

Analyse par Télédétection de l'occupation du sol et du Couvert Végétal de 1986 à 2020 dans le triangle Ville de Bukavu - Nord du Territoire de Kabare - PNKB au Sud Kivu, RD. Congo

Muhaya Ntamusimwa Valéry¹, Kabasele Yenga-Yenga Albert²,
Minga Milolo Stéphane³, Katcho Karume Célestin⁴,
Tambala Kongbo Théophile⁵, Kipanga Uredi Roger⁶,

Ecole De Télécommunication Et De Télédétection Spatiale (ETS), Université Pédagogique Nationale
(UPN) et Institut Géographique Du Congo (IGC), Kinshasa, RD. Congo
Département De Physique Et Sciences Appliquées, Laboratoire De Télédétection Spatiale, Université
Pédagogique Nationale (UPN), Kinshasa, RD. Congo
Université Evangélique En Afrique (UEA), Bukavu, RD. Congo
Centre De Recherche En Sciences Naturelles (CRSN-Lwiro), Lwiro, RD. Congo
Institut Géographique Du Congo (IGC), Station De Bukavu, Bukavu, RD. Congo

Résumé

Contexte : Une croissance démographique rapide se fait observer dans la ville de Bukavu. Cette démographie a des implications sérieuses sur l'occupation anarchique du sol, exacerbant ainsi les problèmes fonciers dans la ville de Bukavu. La proximité de la ville, dont le besoin en ressources énergétiques et alimentaires augmente d'une part, dans la partie Nord du territoire de Kabare d'autre part, avec le PNKB fait craindre une menace sur ce dernier. Une étude est menée sur l'analyse de l'évolution du couvert végétal dans le PNKB et les zones de santé de Miti-Murhesa et Katana, attenantes à ce parc, en vue d'observer le changement intervenu depuis 1986 jusqu'en 2020. Les valeurs maximales des NDVIs ont été obtenues par an et elles ont montrées une tendance vers une diminution dans les deux entités. De ces valeurs, les vitesses de dégradation annuelles ont été aussi calculées. Ces vitesses de dégradation globales ont été respectivement évaluées à 0.15476 pour le PNKB et 0.16211 pour les zones de santé. Ces résultats montrent une dégradation lente de la zone forestière du PNKB et une dégradation élevée dans la partie habitée du Nord de Kabare.

Matériels et Méthodes

L'approche adoptée dans ce travail a consisté à l'analyse de l'indice de végétation NDVI par l'utilisation des images satellitaires Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ et Landsat 8 OLI&TIRS. Grace à l'utilisation du logiciel ARCGIS 10.8, les cartes des indices NDVI ont été produites.

Résultats : De 1986 à 2020, annuellement la vitesse de dégradation de la biomasse forestière est respectivement de 0,0044 dans le PNKB et de 0,0046 dans les zones de santé de Miti-Murhesa et Katana.

Dans le PNKB, la dégradation a commencé en 2000 où le NDVI est passé de $0,33 \pm 0,56$ à $0,12 \pm 0,62$. Dans les zones de santé, la dégradation prononcée était courte, soit de 1995 à 2000 passant de $0,30 \pm 0,75$ à $0,19 \pm 0,66$. Depuis lors, l'indice y a oscillé entre $0,19 \pm 0,61$ en 2005 et $0,21 \pm 0,38$ en 2020.

Conclusion : Les vitesses moyennes de dégradation calculées sur toute la période de l'étude donnent des valeurs 0.0044 et 0.0046, respectivement pour le PNKB et les zones de santé. Les zones de santé subissent une dégradation élevée par rapport au PNKB.

Mots clés : PNKB, Nord Kabare, indice de végétation NDVI, couvert végétal, vitesse de dégradation, occupation du sol

Date of Submission: 01-05-2025

Date of Acceptance: 10-05-2025

I. Introduction

Cependant, l'expansion agricole et l'exploitation forestière illégale menacent ces écosystèmes, notamment dans les zones périphériques comme le nord de Kabare (Freddy et al., 2018 ; Mastaki, 2019 ; Balagizi et al., 2013).

Les communautés locales, dont les peuples autochtones « Batwa », dépendent historiquement des ressources forestières pour leur subsistance. Leur déplacement forcé lors de l'agrandissement du PNKB en 1975

a exacerbé les conflits fonciers, notamment dans les territoires de Kabare et Walikale, où l'accès à la terre reste un enjeu majeur (Muzalia et al., 2022 ; Isumbisho et al., 2021 ; Mushagalusa et al., 2022)

Dans le nord de Kabare, la conversion des forêts en champs cultivés est accélérée par la croissance démographique et l'absence de terres agricoles alternatives. Les pratiques de défrichement pour la culture de la pomme de terre, du maïs et du haricot entraînent une fragmentation des habitats naturels et une perte de biodiversité (Mastaki, 2019 ; Balagizi et al., 2013).

Le climat montagneux du PNKB, avec des températures moyennes de 15°C en altitude, est perturbé par des variations pluviométriques. Ces changements affectent les cycles culturels et exacerbent l'érosion des sols sur les pentes abruptes (jusqu'à 35°), réduisant la productivité agricole (Zihahirwa et al., 2008 ; Luoma, 2022 ; Habimana & Diggelen 2015).

Les accords de 2019 visant à concilier la protection du PNKB et les droits des Batwa stagnent. Les promesses d'accès à la terre et aux infrastructures restent non tenues, alimentant des tensions entre les autorités du parc et les communautés locales (Isumbisho et al., 2021 ; Gala, 2020 ; Mastaki, 2019).

Les études combinant la classification non supervisée d'images satellitaires (Landsat 5, 7, 8) et des enquêtes de terrain ont permis de cartographier l'évolution de l'occupation du sol. Par exemple, la comparaison des cartes de 1994, 2005 et 2021 révèle une progression des zones cultivées et une régression des forêts secondaires (Belhadj, 2023 ; Abdelbaki, 2012 ; Rachdi et al., 2016 ; Oumar et al., 2022 ; Lemenkova, 2024 ; Gansaonré et al., 2020, Gansaonré, 2018 ; Zida, 2020 ; Mbayietom et al., 2020).

La croissance démographique accélérée dans la région (estimée à 3,5 % par an) exerce une pression sur les terres agricoles et les ressources naturelles. Les populations locales dépendent principalement de l'agriculture vivrière (pomme de terre, maïs, haricot) et de l'exploitation forestière pour le charbon de bois, ce qui entraîne une fragmentation des habitats naturels (Cuvelier & Mushobekwa, 2014 ; Bikubanya et al., 2024 ; Cokola et al., 2019 ; Christian et al., 2006 ; Igugu et al., 2024 ; Peuportier, 2016 ; Bah, 2023 ; DIENG et al., 2025 ; Perry et al., 2023 ; Simon et al., 1997).

Des projets d'infrastructure, comme la réhabilitation de l'aéroport de Kavumu, modifient les dynamiques spatiales. Ces initiatives, bien que visant le désenclavement, risquent d'accroître l'urbanisation non planifiée et la conversion de terres agricoles ou forestières en zones bâties (Cuvelier & Mushobekwa, 2014 ; Bikubanya et al., 2024 ; Cokola et al., 2019 ; Christian et al., 2006 ; Igugu et al., 2020).

L'agriculture itinérante sur brûlis et la demande en bois énergie (utilisé par 95 % des ménages pour la cuisson et l'éclairage) sont des moteurs clés de la déforestation. Une étude similaire au Nord Bénin montre que les formations naturelles reculent au profit des mosaïques champs-jachères, avec un taux annuel de déforestation atteignant 1,7 % (Peuportier, 2016 ; Bah, 2023 ; DIENG et al., 2025 ; Perry et al., 2023 ; Eloy, 2024 ; Jamet, 2020 ; Herard, 2019 ; Mama et al., 2014 ; Eloy & Tourneau, 2009 ; Demaze, 2002).

Le PNKB, voisin de Kabare Nord, impose des restrictions d'accès aux ressources forestières, exacerbant les tensions avec les communautés locales. Les déplacements forcés historiques des Batwa, combinés à l'absence de terres alternatives, poussent ces populations à empiéter sur les zones protégées (Bikubanya et al., 2024 ; Cokola et al., 2019 ; Christian et al., 2006 ; Igugu et al., 2024).

Les variations pluviométriques et l'érosion accélérée sur les pentes abruptes (jusqu'à 35°) réduisent la fertilité des sols. Ce phénomène, couplé à des pratiques agricoles non durables, entraîne une baisse des rendements et une expansion continue des surfaces cultivées (Peuportier, 2016 ; Bah, 2023 ; DIENG et al., 2025 ; Perry et al., 2023).

