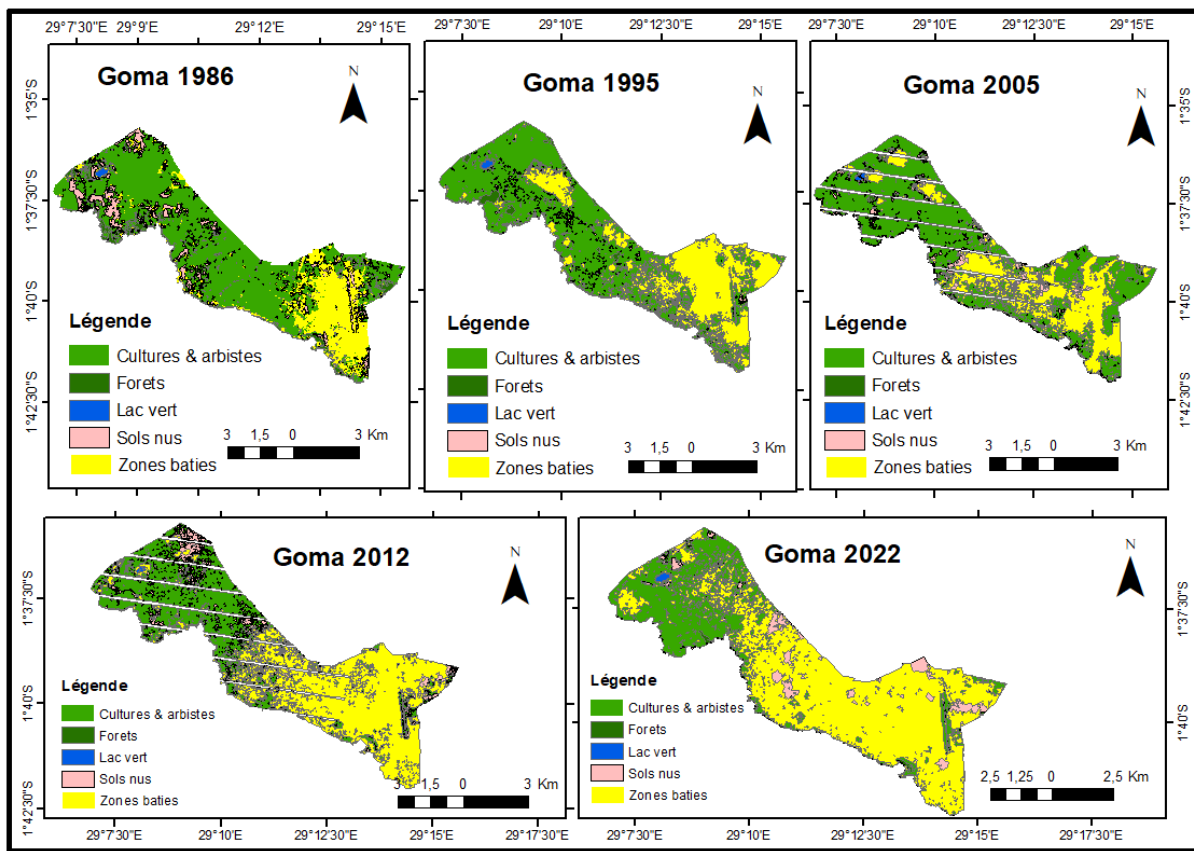


Figure 2. Cartes spatio-temporelles de l’occupation du sol et de l’expansion urbaine de Goma entre 1986 et 2022

3.1.2. Superficies des classes d’occupation du sol

Tableau 2. Évolution des superficies par classe d’occupation du sol à Goma de 1986 à 2022 (en km²)/ Table 2: Land use area changes by class in Goma from 1986 to 2022 (in km²)

Occupation du sol	Années				
	1986	1995	2005	2012	2022
Bâties	13	20	18	28	38
Cultures	36	35	33	25	16
Eaux	.17	.15	.12	.07	.15
Forêts	3	2	1	.7	.5
Sols nus	6	1	6	5	3

Le tableau 2 montre l'évolution des différentes catégories d'occupation du sol à Goma sur une période de 36 ans, de 1986 à 2022. Les zones bâties ont connu une augmentation substantielle, passant de 13 km² en 1986 à 38 km² en 2022, ce qui reflète une urbanisation rapide. À l'inverse, les terres agricoles ont progressivement diminué, passant de 36 km² à 16 km² sur la même période.

