Afrique SCIENCE *26(4) (2025) 107 - 120*
ISSN 1813-548X, http://www.afriquescience.net

Analyse diachronique de l'évolution de la savane en forêt par calcul de l'indice de végétation dans le domaine agroforestier d'Ibi Village, au plateau des Batéké, RDC

Henri-Paul ELOMA IKOLEKI[1,2*], Albert KABASELE YENGAYENGA[1,2], Jean Claude LUKOMBO LUKEBA[1,2], Ruffin NSIELOLO KITOKO[3], Jean LEJOLY[4] et Jean-Pierre MATE MWERU[5]

[1] Université Pédagogique Nationale (UPN), Faculté des Sciences, Département de Biologie, BP 8815 Kinshasa, Ngaliema, République Démocratique du Congo
[2] Université Pédagogique Nationale (UPN), École de Télécommunication et Télédétection Spatiale (ETS-UPN), Laboratoire d'Observatoire Spatial des Ressources Naturelles et du Climat (OSRNaC), BP 8815 Kinshasa, Ngaliema, République Démocratique du Congo
[3] Université du Kwango, Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement, Laboratoire de Systématique Végétale, Biodiversité et Gestion de Ressources Naturelles (LSVB&GRN), BP 41 Kinshasa I. Kenge, Province du Kwango, République Démocratique du Congo
[4] Université Libre de Bruxelles, Herbarium de l'Université Libre de Bruxelles, Laboratoire de Systématique Végétale, Biodiversité, CP244 - Boulevard du Triomphe, ACC.2 - 1050 Bruxelles, Royaume de Belgique
[5] L'École Régionale Postuniversitaire d'Aménagement et de Gestion intégrés des Forêts et Territoires tropicaux (ERAIFT), Campus UNIKIN, BP 15373 Kinshasa, Commune de Lemba, République Démocratique du Congo

(Reçu le 24 Février 2025 ; Accepté le 01 Avril 2025)

* Correspondance, courriel : *hpeloma@yahoo.fr*

Résumé

Cette étude a pour objectif de suivre l'évolution de la végétation d'une savane herbeuse en une savane mise en défens devenue une forêt des plantations du projet Ibi-Batéké. A l'aide de la télédétection, les images Landsat à travers l'indice de végétation par différence normalisée en anglais *Normalized Difference Vegetative Index*, en sigle NDVI ont été utilisées en combinant les données de l'inventaire floristique de terrain. Le tau de corrélation de Kendall et de significativité durant ces deux décennies de 2000 à 2010 et de 2010 à 2020 indique de manière générale, une tendance à l'augmentation du NDVI dans les zones de plantation mises en défens et l'autre tendance à la diminution dans les zones de savane herbeuses non protégées contre les feux de brousse et toutes autres activités anthropiques. Les résultats obtenus après traitement des images ont révélé que le changement de la couverture végétale dans la zone plantée est supérieur à celles de savane avant les plantations avec des indices spectrales très remarquables. Le NDVI a varié différemment selon les années. Vers l'année 2000, le NDVI sur le site oscillait de -0,25 à 0,21, en 2005 le NDVI voit sa limite supérieure augmenter en naviguant de -1 à 0,28, pour l'année 2010, le NDVI était évalué entre de -1 à 0,35, en 2015, il est observé un NDVI variant de 0,10 à 0,45 et enfin en 2020, il est remarqué un NDVI allant de 0,02 à 0,49. L'inventaire floristique de terrain fait remarquer une présence importante de la strate arborée dans la savane mise en défens, à l'opposé de la savane herbeuse. Cette dynamique de la végétation est le résultat d'une mise en place progressive de la partie forestière sur le site du projet Ibi-Batéké et aussi une bonne évolution dans l'ensemble de la partie savanicole mise en défens.

Mots-clés : *étude, dynamique, végétation, agroforesterie, RDC.*

Abstract

Diachronic analysis of the evolution of savannah into forest by calculating the vegetation index in the agroforestry area of Ibi Village, on the Batéké plateau, DRC