L'extension des zones urbaines autour de Kavumu et des centres administratifs fragmente les paysages. La conversion de terres agricoles en logements ou infrastructures aggrave la compétition pour l'accès à la terre, notamment pour les jeunes et les groupes marginalisés (Bikubanya et al., 2024 ; Cokola et al., 2019 ; Christian et al., 2006 ; Igugu et al., 2024).

Des études similaires au Sénégal (Ferlo) et au Bénin utilisent des images Landsat et SPOT pour cartographier l'évolution du couvert végétal. Ces méthodes révèlent une régression des forêts primaires et une expansion des savanes arbustives ou des zones cultivées, avec des taux de changement variant selon les contextes climatiques et socio-économiques (Jamet, 2020 ; Herard, 2019 ; Mama et al., 2014 ; Eloy & Tourneau, 2009 ; Demaze, 2002 ; Boussema & Allouche, 2020 ; Gorra, 2016 ; Maire, E., Marais-Sicre et al., 2012 ; Boucka et al., 2021 ; Belhadi et al., 2013 ; Bendraoua et al., 2011 ; Balestrat et al., 2008 ; Bendraoua, 2012).

Les enquêtes menées à Kabare Nord soulignent le rôle central de la pauvreté et du manque d'accès à l'énergie électrique (seulement 3,77 % des ménages utilisent l'électricité de manière permanente) dans la surexploitation des ressources forestières (Peuportier, 2016 ; Bah, 2023 ; DIENG et al., 2025 ; Perry et al., 2023).

II. Milieu, Matériels Et Méthodes

Milieu d'étude

Situation physique

Créé officiellement le 12/01/1923, le territoire de Kabare est aujourd'hui une entité administrative décentralisée et l'un de huit territoires constituant la province du Sud Kivu (figure 1). Le territoire de Kabare compte 17 groupements répartis en deux chefferies (Kabare et Nindja). Il recouvre une superficie de 1960km² et 535.114 habitants soit 288 habitants par Km². Il est limité:

- Au nord par le territoire de Kalehe,
- Au sud, le territoire de Walungu par les bords de la rivière Kazinzi (Sud-ouest) et la rivière LUBIMBE (Sud-est),
- A l'Est par la ville de Bukavu, le lac Kivu,
- A l'Ouest par le territoire de Shabunda (la rivière Lugulu)

Le Parc National de Kahuzi-Biega (PNKB) s'étend sur 600 000 hectares dans l'est de la République Démocratique du Congo (RDC), couvrant les territoires de Kabare, Kalehe, Shabunda et Walikale. La partie nord de Kabare se situe dans la zone de transition entre la forêt équatoriale et les montagnes afro-montagnardes, caractérisée par un relief accidenté (altitudes variant de 600 à 3 308 m) et une hydrographie dense (rivières Luholo, Luka, et Lugula) (Zihahirwa et al., 2008 ; Luoma, 2022 ; Habimana & Diggelen 2015 ; Isumbisho et al., 2021 ; Mokoso et al., 2012 ; Seintsheng et al., 2023).

Le PNKB abrite une biodiversité exceptionnelle, incluant des espèces endémiques comme le gorille de plaine de l'Est. La végétation se répartit en forêts primaires (28 %), forêts secondaires (20 %), et forêts de bambous (30 %), avec des zones marécageuses (7 %).

Entre 1990 et 2020, une étude a révélé une variabilité interannuelle significative du couvert végétal dans les bassins versants proches du PNKB. L'analyse diachronique d'images Landsat montre une corrélation entre les facteurs climatiques (température, précipitations) et la réduction des forêts primaires au profit des cultures et jachères (Gansaonré et al., 2020, Gansaonré, 2018 ; Zida, 2020 ; Mbayetom et al., 2020 ; Diallo et al., 2020 ; Solly et al., 2020).

La partie Nord de Kabare, située dans la province du Sud-Kivu en République Démocratique du Congo (RDC), se caractérise par un relief montagneux et des écosystèmes diversifiés, incluant des forêts tropicales, des zones agricoles et des bassins versants critiques pour la régulation hydrologique. Cette région est également adjacente au Parc National de Kahuzi-Biega (PNKB), classé patrimoine mondial de l'UNESCO, ce qui amplifie les enjeux de conservation (Büscher, K., Cuvelier & Mushobekwa, 2014 ; Bikubanya et al., 2024 ; Cokola et al., 2019 ; Christian et al., 2006 ; Igugu et al., 2024 ; Namegabe et al., 2014 ; De Failly, 1999).

C'est un territoire montagneux, qui s'étend des environs de la ville de Bukavu au sud, aux rives occidentales du Lac Kivu au nord, il se prolonge vers le sud-ouest par la chefferie de Nindja.

Cette partie de la RDC se situe dans la branche occidentale du Rift est-africain. Elle est formée des reliefs précambriens orientés sud-nord de la chaîne de Mitumba culminant à plus de 3000 m (Figure 1). Ces reliefs incisés par des rivières aux vallées profondes sont rajeunis sans cesse par le rifting divergent qui agit depuis le Tertiaire (Chorowicz, 2005 ; Delvaux & Barth, 2010). La lithologie est formée de roches métamorphiques (granites, gneiss, micaschistes) au niveau des reliefs précambriens, de roches volcaniques et de coulées de lave au sud et au nord du lac Kivu et de dépôts calcaires d'origine lacustre qui tapissent le fond des vallées principales au bord du lac (Lutumba, 1991). Le climat est pluvieux (1500 mm) et tempéré par l'altitude (20°C en moyenne annuelle) avec une saison sèche de juin à août (Données 2003-2013 de la Station météorologique de Lwiro).

Du lac Kivu à la lisière du parc de Kahuzi-Biega (Figure 1), la forêt naturelle a laissé place à des cultures, des zones de pâturage et des centres ruraux le long des routes principales. La conquête de nouvelles terres arables et l'approvisionnement en ressources ligneuses poussent les populations riveraines du parc à détruire de plus en plus la forêt dont il ne subsiste que quelques reliques (Brown & Kasisi, 2009 ; Mokoso et al., 2012 ; Mudinda et al., 2013).

La région est une des zones les plus densément peuplée de la RDC avec une densité > 200 habitants/km² (Bishakabalya & Alingilya, 2014 ; Civava et al., 2013). Le peuplement est constitué de groupes ethniques bantous et des pygmées vivant à la lisière du parc. Les activités économiques sont surtout basées sur l'agriculture vivrière et commerciale, des fermes de bovins et des petits ruminants. La pêche et la navigation sont développées sur le lac Kivu. L'exploitation artisanale des ressources minières comme l'or, la cassitérite et le coltan est en pleine expansion.

L'axe routier de la Nationale 2 Bukavu-Goma permet l'évacuation des produits agricoles vers les villes précitées et l'approvisionnement des centres ruraux importants. La beauté du paysage est favorable au tourisme qui se remet peu à peu des affres de la guerre ; les gorilles de montagnes restent l'une des grandes attractions du parc de Kahuzi-Biega.

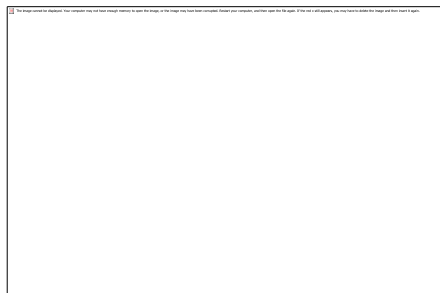


Figure 1. Carte administrative de la partie Nord du territoire de Kabare

Matériels et Données

Les données utilisées dans cette étude sont issues d'images Landsat (résolution 30 m x 30 m), prises pendant les périodes de pluies et la saison sèche. Les images de la saison sèche ont été utilisées pour les indices de bâtis et celles de la saison de pluies pour les indices de végétation. Le critère de choix était d'obtenir des images satellites avec une très faible couverture nuageuse (moins de 30%).

Ces images satellites ont été téléchargées à partir du site <https://earthexplorer.usgs.gov>, consulté durant l'année 2020). Les images sans couverture nuageuse et dont les caractéristiques affectées par la saisonnalité ont été prises en compte dans cette étude. Les produits de niveau 2 (réflectance de surface) des satellites Landsat 5&4 TM, Landsat 7 ETM+ et Landsat 8 OLI&TIRS de 1986 à 2020 ont été sélectionnés afin d'obtenir des données géométriques, radiométriques et atmosphériques corrigées (Tableau 1).