Concernant la classe « forêts », les données issues de la classification indiquent une superficie réduite à 0,5 km² en 2022, contre 3 km² en 1986.

Les sols nus présentent quant à eux une fluctuation modérée, passant de 6 km² en 1986 à 3 km² en 2022, avec un pic en 2005. Enfin, la classe « eaux » reste globalement stable, avec des valeurs très faibles, les principaux plans d'eau (lac Kivu et lac Noir) n'étant pas inclus dans l'étendue exacte de la zone cartographiée.

Tableau 3. Résultats de la régression linéaire des superficies des classes d'occupation du sol en fonction du temps (en km²)

Superficie en (Km ²)	Coef.	St.Err.	t-value	p-value	[95% Conf	Interval]	Sig
Bâtis	19.2	3.818	5.03	0	11.209	27.191	***
Forets	-2.76	3.818	-0.72	.479	-10.751	5.231	
Cultures	24.8	3.818	6.50	0	16.809	32.791	***
Eaux	-4.068	3.818	-1.07	.3	-12.059	3.923	
Année	-.001	.096	-0.01	.991	-.202	.199	
Constant	6.436	192.017	0.03	.974	-395.459	408.331	
Mean dependent var		11.634	SD dependent var			13.463	
R-squared		0.841	Number of obs			25	
F-test		20.074	Prob > F			0.000	
Akaike crit. (AIC)		165.978	Bayesian crit. (BIC)			173.291	

*** $p < .01$, ** $p < .05$, * $p < .1$

Le tableau 3 présente les résultats d'une régression linéaire globale des superficies en fonction des catégories d'occupation du sol et de l'année. Dans ce modèle, la classe « bâtis » a été utilisée comme catégorie de référence. Le coefficient associé aux terres agricoles (cultures), estimé à 24,8 ($p < 0,01$), indique que, sur l'ensemble de la période 1986–2022, la superficie moyenne des terres cultivées est significativement plus élevée que celle des zones bâties. Ce résultat est cohérent avec les données brutes, qui montrent qu'avant 2022, les superficies agricoles dominaient nettement sur les zones bâties, malgré leur forte diminution récente. En revanche, les coefficients associés aux forêts (-2,76) et aux zones d'eau (-4,07) ne sont pas significatifs, ce qui suggère qu'il n'existe pas de différence moyenne concluante entre ces classes et les bâtis durant la période analysée. Le coefficient de la variable "Année" (-0,001) est très faible et non significatif ($p = 0,991$), indiquant l'absence de tendance temporelle globale dans la variation des superficies, ce qui s'explique par l'agrégation de toutes les classes dans un même modèle. Enfin, le modèle présente une forte capacité explicative ($R^2 = 0,841$) et une significativité globale ($F = 20,074$, $p < 0,001$), ce qui atteste de sa robustesse pour différencier les classes d'occupation du sol en fonction de leurs superficies moyennes.

Tableau 4. Régressions linéaires séparées par classe d'occupation du sol (1986–2022)

	(1) Superficie en Km ²	(2) Superficie en Km ²	(3) Superficie en Km ²	(4) Superficie en Km ²
Année	0.645*	-0.0710*	-8.557*	-0.00130
	(0.149)	(0.0124)	(0.130)	(0.00141)
_cons	-1268.9*	143.8*	1144.6*	2.732
	(299.1)	(24.83)	(258.5)	(2.828)
N	5	5	5	5
adj. R-sq	0.815	0.888	0.814	-0.040
Standard errors in parentheses				

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

Le tableau 4 présente les résultats des régressions linéaires menées séparément pour quatre classes d'occupation du sol : zones bâties (1), terres agricoles (2), forêts (3) et zones d'eau (4), en fonction de l'année. Les résultats indiquent une hausse significative des superficies bâties au fil du temps, avec un coefficient positif de 0,645 ($p < 0,05$) et un excellent ajustement du modèle (R^2 ajusté = 0,815). Cette croissance régulière reflète l'expansion continue de l'urbanisation dans la ville de Goma entre 1986 et 2022. À l'opposé, la régression appliquée à la classe des forêts révèle une forte diminution linéaire, avec un coefficient négatif de -8,557 ($p < 0,05$), confirmant une perte rapide de couverture forestière au cours des 36 années d'observation. Les terres agricoles présentent également une tendance décroissante, avec un coefficient négatif (-0,0710) significatif ($p < 0,05$), bien que d'amplitude modérée, et un excellent ajustement statistique (R^2 ajusté = 0,888). En revanche, le modèle appliqué aux zones d'eau ne

montre aucune tendance significative (coefficient : $-0,0013$; $p = 0,97$), et présente un ajustement très faible (R^2 ajusté = $-0,040$), ce qui suggère une stabilité globale ou une variabilité non linéaire de cette catégorie au cours du temps.