The aim of this study is to monitor the evolution of vegetation from a grassy savannah to a defensed savannah to a forest in the plantations of the Ibi-Batéké project. Using remote sensing, Landsat images with the Normalized Difference Vegetative Index (NDVI) were used in combination with data from the field floristic inventory. Kendall's correlation tau and significance over the two decades from 2000 to 2010 and from 2010 to 2020 generally indicate a trend towards an increase in NDVI in plantation areas that have been fenced off, and a trend towards a decrease in grassy savannah areas that are unprotected against bush fires and other human activities. The results obtained after processing the images revealed that the change in vegetation cover in the planted area was greater than in the savannah before planting, with very remarkable spectral indices. The NDVI varied differently from year to year. Around the year 2000, the NDVI on the site oscillated from -0.25 to 0.21, in 2005 the NDVI saw its upper limit increase by navigating from -1 to 0.28, for the year 2010, the NDVI was evaluated between -1 and 0.35, in 2015, an NDVI varying from 0.10 to 0.45 was observed and finally in 2020, an NDVI ranging from 0.02 to 0.49 was noted. The floristic inventory carried out in the field revealed a significant presence of trees in the savannah, in contrast to the grassy savannah. This vegetation dynamic is the result of the gradual establishment of the forest part of the Ibi-Batéké project site, and of the good evolution of the savannah part protected.

Keywords : *study, dynamic, vegetation, agroforestry, DRC.*

1. Introduction

Le domaine d'Ibi village sur le plateau des Batéké en RDC constitue l'un des sites pilotes où se pratiquent plusieurs spéculations agroforestières combinant manioc, maïs, *Acacia,* arbres fruitiers, espèces forestières autochtones et allochtones avec une capacité d'enrichir le sol savanicole. Ces savanes se sont maintenues ensuite malgré une pluviométrie plus abondante dans les situations de sols pauvres, cuirassés ou sableux, pendant que les feux, favorisés par la présence d'une biomasse importante de graminées, se répètent quasiment chaque année. L'espace tropical humide d'Afrique subsaharienne est caractérisé par la réduction de la surface des massifs forestiers, la présence d'espaces de savane dans les régions tropicales humides forestières africaines. Cette évolution, plutôt régressive a étonné les botanistes durant la première moitié du XX^{ème} siècle. Ces derniers considéraient en effet que cet écosystème à pluviométrie abondante devait être totalement couvert par la forêt [1, 2]. Les savanes sont des formations végétales qui recouvrent des terres dont la mise en culture est relativement facile, et sont généralement caractérisées par des sols de faibles réserves organiques et minérales qui ne leur assurent qu'un équilibre fragile [3]. Cependant, elles sont parcourues annuellement par les feux courants sans que l'on puisse établir une règle générale quant à leur date, [1]. En RDC, sur le plateau des Bateké, ces feux sont précoces pendant la petite saison sèche (mi-janvier et février) et tardifs pendant la grande saison sèche (mai et septembre), cette situation freine la régénération naturelle des espèces forestières qui ont colonisé ces savanes au cours de leur histoire et dont il subsiste encore des témoins évidents sur le plateau des Batéké [4]. Ces feux répétitifs entraînent des conséquences sur la dynamique de la végétation et constituent donc le seul facteur anthropique freinant indubitablement la progression de la forêt [5]. La dégradation de l'environnement sur ce site est liée à la démographie galopante observée depuis quelques décennies aux environs d'Ibi-village avec comme conséquence la disparition des formations naturelles des galeries forestières et des îlots forestiers. Face à cette situation, une préoccupation croissante se développe autour des problèmes de perte et de dégradation de la biodiversité [6]. D'où, pour palier à ce problème, le projet Ibi-Batéké avait mis en place un système de restauration du couvert forestier en plantant des arbres à croissance rapide pour reverdir l'espace en vue d'une possible reprise de la biodiversité. Le plateau des Batéké occupe la

rive gauche du fleuve Congo à l'est de Kinshasa. Dans cet écosystème fragile, les Batéké vivent d'une maigre agriculture sur brûlis mise en œuvre avec leurs moyens propres. Les conséquences de cette pratique agricole rudimentaire peu productive sont dramatiques pour l'équilibre forestier et pour la sécurité alimentaire. Les galeries forestières disparaissent rapidement sans avoir le temps de se régénérer et rejettent de grandes quantités de CO_2 dans l'atmosphère. Situé sur le plateau des Batéké, la station Ibi est un modèle de mise en valeur de savanes sur sol sableux ayant des rendements agricoles très faibles en systèmes d'exploitation traditionnels. Ce modèle est basé sur l'agroforesterie et est capable de contribuer durablement à l'alimentation de la ville de Kinshasa en produits vivriers et en charbon de bois ainsi qu'à la lutte contre la déforestation [7]. Depuis que ce travail de plantation d'arbres a commencé en 2008, les questions suivantes s'imposent :

i. Est-il arrivé à verdir la savane du Plateau avec comme conséquences : amélioration de la productivité, séquestration du carbone, production durable de charbon de bois ?
ii. Contribue-t-il à influer sur le microclimat du Plateau des Batéké en particulier et celui de Kinshasa, la mégalopole attenante ?