En outre, les images Landsat ont été utilisées pour l'analyse des données pour plusieurs raisons : (i) la disponibilité de plusieurs images jusqu'à ce jour, (ii) les données en libre accès, (iii) la bonne résolution spectrale, et (iv) la résolution spatiale (30 m) est suffisante pour distinguer les classes forestières/non forestières et, par conséquent, limite la quantité de données à traiter. De plus, les images Landsat ont de bonnes qualités radiométriques et géométriques pour effectuer des analyses de la dynamique de l'occupation du sol. Les bandes spectrales sélectionnées dans ce travail étaient les bandes Rouge (R), proches infrarouge (PIR) et Infrarouge ondes courtes (SWIR).

Tableau 1. Caractéristiques des images sélectionnées

N°	Année	Date d'acquisition	Satellite et nom du Capteur
1	1986	26.12 - 19.07	Landsat 5 Thematic Mapper (TM)
2	1987	01.04 - 03.05	
3	1989	04.08 - 20.08	
4	1990	27.11 - 30.07	
5	1991	18.08	
6	1994	25.07	
7	1995	02.02 - 12.07	
8	1996	09.04 - 30.07	
9	1997	19.09	
10	1998	24.01	
11	1999	28.01	
12	2000	11.09	
13	2001	21.08	
14	2002	28.01 - 05.06	
15	2003	15.01	
16	2004	22.03 - 12.07	
17	2005	15.07 - 21.02	Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)
18	2006	19.08 - 02.07	
19	2007	19.06	
20	2008	09.09	
21	2009	28.09	
22	2010	04.12 - 01.10	
23	2011	30.06 - 06.02	
24	2012	28.03 - 02.07	
25	2013	26.01 - 15.03	
26	2014	08.07 - 28.10	
27	2015	09.02 - 27.07	Landsat 8 Operational Land Imager and Thermal Infrared Sensor (OLI&TIRS)
28	2016	19.06	
29	2017	06.06	
30	2018	12.08 - 11.07	
31	2019	15.08 - 04.02	
32	2020	19.07 - 23.02	

Les données utilisées dans cette étude sont issues d'images Landsat (résolution 30 m x 30 m), prises pendant les périodes de pluies et la saison sèche. Les images de la saison sèche ont été utilisées pour les indices de bâtis et celles de la saison de pluies pour les indices de végétation. Le critère de choix était d'obtenir des images satellites avec une très faible couverture nuageuse (moins de 30%). Ces images satellites ont été téléchargées à partir du site <https://earthexplorer.usgs.gov>, consulté durant l'année 2020).

Les images sans couverture nuageuse et dont les caractéristiques affectées par la saisonnalité ont été prises en compte dans cette étude. Les produits de niveau 2 (réflectance de surface) des satellites Landsat 5&4 TM, Landsat 7 ETM+ et Landsat 8 OLI&TIRS de 1986 à 2020 ont été sélectionnés afin d'obtenir des données géométriques, radiométriques et atmosphériques corrigées (Tableau 1). En outre, les images Landsat ont été utilisées pour l'analyse des données pour plusieurs raisons : (i) la disponibilité de plusieurs images jusqu'à ce jour, (ii) les données en libre accès, (iii) la bonne résolution spectrale, et (iv) la résolution spatiale (30 m) est suffisante pour distinguer les classes forestières/non forestières et, par conséquent, limite la quantité de données à traiter.

De plus, les images Landsat ont de bonnes qualités radiométriques et géométriques pour effectuer des analyses de la dynamique de l'occupation du sol. Les bandes spectrales sélectionnées dans ce travail étaient les bandes Rouge (R), proches infrarouge (PIR) et Infrarouge ondes courtes (SWIR).

Méthodes

Calcul des NDVIs

Les indices de végétation sont principalement basés sur le comportement spectral de la végétation dans les canaux du Rouge (R) et du Proche InfraRouge (PIR) (Dusseux, 2014 [8], Viña et al., 2011 [9], Tucker, 1979 [10]). Le NDVI est l'indice de végétation par différence normalisée ou indice de Tucker (Tucker, 1979)

L'indice de végétation est un outil utilisé dans les domaines environnementaux, car il fournit des informations sur la verdure et l'état de la végétation. La formule de calcul du NDVI est :

$$NDVI = \frac{PIR - R}{PIR + R} \quad (1)$$

En effet, avec les données :
Landsat 5 et 7,

$$NDVI = \frac{\text{Bande4} - \text{Bande3}}{\text{Bande4} + \text{Bande3}} \quad (2)$$

Landsat 8,

$$NDVI = \frac{\text{Bande5} - \text{Bande4}}{\text{Bande5} + \text{Bande4}} \quad (3)$$

La normalisation par la somme des deux bandes permet de réduire les effets d'éclairement. Le NDVI conserve une valeur constante quel que soit l'éclairement global, contrairement à la simple différence entre la bande PIR et Rouge (indice de végétation simple), qui est très sensible aux variations d'éclairement.

Cet indice normalisé est sensible à la vigueur et à la quantité de la végétation. Les valeurs du NDVI sont comprises entre -1 et +1, les valeurs négatives correspondant aux surfaces autres que les couverts végétaux, comme la neige, l'eau ou les nuages pour lesquelles la réflectance dans le rouge est supérieure à celle du proche infrarouge. Les valeurs comprises entre -0.1 à 0.1 ressemblent à des plans d'eau et des zones habitées.

Pour les sols nus, les réflectances étant à peu près du même ordre de grandeur dans le rouge et le proche infrarouge, le NDVI présente des valeurs proches de 0,1 à 0.2. Pour les arbustes, les herbes et les champs ont des valeurs de NDVI variant entre 0.2 et 0.4. Les couvertures végétales denses quant à elles, ont des valeurs de NDVI positives, généralement comprises entre 0,5 et 1.

Le taux de NDVI peut être calculé en utilisant le calculateur de raster avec ARGIS 10.7 (figure 2). Les deux blocs de forme elliptique en bleu représentent les deux bandes de l'image Landsat qu'on affiche dans la table de matière d'ARCGIS, ces deux images sont en système de coordonnées géographiques. Elles subissent une projection en système coordonnées UTM zone 35 sud, cette opération se fait à partir de l'outil « Project » dans arctoolbox, sous le menu Projections et transformations puis Raster, en bloc rectangulaire jaune.

Il apparaît deux couches projetées raster PIR et ROUGE, dont on utilise le calculateur de raster et on introduit la formule pour calculer le NDVI. La couche vectorielle de la zone d'étude est utilisée pour couper à la zone d'intérêt par l'outil « clip » du menu Data Management Tools, sous menu Raster et raster processing de arctoolbox. Le raster NDVI de la zone d'étude est obtenu, l'outil Reclassify permet de définir les différentes classes de NDVI et la conversion du raster classifié en polygones des NDVIs permet d'obtenir les différentes superficies de ces classes et leurs taux d'occupations. Ces opérations sont reprises dans le schéma de la figure ci-dessous.

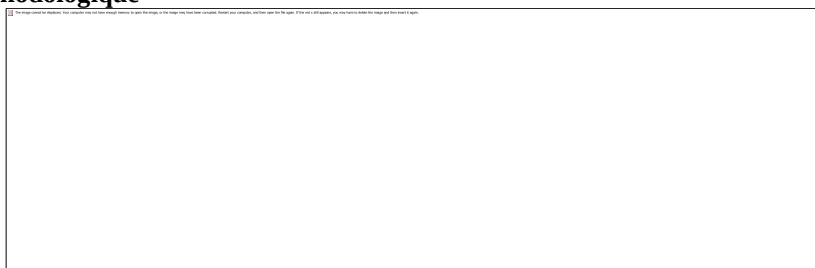
Diagramme méthodologique

Figure 2. Diagramme méthodologique de calcul de l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) à partir des images Landsat 8 OLI&TIRS.

Détermination de vitesse de dégradation du PNKB et des zones de santé de Miti-Murhesa et Katana

Après le calcul des NDVIs, les valeurs maximales et minimales des NDVIs seront visibles sur les couches raster de sortie. Seules les valeurs maximales seront considérées, car les valeurs minimales ne représentent pas les caractéristiques du couvert végétal. La vitesse de dégradation annuelle sera obtenue en soustrayant les valeurs maximales deux années consécutives, la différence entre l'année suivant et l'année précédente. La vitesse moyenne de dégradation est obtenue en calculant la moyenne des vitesses annuelles obtenues précédemment.

Valeurs particulières de NDVI du milieu d'étude

Dans le tableau 2 ci-dessous, il est présenté les valeurs statistiques des valeurs NDVI des années 1986, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 et 2020. Ces valeurs sont réparties suivant les zones des santés (ZS) concernées par l'étude et le PNKB.