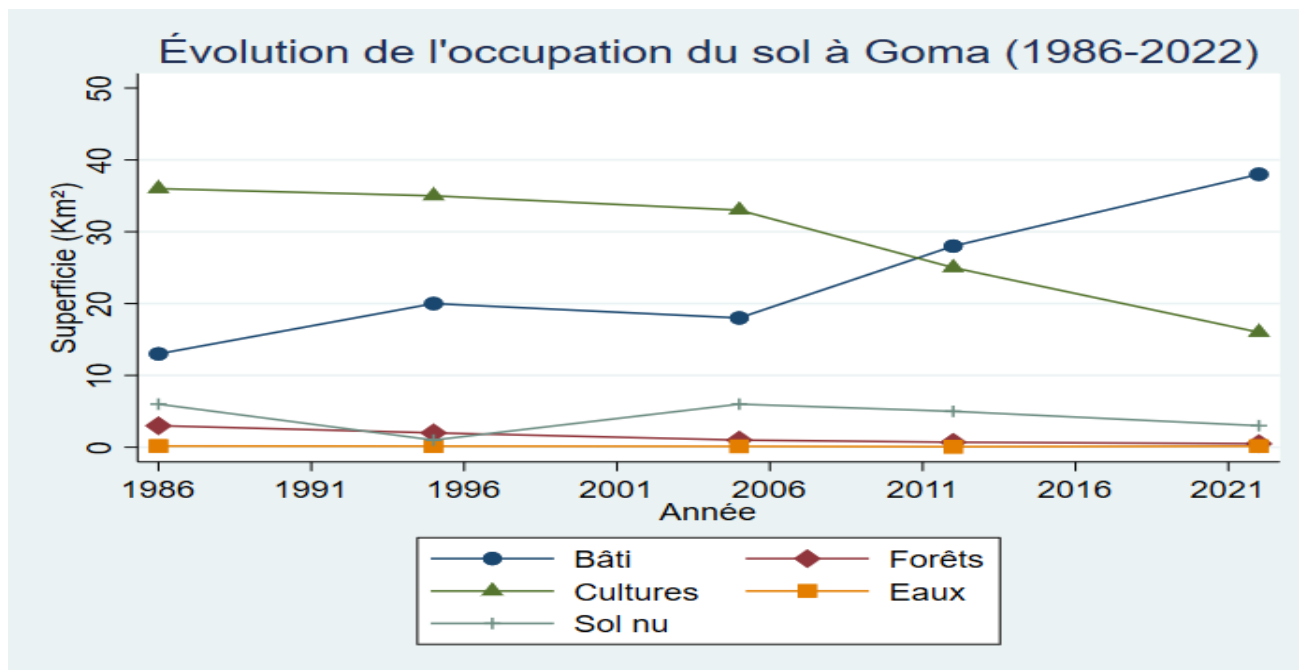


Figure 3. Evolution de l'occupation du sol à Goma (1986-2022) / Evolution of land use in Goma (1986-2022)

Cette figure illustre l'évolution de l'occupation du sol à Goma entre 1986 et 2022, en représentant les différentes classes d'occupation en fonction de leur superficie (en km²) au fil des années. La superficie des zones bâties (« Bâti ») montre une croissance constante et significative, surtout après 2000; La superficie des « Forêts » diminue graduellement, en particulier après 2011; Les zones consacrées aux « Cultures » semblent relativement stables, bien qu'elles montrent une légère fluctuation au fil des ans; Les « Sols nus » connaissent une réduction progressive, ce qui peut être interprété comme un signe de leur transformation en zones bâties ou cultivées et les zones d'« Eaux » restent relativement stables avec des variations mineures, reflétant la constance des plans d'eau naturels, comme le lac Kivu.