Nous avons décidé de faire une analyse comparative, diachronique de l'indice de végétation par différence normalisée, en anglais *Normalized Difference Vegetative Index* (NDVI), en nous servant des images satellitales collectées tous les cinq ans à partir de 2000 jusqu'à 2020. C'est dans ce contexte que cette recherche a été menée pour étudier la diachronique de l'évolution de la savane par calcul de l'indice de végétation depuis plus de 20 ans par Télédétection, suivi diachronique de manière à réaliser une modélisation de l'influence de la séquestration du carbone sur le microclimat local dans cette zone d'Ibi.

2. Matériel et méthodes

2-1. Milieu d'étude

Situé sur la nationale n°1 à 150 Km de la ville de Kinshasa, capitale de la République Démocratique du Congo (RDC) sur le plateau des Batéké, de forme triangulaire ***(Figure 1)***, Ibi fait depuis les décennies l'objet de plusieurs études grâce à son microclimat particulier, à la suite du caractère de conservation de ces écosystèmes naturels d'une part et au reboisement dont il a bénéficié d'autre part. Le climat y est de type Aw_4 selon la classification de Köppen. C'est un climat tropical humide soudanien avec deux saisons bien contrastées ; une saison sèche qui s'étend de mi-mai à mi-septembre et une saison humide qui débute à la mi-septembre pour s'achever à la mi-mai [8 - 10]. Depuis 2020, avec les variations climatiques actuelles, il s'observe sur ce plateau des fluctuations brutales des températures et des précipitations dont la moyenne des précipitations a atteint 1800 mm en 2019 [11]. Au cours d'une année, la superposition des courbes mensuelles des moyennes pluviométriques et de température (diagrammes ombrothermiques) dans les trois stations météorologiques de la ville de Kinshasa (Binza, Aéroport de N'Djili et Mbankana) montre une corrélation presque parfaite des mois pluvieux (janvier à mai avec des précipitations oscillant entre 147 à 185 mm et de septembre à décembre pour lesquels la précipitation varie de 30 à 334 mm) contre les mois marquant la saison sèche (juin à août) où la moyenne mensuelle pour la pluviométrie varie de 0 à 18 mm. Les moyennes mensuelles de température sont corrélées avec la pluviométrie : les températures sont élevées (autour de 25° C pendant les saisons humides alors qu'elles oscillent autour de 20° C en saison sèche. Il existe quelques disparités entre les 3 stations météorologiques de Kinshasa liées très probablement à l'environnement écologique où se trouve chaque station surtout en termes d'équilibre bâti contre végétation. Ainsi, la pluviométrie la plus élevée est notée en novembre (334 mm à N'Djili et 270 mm à Mbankana contre 261 mm à Binza où c'est décembre qui présente la moyenne de pluie la plus élevée, 295 mm). La pluviométrie est égale à 0 mm à Binza et à N'Djili en juillet alors qu'elle est de 4° C à Mbankana ***(Figure 2)***. La couverture végétale du sol a-t-il de l'influence sur les précipitations et les températures ?