Tableau 2. Les valeurs statistiques de NDVI du milieu d'étude

Date	Entités	MAX	MIN	MOY.	Dev. Stand
26/12/1986	ZS	0,751351	-0,17647	0,28744	0,656069
	PNKB	0,785714	-0,99219	-0,10324	1,257167
30/07/1990	ZS	0,612245	-0,21053	0,20086	0,581787
	PNKB	0,666667	-0,07246	0,297102	0,522644
02/02/1995	ZS	0,834586	-0,22581	0,30439	0,74981
	PNKB	0,704698	-0,03933	0,332686	0,526104
11/09/2000	ZS	0,65625	-0,27273	0,191762	0,656886
	PNKB	0,724551	-0,06383	0,330361	0,557469
21/02/2005	ZS	0,625	-0,23636	0,194318	0,609076
	PNKB	0,647799	0	0,3239	0,458063
01/10/2010	ZS	0,615819	-0,25926	0,17828	0,618774
	PNKB	0,605263	-0,25552	0,174872	0,608665
21/09/2015	ZS	0,442106	-0,01155	0,215276	0,320786
09/06/2015	PNKB	0,510817	-0,31471	0,098054	0,583736
17/08/2020	ZS	0,475977	-0,05727	0,209355	0,37706
31/12/2020	PNKB	0,558512	-0,31204	0,123237	0,615572

De ce tableau, les valeurs maximales des NDVI sont toutes positives et celles minimales sont négatives. Les valeurs positives de NDVI contiennent les informations importantes sur la végétation d'une région donnée. Les valeurs négatives des indices NDVI sont constituées des zones en eau de surface et dans l'espace. Les zones dans d'habitation ont aussi des valeurs négatives pour les NDVI, ces valeurs sont difficiles à les distinguer des surfaces en eau, telles trouvées aussi dans les travaux de Hashim et al., 2019 et Djoufack, 2011.

Les valeurs positives maximales varient entre 0.785714 en 1986 et 0.510817 en 2015 pour le PNKB.

Tableau 3. NDVI moyen_PNKB: 1986 - 2020

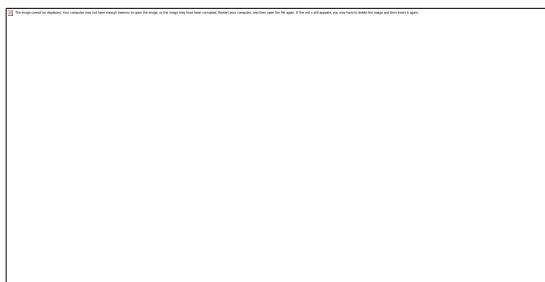
Dates	26.12.1986	30.07.1990	02.02.1995	11.09.2000	21.02.2005	01.10.2010	09.06.2015	31.12.2020
NDVI moyen	-0,10±1,25	0,30±0,52	0,33±0,53	0,33±0,56	0,32±0,46	0,17±0,61	0,10±0,58	0,12±0,62

Elles sont entre 0.834586 en 1995 et 0.442106 en 2015 pour les zones de santé de Miti-Murhesa et Katana.

Tableau 4. NDVI moyen_ZS: 1986 - 2020

Dates	26.12.1986	30.07.1990	02.02.1995	11.09.2000	21.02.2005	01.10.2010	21.09.2015	17.08.2020
NDVI moyen	0,29±0,66	0,20±0,58	0,30±0,75	0,19±0,66	0,19±0,61	0,18±0,62	0,22±0,32	0,21±0,38

Ces valeurs augmentent en 2020 dans les deux entités. Il s'observe clairement que ces valeurs affichent une tendance vers la baisse, mais elles montrent des fluctuations sur certaines années.



Cette tendance montre une évolution défavorable de l'environnement de ces deux zones, cela s'est observé aussi dans le district de Dhaka au Bangladesh (Mahzabin et al. 2022).

III. Résultats

Les images Landsat TM 5, ETM 7 et OLI 8 constituent les principales images analysées pour les calculs de l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI). Ces analyses ont montré une particularité remarquable, les images Landsat 5 et 7 donnent des résultats avec des caractéristiques différentes suivant les classes des zones à forte végétation et faible végétation.

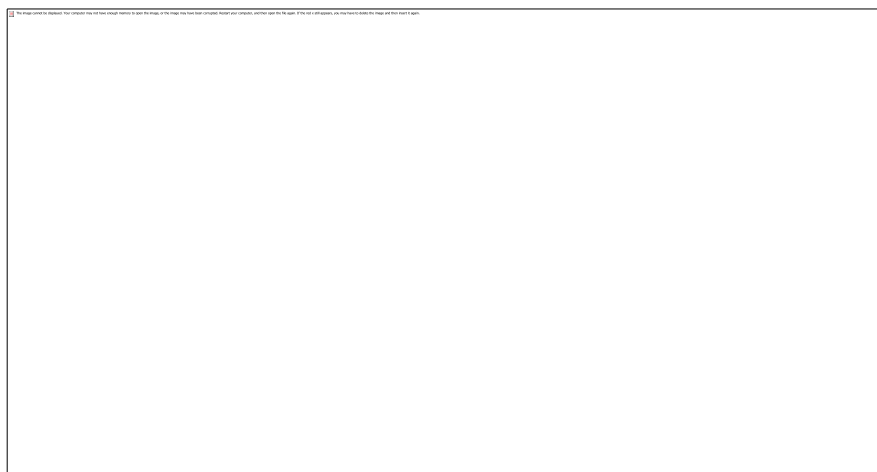
Beaucoup de pixel se concentrent dans les classes à forte végétation que les zones à faible végétation dans les images Landsat TM 5 et ETM 7. Dans les images Landsat OLI 8, un bon nombre de pixel d'indices se concentrent dans les classes de faible végétation et donnent l'impression d'une baisse sensible de la forêt dense. Les NDVIs dans la partie haute altitude du Parc National de Kahuzi (PNKB) et les zones de santé de Miti-Murhesa et Katana sont calculés.

Les classes de NDVIs sont présentées dans les légendes (figure 3). Les valeurs négatives contiennent des zones où il y a les couches de nuages et les zones sans végétations, les valeurs positives comprises entre -0.1 à 0.1 sont les zones sans arbres dans le PNKB et les plan d'eau et zones habitées dans les zones de Miti-Murhesa et Katana.

Les classes comprises entre 0.1 à 0.2 englobent les zones sans arbres dans le PNKB et les zones à sol nu dans les zones de santé, les classes de 0.2 à 0.4 constituent les zones à faibles végétations ou forêt moins dense et les champs dans les zones de santé.

Les classes supérieures à 0.4 sont considérées comme forêt dense dans le PNKB et les boisements dans les zones de santé. Les images des périodes de la saison de pluie ont été utilisées pour les calculs de NDVI, ces périodes correspondent au moment où il y a une forte présence de nuage.

Celles les images ayant au moins 30% de couverture nuageuse étaient sélectionnées pour palier à la rareté d'images de moins de 10% de couverture nuageuse. Cela a eu de l'impact sur la qualité de certains indices NDVI avec des petites valeurs négatives, surtout dans le PNKB, des grandes zones dans les classes de plan d'eau et zones brillantes sont visibles dans certaines cartes NDVI. Dans les zones de Miti-Murhesa et Katana, une faible présence des nuages était observable.