3.2. Taux d'évolution urbaine et Jugement entre 1986 et 2022

Le Tableau 5 du bilan général sur la dynamique des superficies de 1986 à 2022 a aidé à procéder au jugement de l'évolution ci-dessous.

Tableau 5. Taux de croissance urbaine / Urban growth rate

Année	Classe	Croissance	TAAM (%)	Jugement
1986	Bâtis	192,31	2,98	Progression
1995	Forêts	-83,33	-3955	Régression
2005	Cultures	-55,56	-4,98	Régression
2012	Eaux	-11,76	0	
2022	Sol nu	-50,00	-1,92	Régression

De l'analyse du tableau 5, il ressort que les forêts, les végétaux cultivés, les tapis herbacés et les sols nus ont vu leurs superficies régresser avec des taux d'accroissement annuel moyen (TAAM) respectifs de -3955%, -4,98% et -1,92% ; alors que le Bâti a évolué à un taux moyen annuel d'expansion 2,98% de progression. Le bâti indique aussi une croissance **totale** de 192,31 % de la superficie bâtie entre 1986 et 2022.

Ces résultats mettent en évidence des dynamiques contrastées dans l'évolution de l'occupation du sol à Goma au cours des 36 dernières années, marquées par une nette expansion des zones bâties et une régression préoccupante des surfaces naturelles et agricoles. Afin de mieux comprendre les implications de ces changements et les facteurs qui les sous-tendent, la section suivante propose une analyse critique des résultats à la lumière du contexte local, des événements historiques et des travaux antérieurs.

4. Discussion

L'analyse diachronique de l'occupation du sol à Goma entre 1986 et 2022 révèle une transformation marquée des différentes unités paysagères. Cette section discute séparément les résultats obtenus pour chaque classe d'occupation, en les confrontant aux réalités locales et aux données de la littérature scientifique.

4.2. Expansion des zones bâties

Les zones bâties ont connu une croissance spectaculaire, passant de 13 km² en 1986 à 38 km² en 2022, soit une augmentation de 192,31 %. Le taux moyen annuel de croissance est de 2,98%. Cette dynamique s'explique par une pression démographique intense, notamment liée à l'exode rural et aux déplacements forcés de populations. L'exode rural de 1995, provoqué par l'insécurité dans les zones rurales, a favorisé un afflux massif de populations vers Goma, entraînant une urbanisation rapide. Toutefois, cette expansion a été temporairement freinée par l'éruption du Nyiragongo en 2002, qui a détruit environ 10,5 % de la ville (Favalli, et al., 2009), modifiant significativement l'occupation du sol.

À partir de 2007, les conflits armés persistants (notamment la mutation du RCD-Goma en CNDP puis en M23) ont relancé l'urbanisation, avec une accélération visible sur les images de 2012. Cette expansion a atteint un pic en 2022, avec une quasi-disparition du couvert végétal dans plusieurs zones périphériques.

Les résultats obtenus à Goma sont cohérents avec ceux observés dans d'autres grandes villes africaines. À Lubumbashi, par exemple, Useni Sikuzani et al., (2018), ont signalé un triplement de la surface bâtie entre 1989 et 2014 en passant de 6% à 20% , accompagné d'une réduction drastique des zones végétalisées. À Bamako, Casari et al., (2022) rapportent une extension du bâti de 34,9 km² en 1972 à 307,7 km² en 2018, reflétant une urbanisation rapide et non planifiée.

4.3. Régression des terres agricoles

Les terres agricoles à Goma ont fortement diminué entre 1986 et 2022, passant de 36 km² à 16 km², soit une perte de 20 km² correspondant à une diminution de 55,56 %. Le taux annuel moyen de décroissance est estimé à - 4,98 %. Cette réduction s'explique principalement par l'urbanisation spontanée, l'absence de zonage clair, et la pression croissante sur les terres disponibles, notamment dans les quartiers périphériques.

Bien que Goma ne repose pas exclusivement sur l'agriculture urbaine ou périurbaine pour son approvisionnement alimentaire, les principales denrées provenant surtout des territoires voisins (Lubero, Masisi, Rutshuru, etc.). La régression des terres cultivables en zone urbaine limite les capacités locales de résilience, surtout en période de crise d'approvisionnement ou d'instabilité prolongée.