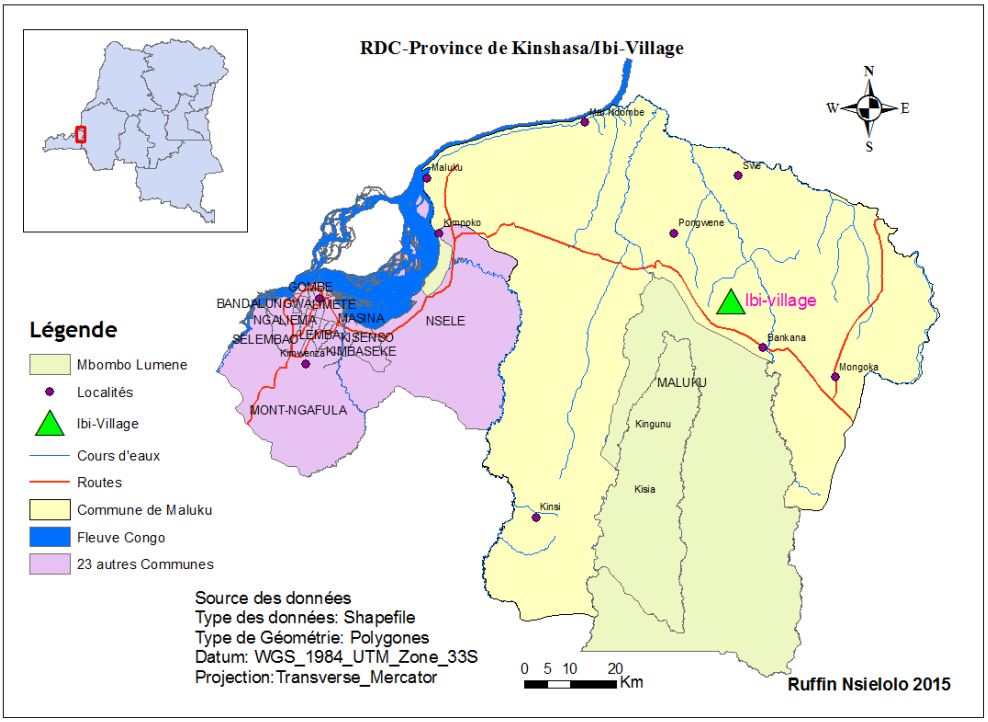
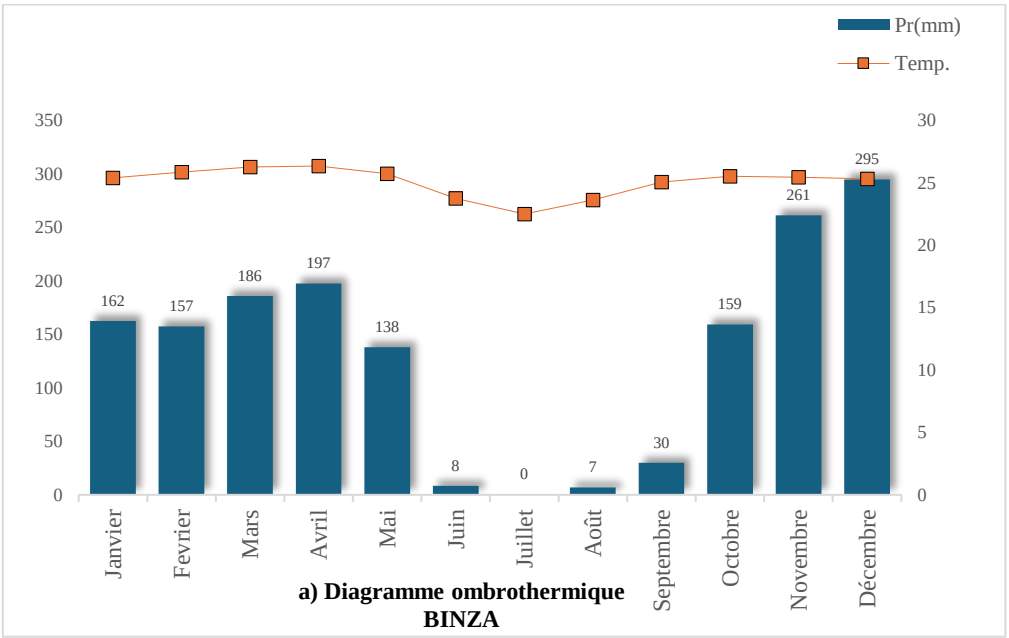
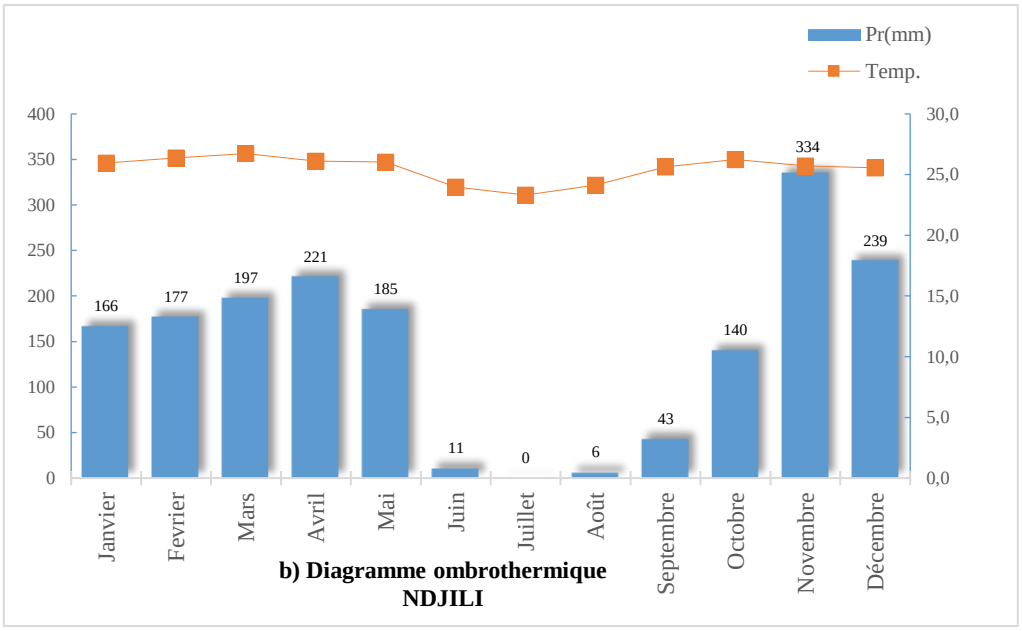