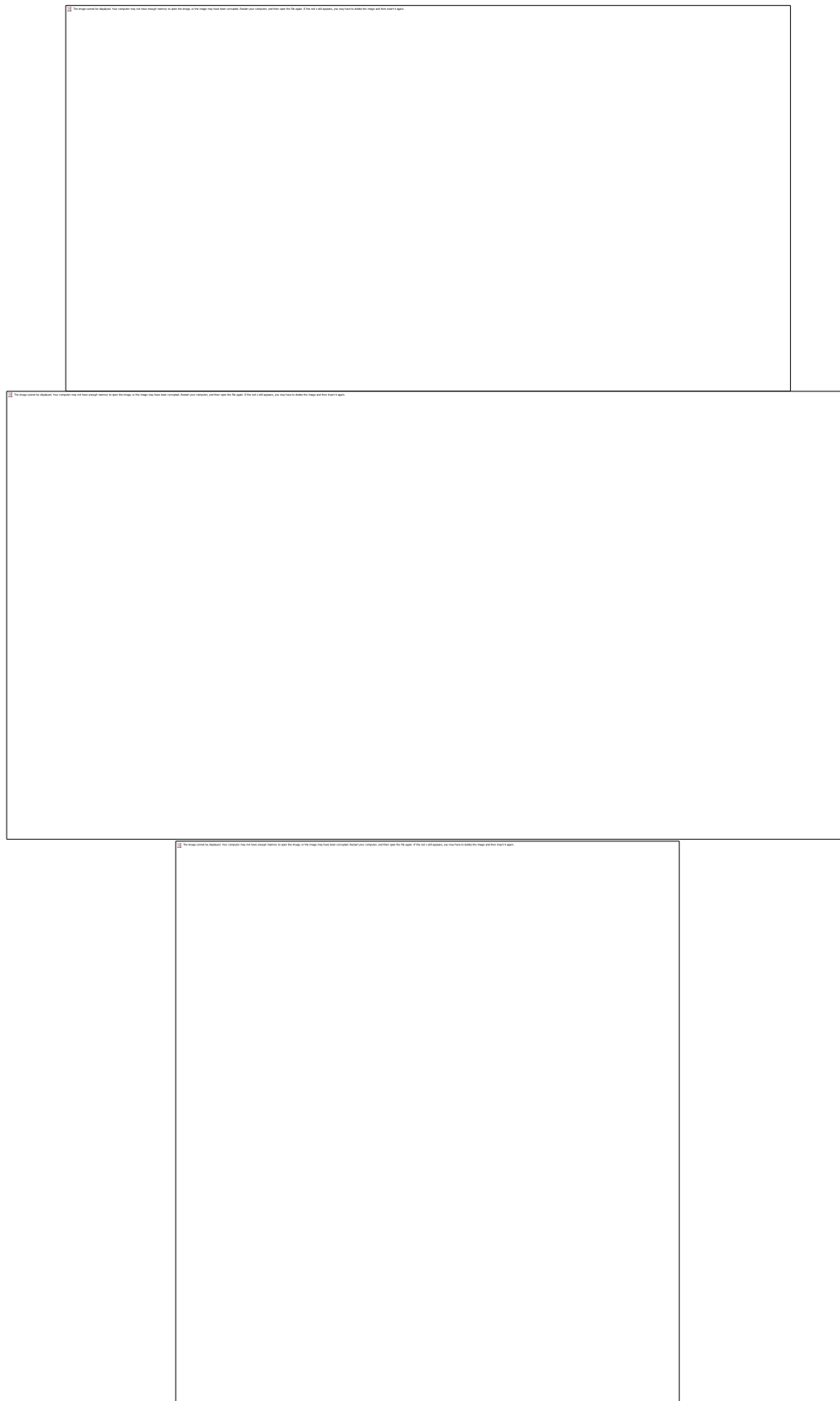


Figure 3. les cartes des indices de végétation par différence normalisée (NDVI) dans le Parc National de Kahuzi Biega (PNKB) et les zones de santé de Miti-Murhesa et Katana dans le territoire de Kabare, de 1990 à 2020 avec un intervalle de 5ans.

Sur les figures 3 ci-dessus, il s'observe une nette différence entre les années 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 et les années 2015 et 2020. Les images du premier groupe sont issues des images Landsat TM 5 et ETM 7 et les autres sont issues des images Landsat OLI 8. Les images Landsat TM 5 et ETM 7 montrent des grandes zones des forêts denses, celles de 2015 et 2020 montrent plutôt des grandes zones des forêts moins denses. Ces différences sont tellement remarquables, qu'elles ne peuvent pas être attribuées à une dégradation du PNKB. Cela a aussi été observé par Mahzabin et al. 2022 dans une étude sur la quantification des changements spatiotemporels de la surface imperméable urbaine en utilisant la télédétection.

Dans le tableau 2 ci-dessous, il est présenté les valeurs statistiques des valeurs NDVI des années 1986, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 et 2020. Ces valeurs sont réparties suivant les zones des santés (ZS) concernées par l'étude et le PNKB.

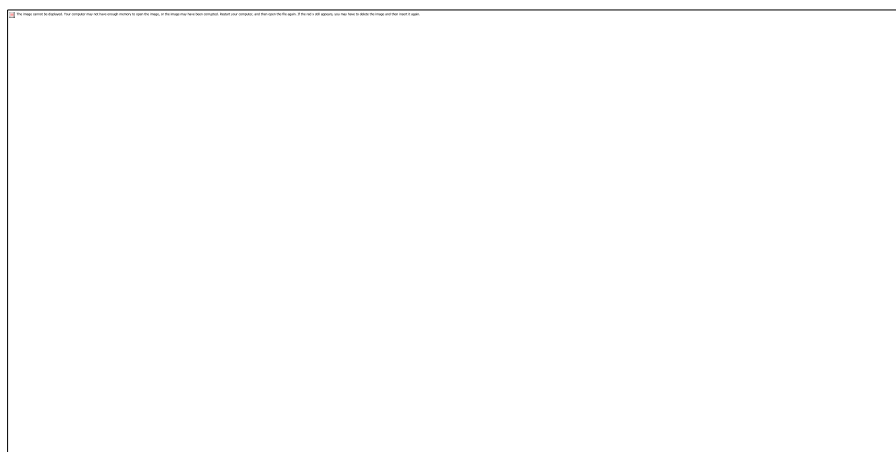
Tableau 2. Les valeurs statistiques de NDVI

Date	Entités	MAX	MIN	MOY.	Dev. Stand
26/12/1986	ZS	0,751351	-0,17647	0,28744	0,656069
	PNKB	0,785714	-0,99219	-0,10324	1,257167
30/07/1990	ZS	0,612245	-0,21053	0,20086	0,581787
	PNKB	0,666667	-0,07246	0,297102	0,522644
02/02/1995	ZS	0,834586	-0,22581	0,30439	0,74981
	PNKB	0,704698	-0,03933	0,332686	0,526104
11/09/2000	ZS	0,65625	-0,27273	0,191762	0,656886
	PNKB	0,724551	-0,06383	0,330361	0,557469
21/02/2005	ZS	0,625	-0,23636	0,194318	0,609076
	PNKB	0,647799	0	0,3239	0,458063
01/10/2010	ZS	0,615819	-0,25926	0,17828	0,618774
	PNKB	0,605263	-0,25552	0,174872	0,608665
21/09/2015	ZS	0,442106	-0,01155	0,215276	0,320786
09/06/2015	PNKB	0,510817	-0,31471	0,098054	0,583736
17/08/2020	ZS	0,475977	-0,05727	0,209355	0,37706
31/12/2020	PNKB	0,558512	-0,31204	0,123237	0,615572

De ce tableau, les valeurs maximales des NDVI sont toutes positives et celles minimales sont négatives. Les valeurs positives de NDVI contiennent les informations importantes sur la végétation d'une région donnée. Les valeurs négatives des indices NDVI sont constituées des zones en eau de surface et dans l'espace. Les zones dans d'habitation ont aussi des valeurs négatives pour les NDVI, ces valeurs sont difficiles à les distinguer des surfaces en eau, telles trouvées aussi dans les travaux de Hashim et al., 2019 et Djoufack, 2011.

Les valeurs positives maximales varient entre 0.785714 en 1986 et 0.510817 en 2015 pour le PNKB. Elles sont entre 0.834586 en 1995 et 0.442106 en 2015 pour les zones de santé de Miti-Murhesa et Katana. Ces valeurs augmentent en 2020 dans les deux entités. Il s'observe clairement que ces valeurs affichent une tendance vers la baisse, mais elles montrent des fluctuations sur certaines années. Cette tendance montre une évolution défavorable de l'environnement de ces deux zones, cela s'est observé aussi dans le district de Dhaka au Bangladesh (Mahzabin et al. 2022).

Il est question de déterminer les variations spatiotemporelles des taux d'occupation des différentes classes des NDVI dans le PNKB et les zones de santé. Les figures 4a et 4b montrent les taux d'occupation en pourcentage (%) des classes des NDVI de 1986 à 2020.



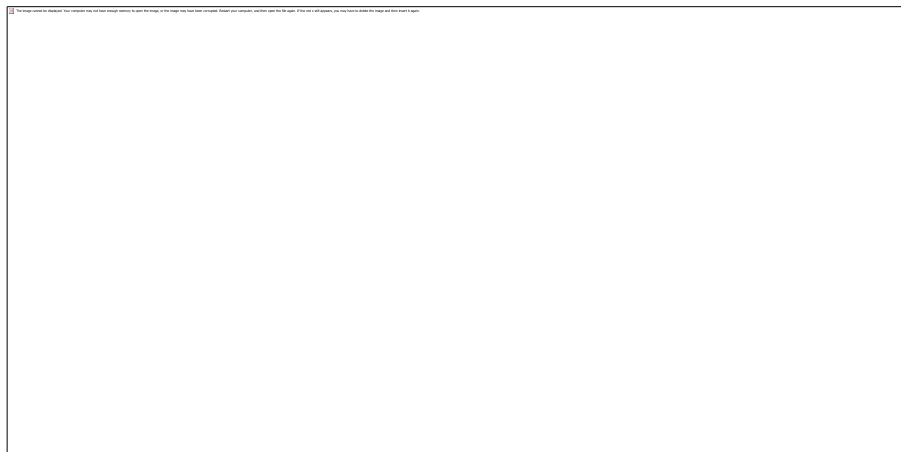


Figure 4. a. Les taux d'occupation des classes de NDVI dans le PNKB. b. Les taux d'occupation des classes de NDVI dans les zones de santé de Miti-Mrhesa et Katana.