Des dynamiques similaires sont observées ailleurs en Afrique. À Bujumbura, Kabanyegeye et al., (2020) évoquent également une forte régression de la couverture végétale, incluant les zones agricoles. Salomon et al. (2020) ont montré qu'entre 1986 et 2003, environ 6 % des terres agricoles et de végétation dégradée ont été convertis en zones bâties, et environ 4 % de végétation ligneuse ont été transformés en terres agricoles. Entre 2003 et 2017, ces dynamiques se sont accélérées : 7 % supplémentaires des terres agricoles ont été urbanisées, tandis que 8 % ont été gagnées sur les formations ligneuses.

Ces résultats mettent en évidence une double pression : la progression du bâti et la transformation des espaces végétalisés productifs, ce qui illustre des tendances similaires à celles observées à Goma. Il s'agit là d'une manifestation typique de l'artificialisation rapide des paysages urbains dans de nombreuses capitales régionales africaines, au détriment des fonctions écologiques et agricoles.

4.4. Disparition des forêts

En 1986, les forêts occupaient encore environ 3 km² à Goma, mais cette superficie a fortement chuté pour atteindre 0,5 km² en 2022, soit une régression de 83,33 %. Le taux de régression annuel moyen est particulièrement alarmant (-3,96 %), traduisant une disparition quasi-totale des espaces boisés au fil des décennies. Cette déforestation s'explique par plusieurs facteurs combinés : expansion urbaine désordonnée, prélèvement de bois énergie, et faible gouvernance environnementale. En l'absence de mécanismes de conservation efficaces, les zones forestières résiduelles ont été transformées en zones bâties ou cultivées (Folega et al. 2023).

Ce phénomène est préoccupant du point de vue écologique. La disparition du couvert forestier accentue la perte de biodiversité, la déstructuration des sols, et augmente la vulnérabilité face aux catastrophes naturelles. Les forêts jouent pourtant un rôle crucial dans la stabilisation des pentes, en limitant l'érosion hydrique et le ruissellement.

Les résultats observés à Goma trouvent des échos dans d'autres contextes tropicaux africains. À Kaniama-Kasese (RDC), François, (2014) a mis en évidence une régression drastique de la forêt claire, passée de 85 % du territoire en 1956 à 12 % en 2009. Cela correspond à une réduction de 76,47 % entre 1956 et 1984, puis de 40,26 % entre 1984 et 2009, illustrant un effondrement progressif mais massif du couvert végétal. Ces transformations se sont faites d'abord par fragmentation (1956–1984), puis par dissection (1984–2009), avec une tendance nette à la savanisation en tant que dynamique de conversion dominante.

Cette comparaison souligne que, bien que les échelles soient différentes, la tendance à la disparition des formations forestières sous pression anthropique est généralisée dans les milieux urbains et périurbains congolais. Elle rappelle également que, sans planification territoriale efficace et politique de reboisement, les zones boisées risquent de disparaître totalement à court terme dans les grandes agglomérations telles que Goma.

4.5. Évolution des sols nus

Les sols nus ont vu leur superficie fluctuer, mais globalement diminuer de 50 % sur la période étudiée. Cette réduction résulte d'une conversion progressive vers des zones bâties ou agricoles avant leur disparition progressive. Toutefois, entre 1995 et 2005, une légère augmentation a été observée, liée à l'éruption volcanique de 2002, qui a recouvert certaines zones de lave, les transformant temporairement en surfaces minérales nues (Fousseni et al. 2011).

Cette dynamique illustre l'interaction entre phénomènes naturels (éruption, coulées de lave) et pressions anthropiques. Selon Honvou et al., (2022), de telles interactions constituent un moteur important des transformations paysagères dans les villes soumises à des risques volcaniques.

5. Conclusion

Cette étude a permis d'analyser l'évolution spatio-temporelle de l'occupation du sol de la ville de Goma entre 1986 et 2022, en s'appuyant sur des images satellitaires Landsat, traitées à l'aide du logiciel ENVI 5.1 par classification supervisée. Cinq grandes catégories ont été distinguées : forêts, cultures et arbustes, zones d'eau, sols nus et zones bâties. Les résultats mettent en évidence une transformation rapide et profonde du paysage urbain, caractérisée par une forte croissance des zones bâties passées de 13 km² à 38 km² au détriment des espaces agricoles, forestiers et nus.