Figure 1 : *Localisation géographique d'Ibi-village*
Source : [4]



a) Diagramme ombrothermique BINZA



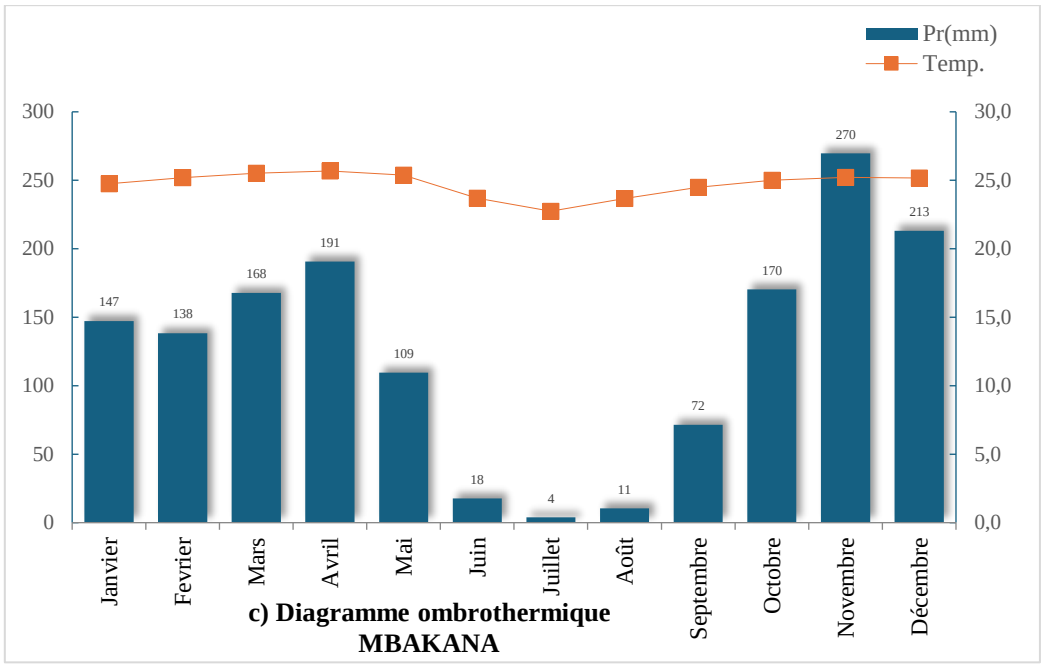


Figure 2 : *Comparaison des diagrammes ombrothermiques des précipitations/températures moyennes mensuelles au cours d'une année dans les 3 stations météorologiques a), b) et c) de Kinshasa*

La végétation est constituée par deux grands types d'ensemble : les savanes et les forêts dégradées. L'écosystème savanicole est à dominance graminéenne dont on rencontre les espèces comme *Anthephora cristata*, *Ctenium newtonii*, *Digitaria longiflora*, *Hyparrhenia diplandra*, *H. familiaris*, *Loudetia simplex*. La strate arbustive est caractérisée par *Annona senegalensis*, *Crossopteryx febrifuga* et *Hymenocardia acida*. Les écosystèmes forestiers ont connu une forte dégradation par suite de l'explosion démographique et la pratique de l'agriculture itinérante sur brulis. On y trouve que des espèces indicatrices de régénération forestière comme *Hymenocardia ulmoides*, *Gaetnera paniculata*, *Chaetocarpus africanus*, *Alchornea cordifolia* [10]. Le système agroforestier combinant manioc et acacia (*Manihot esculenta* x *Acacia* spp.) en savane est expérimenté en blocs de plantation ***(Figure 3)*** afin de proposer une alternative aux systèmes agricoles forestiers. Les *Acacia* sont des légumineuses ligneuses ayant la capacité de fixer de l'azote dans les sols peu

fertiles de savane, ce qui permet alors la croissance des plants de manioc. Présentée comme une solution « *win-win* », l'agroforesterie en savane devait remplir divers rôles relatifs aux trajectoires d'atténuation du changement climatique tout en assurant les besoins d'adaptation des populations rurales [11, 12].