Les taux d'occupation du sol des différentes classes des NDVI se sont présentés de manières différentes entre le PNKB et les Zones de santé. Dans le PNKB, les taux d'occupation des zones à forêt dense sont élevés par rapport à celles de forêt moins dense de 1986 jusqu'en 2005. A partir de 2010, la tendance entre ces deux classes commence à s'inverser. Les zones de forêt moins dense augmentent par rapport aux zones de forêt dense, cela est aussi observé au tableau 1 où les valeurs maximales de NDVI pour les années 2015 et 2020 tendent vers la baisse dans cette région.

Un changement rapide de taux d'occupation entre ces deux classes dans cette partie ne peut pas se justifier, ceci pourrait être lié aux caractéristiques des images fournies par différents capteurs de Landsat (Mahzabin et al. 2022). Ces différences liées aux caractéristiques des capteurs pourraient conduire à utiliser à une reclassification différente que celle des autres années précédentes. Pour l'autre classe de NDVI positive, la classe de la zone sans arbre, le taux d'occupation reste très faible jusqu'en 2005. C'est en 2010 où il augmente à 6.21%, puis à 8.37% en 2020.

Dans les zones de santé, il se fait voir une certaine variation des valeurs d'occupation du sol entre les classes des zones boisées et des champs. Cette alternance entre ces deux classes montre une tendance vers une diminution globale des taux d'occupation des zones boisées par rapport aux champs dans ces entités. Les écarts des taux d'occupation entre les deux classes sont liés aux saisons. Il apparait une augmentation de la classe des sols nus à partir de 2010 et ce taux atteint jusqu'à 51.01% en 2015.

Il s'observe aussi une variation des taux de zones boisées par rapport aux sols nus et les deux évoluent de manière opposée. Ces valeurs de taux d'occupation montrent des changements de la végétation dans le PNKB et des zones boisées, des zones de culture et de sols nus dans les zones de santé.

Sur la figure 5 ci-dessous, il est présenté le graphique des valeurs maximales des NDVIs du PNKB et des zones de santé (ZS) de Miti-Murhesa et Katana. Ces valeurs comprennent les analyses des images Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ et Landsat 8 OLI&TIRS.

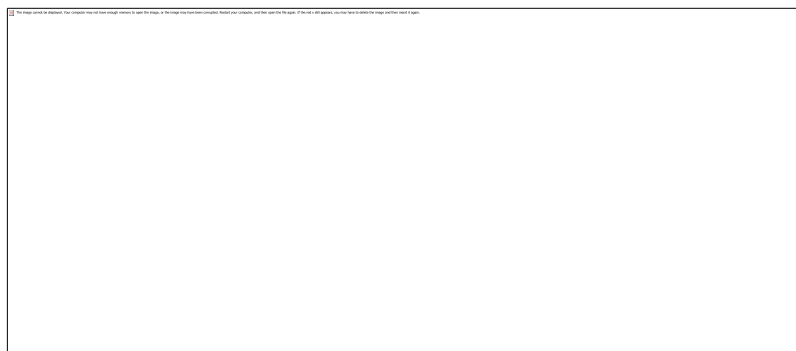


Figure 5. Les valeurs maximales des NDVIs du PNKB et les zones de santé de Miti-Murhesa et Katana pour la période de 1986 à 2020.

De cette figure, les valeurs maximales des NDVI du PNKB sont supérieures à celles des zones de santé. Les courbes de ces deux entités évoluent presque de manière similaire. Les courbes de tendances ont des coefficients angulaires négatifs, cela montre une tendance vers la diminution des ces valeurs. Cependant, les relations de régression ont des coefficients de détermination compris entre 0.3 et 0.5 (James et al., 2013).

Cela montre que les modèles expliquent de manière modérée les variances de NDVIs par rapport à l'évolution des années.

Sur le graphique de la figure 6 ci-dessous, on remarque la vitesse de dégradation dans le PNKB et les zones de santé de Miti-Murhesa.

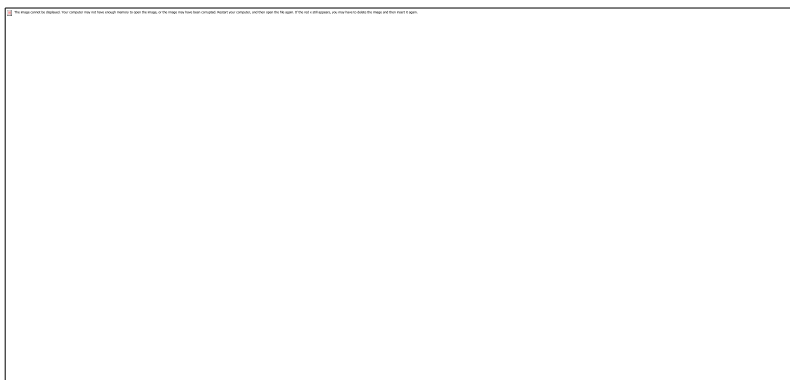


Figure 6. Vitesse de dégradation du couvert végétal du PNKB et des zones de santé de Miti-Murhesa et Katana.

Cette figure montre les courbes des vitesses annuelles de dégradation des couverts végétaux du PNKB et des zones de santé pour la période de 1986 à 2020. Dans la figure précédente, il a été observé que les valeurs maximales des NDVIs tendaient vers la diminution, ce qui justifie la tendance des droites de régression linéaire de deux courbes vers les grandes valeurs négatives.

Cette tendance montre une augmentation des valeurs des vitesses de dégradation annuelle. Les valeurs moyennes des vitesses annuelles de dégradation de deux entités sont obtenues en prenant les valeurs absolues de ces moyennes. Ces vitesses sont de 0,44 % et 0,46 % respectivement des couverts végétaux du PNKB et des zones de santé de Miti-Murhesa et Katana.

IV. Discussion

De 1986 à 2020, annuellement la vitesse de dégradation de la biomasse forestière est respectivement de 0,0044 dans le PNKB et de 0,0046 dans les zones de santé de Miti-Murhesa et Katana.

Dans le PNKB, la dégradation a commencé en 2000 où le NDVI est passé de $0,33 \pm 0,56$ à $0,12 \pm 0,62$. Dans les zones de santé, la dégradation prononcée était courte, soit de 1995 à 2000 passant de $0,30 \pm 0,75$ à $0,19 \pm 0,66$. Depuis lors, l'indice a oscillé entre $0,19 \pm 0,61$ en 2005 et $0,21 \pm 0,38$ en 2020.

V. Conclusion

Dans le Parc National de Kahuzi-Biega (PNKB), La végétation se répartit en forêts primaires (28 %), forêts secondaires (20 %), et forêts de bambous (30 %), avec des zones marécageuses (7 %). Cependant, l'expansion agricole, l'exploitation forestière et minière illégale menacent ces écosystèmes, notamment dans les zones périphériques comme le nord de Kabare. La proximité de la ville de Bukavu et de la partie Nord de Kabare constituent aussi une des menaces présumées sur le PNKB.

L'analyse des images satellitaires Landsat par l'utilisation de l'indice de végétation NDVI, nous a permis d'étudier l'évolution du couvert végétal du PNKB et des zones de santé de Miti-Murhesa attenante à ce dernier. Cette étude a couvert une période de 1986 à 2020, soit une durée de 34 ans et cela, selon la disponibilité des images par année.

Les cartes des indices NDVI montrent une nette fluctuations des valeurs des différentes classes de ces indices. Cependant, ces indices tendent vers une diminution sur toute la période de l'étude dans les deux entités considérées dans cette étude. Les valeurs des vitesses annuelles de dégradation ont quand même révélé un changement dans le couvert végétal du PNKB et les zones de santé. Les vitesses moyennes de dégradation calculées sur toute la période de l'étude donnent des valeurs 0,0044 et 0,0046, respectivement pour le PNKB et les zones de santé. Les zones de santé subissent une dégradation élevée par rapport au PNKB. Malgré cette évolution du couvert végétal vers des tendances négatives, il y a quand des valeurs élevées des indices NDVIs dans le PNKB.

Cette étude se limite au calcul des indices NDVI et de son évolution dans le temps, sans pour autant analyser d'autres facteurs qui entre en compte dans la survie d'une zone forestière et de celle habitée.