Cette dynamique résulte d'une combinaison de facteurs anthropiques et naturels. La pression démographique, les migrations induites par l'insécurité régionale, l'exode rural et les épisodes volcaniques, notamment l'éruption du Nyiragongo en 2002, ont significativement contribué à remodeler l'espace urbain. Par ailleurs, les zones d'eau sont restées relativement stables, ce qui reflète une certaine résilience de ces milieux dans un contexte de mutation rapide.

Les résultats de cette recherche soulignent l'urgence de mettre en place des stratégies de planification urbaine durable, capables d'intégrer à la fois les dynamiques humaines et les risques environnementaux. Il devient crucial de renforcer les politiques de préservation des espaces naturels restants, de maîtriser l'étalement urbain, et de développer des mécanismes d'adaptation face aux risques volcaniques.

Dans une perspective de recherche, il serait pertinent d'approfondir l'analyse de la relation entre densité de population, types d'occupation du sol et vulnérabilité écologique, notamment à l'échelle des quartiers les plus exposés. Il serait également nécessaire d'évaluer plus finement les impacts sociaux et environnementaux des aléas volcaniques sur les structures urbaines et les moyens de subsistance des habitants. Enfin, l'utilisation de modèles spatio-temporels prédictifs pourrait offrir des outils précieux pour anticiper les tendances futures de l'urbanisation à Goma, et orienter les politiques publiques vers un développement plus inclusif, durable et résilient.

Contribution des auteurs

Rôle du contributeur	Noms des auteurs
Conceptualisation	Mumbere Vyalirendi Belden
Gestion des données	Mumbere Vyalirendi Belden
Analyse formelle	Kambere Mayani Janvier
Enquête et investigation	Mumbere Vyalirendi Belden, Kambere Mayani Janvier

Méthodologie	Mumbere Vyalirendi Belden, Kambere Mayani Janvier, Dr Nkuzimana Athanase
Supervision Validation	Dr Nkuzimana Athanase
Écriture – Préparation	Mumbere Vyalirendi Belden, Kambere Mayani Janvier
Écriture – Révision	Dr Nkuzimana Athanase, Mumbere Vyalirendi Belden, Kambere Mayani Janvier