Références

- [1] Abdelbaki, A. (2012). Utilisation Des SIG Et Télédétection Dans L'étude De La Dynamique Du Couvert Végétal Dans Le Sous Bassin Versant De Oued Bouguedfine (Wilaya De Chlef) (Doctoral Dissertation, SAIDI Djamel).

- [2] Bah, M. (2023). Analyse De La Croissance Spatiale De La Commune De Ratoma (Conakry, Guinée) De 1980 À 2022 Et Ses Conséquences Socio-Économiques Et Environnementales.
- [3] Balagizi, I. K., Ngendakumana, S., Mushayuma, H. N., Adhama, T. M., Bisusa, A. M., Baluku, B., & Isumbish, M. (2013). Perspectives De Gouvernance Environnementale Durable Dans La Région De Lwiro (Sud Kivu, République Démocratique Du Congo). *Vertigo-La Revue Électronique En Sciences De L'environnement*, (Hors-Série 17).
- [4] Balestrat, M., Chéry, J. P., Valette, E., & Barbe, E. (2008). Suivi Des Changements D'occupation Et D'utilisation Du Sol Pour La Compréhension Des Dynamiques Périurbaines : Étude Méthodologique Pour Le Suivi Des Terres Agricoles Affectées Par L'artificialisation. ASRDLF.
- [5] Belhadj, A. (2023). Phytoécologie Et Cartographie Du Couvert Végétal Steppique, Cas De La Région De Biskra, Algérie (Doctoral Dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).
- [6] Belhadi, A., Righi, S., & Si Tayeb, T. (2013). Utilisation De La Télédétection Pour La Cartographie De L'occupation Du Sol : Cas Des Monts De Beni-Chougrane (Mascara-Algerie Nord Occidentale).
- [7] Bendraoua, F. (2012). La Gestion Des Villes Maghrébines. Les Éditions Du Net.
- [8] Bendraoua, F., Bedidi, A., & Cervelle, B. (2011). Dynamique Spatio-Temporelle De L'agglomération Oranaise (Algérie) Par Télédétection Et SIG. *Revue Du Comité Français De Cartographie*, 209, 103-113.
- [9] Bikubanya, D. L., Geenen, S., Nkuba, B., Cubaka, M. M., & Boutsen, D. (2024). La Construction, L'industrialisation Et L'urbanisation : Un Parcours Historique De La Ville De Bukavu En République Démocratique Du Congo. Working Papers/University Of Antwerp. Institute Of Development Policy And Management; Université d'Anvers. Institut De Politique Et De Gestion Du Développement. -Antwerp.
- [10] Boucka, F. N., Obame, C. V., Manfoumbi, F., Ondo, M. N., Ovono, V., & Ndjoungui, A. M. (2021). Cartographie De L'occupation Du Sol Du Gabon En 2015-Changements Entre 2010 Et 2015. *Revue Française De Photogrammétrie Et De Télédétection*, 223(1), 118-128.
- [11] Boussema, S. B. F., & Allouche, F. K. (2020). Méthodologie De La Cartographie De L'occupation Du Sol À La Typologie Des Paysages Appliquée À La Région De Enfidha, Tunisie [Methodology Of Land Use Mapping To Landscape Typology Applied To The Enfidha Region, Tunisia].
- [12] Büscher, K., Cuvelier, J., & Mushobekwa, F. (2014). La Dimension Politique De L'urbanisation Minière Dans Un Contexte Fragile De Conflit Armé : Le Cas De Nyabibwe. *L'Afrique Des Grands Lacs : Annuaire 2013-2014*, 243-268.
- [13] Christian, B. T. (2006). Transport Routier Et Développement Du Sud-Kivu : Analyse De Liens Entre Pauvreté Et Infrastructure De Transport. *Revue : Annales De L'Université Evangélique En Afrique (UEA)*, 1(1).
- [14] Cokola, C. N., Zihindula, J. D. D. B., & Mufungizi, M. M. (2019). L'approvisionnement De La Ville De Bukavu En Produits Vivriers Et Non Vivriers En Provenance De Milieux Ruraux Du Sud-Kivu : Cas Spécifique D'Idjwi Sud Et Nord, Birava, Mudaka, Kalehe, Minova Et Luhili. *International Journal Of Innovation And Applied Studies*, 28(1), 59-72.
- [15] De Failly, D. (1999). L'économie Du Sud-Kivu 1990-2000 : Mutations Profondes Cachées Par Une Panne. *L'Afrique Des Grands Lacs : Annuaire*, 2000, 163-92.
- [16] Demaze, M. T. (2002). Caractérisation Et Suivi De La Déforestation En Milieu Tropical Par Télédétection : Application Aux Défrichements Agricoles En Guyane Française Et Au Brésil (Doctoral Dissertation, Université d'Orléans).
- [17] Diallo, M. S., Sacko, I., Diallo, B. S., & Diaby, I. (2020). Étude De La Dynamique Du Couvert Végétal Par Télédétection En Relation Avec La Pluviométrie En Moyenne Guinée De 1998 À 2013. *Afrique SCIENCE*, 16(6), 135-147.
- [18] Dieng, A., Cheikh, F. A. Y. E., Gomis, D., Babacar, F. A. Y. E., & Balde, O. (2025). Vulnérabilité Et Niveau De Résilience Des Populations Aux Inondations Dans La Commune De Touba (Sénégal). *Espace Géographique Et Société Marocaine*, 1(97).
- [19] Djoufack, V. (2011). Étude Multi-Échelles Des Précipitations Et Du Couvert Végétal Au Cameroun : Analyses Spatiales, Tendances Temporelles, Facteurs Climatiques Et Anthropiques De Variabilité Du NDVI (Doctoral Dissertation, Université De Bourgogne).
- [20] Doumit, J. A., & Sakr, S. C., 2016. La Cartographie Du Sol Nu Dans La Vallée De La Bekaa À Partir De La Télédétection. In *Lebanese University, Department Of Geography. Vol. 1, N°21, Pp. 19-24*. Beirut, Lebanon
- [21] Eloy, L., & Le Tourneau, F. M. (2009). L'urbanisation Provoque-T-Elle La Déforestation En Amazonie ? Innovations Territoriales Et Agricoles Dans Le Nord-Ouest Amazonien (Brésil). In *Annales De Géographie (Vol. 667, No. 3, Pp. 204-227)*. Armand Colin.
- [22] Eloy, L. (2024). L'intensification Écologique Et La Déforestation Au Brésil. Brésil (S). *Sciences Humaines Et Sociales*.
- [23] Freddy, M. B., Jacques, F. Z., & Balola, K. (2018). Aménagement D'une Zone Tampon Autour Du Parc National De Kahuzi-Biega (PNKB) En Haute Altitude (Nord-Est) À Bugorhe Et Irambi-Katana, Dans Le Territoire De Kabare, Sud-Kivu, RD Congo. *International Journal Of Innovation And Applied Studies*, 23(4), 523-540.
- [24] Gala Basomi, R. (2020). Trvavail De Fin D'études : Evaluation Et Cartographie Des Services Écosystémiques D'approvisionnement Dans Les Forêts De Nindja En Périphérie Du Parc National De Kahuzi-Biega (Sud-Kivu, République Démocratique Du Congo).
- [25] Gansaonré, R. N., Zougrana, B. J. B., & Yanogo, P. I. (2020). Dynamique Du Couvert Végétal À La Périphérie Du Parc W Du Burkina Faso. *Belgeo. Revue Belge De Géographie*, (1).
- [26] Gansaonré, R. N. (2018). Dynamique Du Couvert Végétal Et Implications Socio-Environnementales À La Périphérie Du Parc W/Burkina Faso. *Vertigo-La Revue Électronique En Sciences De L'environnement*, 18(1).
- [27] Gilg & Loppr.(Amaranthaceae), Parc National De Kahuzi-Biega (RD Congo). *Annales Des Sciences Et Des Sciences Appliquées*, 5, 3760.
- [28] Gorra, A. (2016). Développement Et Validation De Méthodologies Pour Le Suivi Des États De Surface Des Sols Agricoles Nus Par Télédétection Radar (Bande X) (Doctoral Dissertation, Toulouse 3).
- [29] Habimana, N., & Van Diggelen, R. U. U. R. D. (2015). Pteridophytes: Bio Indicateurs Des Changements Opérés Sur La Structure Des Forêts De Zone De Montagnes Du Parc National De Kahuzi-Biega À l'Est De La RD Congo [Ferns And Fern Allies: Bio Indicators Of Changes Occurred In The Structure Of The Mountain Forests Within The Kahuzi-Biega National Park In Eastern DR Congo].
- [30] Hashim, H., Abd Latif, Z., & Adnan, N. A. (2019). Urban Vegetation Classification With NDVI Threshold Value Method With Very High Resolution (VHR) Pleiades Imagery. *The International Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences*, 42, 237-240.
- [31] Herard, E. (2019). Analyse Des Causes De La Déforestation Et De La Dégradation Forestière De La Commune Des Verrettes (Haïti).
- [32] Igugu, O., Amani Zihaliwa, E., Kanene, E., Katanga, J. C., & Boutsen, D. (2024). Bukavu, Une Ville Bâtie Par Ses Habitants : Connaissances Architecturales Et Bien-Être Dans L'art Du Bâtir Spontané. Working Papers/University Of Antwerp. Institute Of Development Policy And Management; Université d'Anvers. Institut De Politique Et De Gestion Du Développement. -Antwerp.

- [33] Imata, S., & Ansoms, A. Conservation Néo-Libérale, Savoirs Socio-Écologiques Autochtones Et Aires Protégées En RDC: Analyser Les Discours Et Les Pratiques De Conservation Au PNKB.
- [34] Isumbisho, P. M., Mokoso, J. D. D. M., Manirakiza, R., & Lennert, M. (2021). Problématique D'accès Aux Terres Et Aux Ressources Naturelles Pour Les Autochtones Batwa Dans Les Périphéries Du Parc National De Kahuzi Biega (PNKB) À L'Est De La République Démocratique Du Congo. *Geo-Eco-Trop*, 45(3), 397-416.
- [35] Jamet, J. P. (2020). La Déforestation : Un Débat Tronqué. *Paysans & Société*, 383(5), 5-15.
- [36] Konkobo, J., & Somé, Y. S. C. Dynamique Spatio-Temporelle De L'état De Vitalité Du Couvert Végétal Avec L'indice NDVI Dans La Commune Rurale De KOUKA, Au Nord-Ouest Du Burkina Faso.
- [37] Lemenkova, P. (2024). Exploitation D'images Satellitaires Landsat De La Région Du Cap (Afrique Du Sud) Pour Le Calcul Et La Cartographie D'indices De Végétation À L'aide Du Logiciel GRASS GIS. *Physio-Géo. Géographie Physique Et Environnement*, (Volume 20), 113-129.
- [38] Luoma, C. (2022). La Conservation Forteresse Et La Responsabilité Internationale En Cas De Violations Des Droits Humains Perpétrés Contre Les Batwa Dans Le Parc National De Kahuzi-Biega. *Minority Rights Group*.
- [39] Maire, E., Marais-Sicre, C., Guillaume, S., Rhoné, F., Dejoux, J. F., & Dedieu, G. (2012). Télédétection De La Trame Verte Arborée En Haute Résolution Par Morphologie Mathématique. *Revue Internationale De Géomatique*, (4), 519-538.
- [40] Mama, A., Bamba, I., Sinsin, B., Bogaert, J., & De Cannière, C. (2014). Déforestation, Savanisation Et Développement Agricole Des Paysages De Savanes-Forêts Dans La Zone Soudano-Guinéenne Du Bénin. *Bois & Forêts Des Tropiques*, 322, 66-75.
- [41] Mastaki, D. B. (2019). Mise En Œuvre De L'approche Conservation Communautaire Au Parc National De Kahuzi-Biega En République Démocratique Du Congo (Doctoral Dissertation, Université De Liège).
- [42] Mbayetom, H., Tientcheu, M. L. A., Ngankam, M. T., Taffo, J. B. W., & Tanougong, A. D. (2020). Dynamique Spatio-Temporelle De L'occupation Du Sol Et Du Couvert Végétal Des Parcs Arborés Du Département De La Nya, Sud Du Tchad. *International Journal Of Innovation And Applied Studies*, 31(2), 370-379.
- [43] Mokoso, J. D. D. M., Van Diggelen, R., Mwanga, J. C., Malaisse, F., & Robbrecht, E. (2012). Etude Ethnobotanique, Évaluation Des Risques D'extinction Et Stratégies De Conservation Aux Alentours Du Parc National De Kahuzi Biega (RD Congo). *Geo-Eco-Trop*, 36, 137-158.
- [44] Mushagalusa, J. P., Smis, S., & Busane, W. (2022). Le Statut Juridique Et Les Mesures De Sécurisation Des Terres Octroyées Aux Populations Autochtones Pygmées Expulsés Du Parc National De Kahuzi-Biega. *De L'Afrique Centrale*, 177.
- [45] Muzalia Kihangu, G., Bahati, A., Batumike, E., & Bisimwa, S. (2022). Ni Paix, Ni Guerre ? La Persistance Des Conflits Et De L'insécurité Dans Le Territoire De Kalehe Au Sud-Kivu.
- [46] Namegabe, M., Matabaro, B., Mwangamwanga, I., Kaningu, B., Mana, N., Ciregereza, B., ... & Batondisa, K. M. (2014). Enquête Sur Les Conséquences De L'action Anthropogénique Sur L'environnement En Milieu Rural : Cas D'Irhambi/Katana, Territoire De Kabare, Sud-Kivu [Investigation On The Consequences Of Human Action On The Environment In Rural Area: Case Of Irhambi/Katana, Territory Of Kabare, South-Kivu]. *International Journal Of Innovation And Applied Studies*, 7(4), 1625.
- [47] Oumar, O. M., Tchobala, M. C., Bello, M., Bouro, S. A. L. I., & Nenwala, P. A. V. (2022). Evolution Du Couvert Végétal Dans Les Sites D'orpaillage Des Aires Protégées Du Département De Mayo-Rey. *Evolution*, 7(8).
- [48] Perry, B. M., Cathy, K. K., & Hanocq, P. (2023). Enjeux Socio-Économiques Et Urbanisation : Précarité Des Ménages, Vulnérabilité Des Groupements Urbains Au Quartier Luwoshi. *International Journal Of Innovation And Applied Studies*, 39(2), 954-964.
- [49] Peuportier, B. (2016, October). L'éco-Conception Des Ensembles Bâti Et Des Infrastructures. In *Annales Des Mines-Responsabilité Et Environnement* (No. 4, Pp. 37-40). Cairn/Softwin.
- [50] Rachdi, B., Hakdaoui, M., Badri, W., Fougrach, H., EL Aboudi, A., & Hsaine, M. (2016). Etude Diachronique Des Changements Spatio Temporels Du Couvert Végétal Par Télédétection Spatiale : Cas De La Province De Benslimane (Maroc Central).
- [51] Ragala, R. Étude Géographique À L'aide De La Télédétection Et Des SIG : Occupation Des Sols Et Dynamique Du Couvert Végétal.
- [52] Seintsheng, N. N., Kitin, P., Beeckman, H., Delvaux, C., Igugu, A. Y., & Vasombolwa, K. (2023). Anatomie Du Bois Et Vaisseaux Des Rayons Multiséries: Cas De La Liane Sericostachys Scandens.
- [53] Simon, J. P., Martin, M., Archias, C., Dubus, M., Roger, C., Blanchetière, S., ... & Pilarek, F. (1997). Effets Induits Des Grandes Infrastructures : Synthèse De L'analyse Bibliographique (Doctoral Dissertation, Centre D'études Sur Les Réseaux, Les Transports, L'urbanisme Et Les Constructions Publiques (CERTU)).
- [54] Solly, B., Diéye, E. H. B., Mballo, I., Sy, O., Sane, T., & Thior, M. (2020). Dynamique Spatio-Temporelle Des Paysages Forestiers Dans Le Sud Du Sénégal : Cas Du Département De Vélingara. *Physio-Géo. Géographie Physique Et Environnement*, (Volume 15), 41-67.
- [55] Toudjani, A. A., Youssoufa, I. S. S. I. A. K. A., & Roukaya, H. A. Impacts De La Construction Des Infrastructures Routières Sur Les Fonctions Socio-Écologiques Des Zones Humides Du Niger Occidental : Cas Du Pont Djibo Bakary. *Journal Of Applied Biosciences*, 194, 20582-20592.
- [56] Zha Y., Gao J., And Ni S., 2003. Use Of Normalized Difference Built-Up Index In Automatically Mapping Urban Areas From TM Imagery//*International Journal Of Remote Sensing*. – 24(3). Pp.583–594
- [57] Zida, W. A. (2020). Dynamique Du Couvert Végétal Forestier Des Agrosystèmes Sahéliens Du Nord Du Burkina Faso Après Les Sécheresses Des Années 1970-1980 : Implication Des Pratiques D'aménagement Des Terres.
- [58] Zihahirwa, B., Mutabana, N., & Lejoly, J. (2008). Etude Écologique De La Liane Envahissante Sericostachys Scandens Dans La Partie De Haute Altitude Du Parc National De Kahuzi-Biega (PNKB), (Sud-Kivu, RD Congo). *Annales Des Sciences. Université Officielle De Bukavu*. Vol, 1(1), 28.