Références

- Balagizi, C. M., Kies, A., Kasereka, M. M., Tedesco, D., Yalire, M. M., & McCausland, W. A. (2018). Natural hazards in Goma and the surrounding villages, East African Rift System. *Natural Hazards*, 93(1), 31-66. <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3288-x>
- Bogaert, J., Bamba, I., Koffi, K. J., Sibomana, S., Djibu, J.-P. K., Champluvier, D., Robbrecht, E., De Cannière, C., & Visser, M. N. (2008). Fragmentation of Forest Landscapes in Central Africa : Causes, Consequences and Management. In R. Lafor-tezza, G. Sanesi, J. Chen, & T. R. Crow (Éds.), *Patterns and Processes in Forest Landscapes* (p. 67-87). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8504-8_5
- Casari, S., Di Paola, M., Banci, E., Diallo, S., Scarallo, L., Renzo, S., Gori, A., Renzi, S., Paci, M., De Mast, Q., Pecht, T., Derra, K., Kaboré, B., Tinto, H., Cavalieri, D., & Lionetti, P. (2022). Changing Dietary Habits : The Impact of Urbanization and Rising Socio-Economic Status in Families from Burkina Faso in Sub-Saharan Africa. *Nutrients*, 14(9), 1782. <https://doi.org/10.3390/nu14091782>
- Favalli, M., Chirico, G., & Papale, P. (2009). *Risque de coulée de lave au volcan Nyiragongo, RDC* | *Bulletin de volcanologie*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00445-008-0233-y>
- François, M. K. (2014). *Anthropisation et dynamique spatiotemporelle de l'occupation du sol dans la région de Lubumbashi entre 1956 et 2009*.
- Folega, F., Badjare, B., Tokpo, K. G., Wala, K., Batawila, K., & Akpagana, K. (2023). Ecologie numérique par des mesures géospatiales et forestières du système national des aires protégées du Togo. *Revue d'Innovation et Dynamiques Territoriales*, (3).
- Fousseni, F., Guoa, H. H., Haia, Z. X., Seburanga, J. L., Mande, S. A. S., & Koffi, A. (2011). Urban area vegetation changing assessment over the last 20 years based on NDVI. *Energy Procedia*, 11(9), 2449-2454.
- Honvou, S. H. S., Aboh, A. B., Teka, O., Sewade, C., Gandonou, B. C., Oumorou, M., & Sinsin, B. (2022). Modélisation de la dynamique de l'occupation du sol des parcours des transhumants dans la Basse et Moyenne Vallée de l'Ouémé (Bénin). *Sciences and Technologies for Sustainable Agriculture*, 2(1), Article 1.
- infosgrandlac.com. (2024, septembre 23). Le rôle de l'urbanisme dans un pays : Le cas de la ville de Goma en RDC. *infosgrandlac.com*. <https://infosgrandlac.com/le-rolle-de-lurbanisme-dans-un-pays-le-cas-de-la-ville-de-goma-en-rdc/>
- Kabanyegeye, H., Masharabu, T., Yannick, U. S., & Bogaert, J. (2020). Perception sur les espaces verts et leurs services écosystémiques par les acteurs locaux de la ville de Bujumbura (République du Burundi). *Tropicultura*, 38. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/253779>
- Kagadju, N. A., Balingene, P. N., Kayani, I. B., & Yamonekawasso, J. (2023). Impacts des décharges incontrôlées sur la qualité du sol dans les quartiers péri-urbains de la ville de Goma (Est RD Congo) : Cas du quartier MUGUNGA. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 17(4), 1738-1749. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v17i4.35>
- Kamate Kaleghetso, E., & Catas, U. de L. > M. spéc gest risq. (2018). *Pétrographie et géochimie des laves du volcan nyiragongo (Nord Kivu, R. D. Congo) : influence de la viscosité sur les paramètres de propagation des coulées de laves menaçant la ville de Goma*. <https://matheo.uliege.be/handle/2268.2/5534>
- Kayembe Wa Kayembe, M., De Maeyer, M., & Wolff, E. (2009). Cartographie de la croissance urbaine de Kinshasa (R.D. Congo) entre 1995 et 2005 par télédétection satellitaire à haute résolution. *Belgeo. Revue belge de géographie*, 3-4, Article 3-4. <https://doi.org/10.4000/belgeo.7349>
- Maréchal, J. (2012). *Caractérisation de la dynamique d'occupation du sol de la ville de Kisangani (R.D. Congo) et sa périphérie entre 2002 et 2010*. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/131997>
- Mbeva, J. K., Prudence, M. N., Karemere, H., Musubao, E. T., Namegabe, N., & Kimanuka, C. (2020). *Profil de l'offre des soins médicaux en milieu urbain africain : Cas de la ville de Goma à l'est de la RDC*. 31(3).
- Musubao, E., Mitangala, P., Mahamba, N., Namegabe, N., Ngandjo, C., Kubuya, J., Bisimwa, G., Porignon, D., & Kahinda Mbeva, J.-B. (2021). Cartographie des établissements pharmaceutiques dans un pays subsaharien en contexte de crise : Cas de la ville de Goma à l'Est de la République Démocratique du Congo. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 57(2). <https://orbi.uliege.be/handle/2268/264379>

- Salomon, W., Sikuzani, Y. U., Kouakou, A. T. M., Kaleba, S. C., Barthelemy, J.-P., & Bogaert, J. (2020). *Caractérisation de la dynamique de l'occupation du sol en zone urbaine et périurbaine de la ville du Cap-Haïtien (Haïti) de 1986 à 2017*.
- Useni Sikuzani, Y., Andre, M., Mahy, G., Cabala Kaleba, S., Malaisse, F., Munyemba Kankumbi, F., & Bogaert, J. (2018). *Interprétation paysagère du processus d'urbanisation à Lubumbashi (RD Congo) : Dynamique de la structure spatiale et suivi des indicateurs écologiques entre 2002 et 2008*. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/194483>
- Vermeiren, K., Van Rompaey, A., Loopmans, M., Serwajja, E., & Mukwaya, P. (2012). Urban growth of Kampala, Uganda : Pattern analysis and scenario development. *Landscape and Urban Planning*, 106(2), 199-206. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.03.006>
- WCR. (2016). *WCR-2016-WEB.pdf*. <https://unhabitat.org/sites/default/files/download-manager-files/WCR-2016-WEB.pdf>