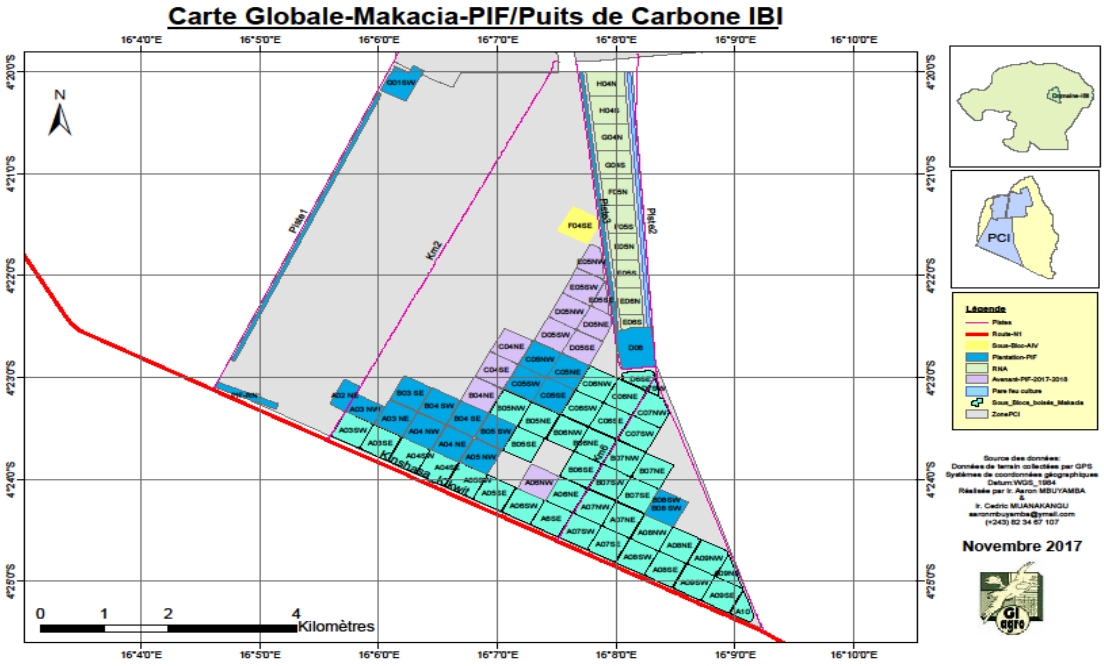


Figure 3 : *Expérience de plantation en bloc manioc et Acacia (Makacia) à Ibi village*

2-2. Collecte des données

Les différentes espèces d'*Acacia* constituent nos matériels biologiques. Le site expérimental compte 130 placettes d'*Acacia auriculiformis*, d'*A. mangium*, de l'hybride entre les deux premières espèces, et rarement l'*A. crassicarpa*, répartis dans six sous-bloc de 25 ha chacun. En ce qui concerne les données spatiales, des images satellitaires de haute précision (Sentinel 2 ou 3, Landsat avec 7 bandes spectrales (1990, 2000, 2010, 2015, 2020, 2022) et Spot avec 4 bandes spectrales) ont été utilisées ainsi que de la Photographie aérienne par drones. Nous avons utilisé de la télédétection optique pour induire l'intensité de fixation du carbone par d'autres sites et comparaison. L'analyse diachronique de la couverture du sol sur le site d'Ibi par le système d'Indice de Végétation par Différence Normalisée (NDVI) est basée sur une approche de la télédétection à partir des données satellitaires de type Landsat. Le NDVI est un indicateur de la santé de la végétation basé sur la façon dont les plantes reflètent certaines plages du spectre électromagnétique, ainsi les images satellites apportent une aide significative à la connaissance de la couverture végétale et le suivi de son état. C'est notamment le cas des images à grande résolution temporelle [13, 14]. Cinq périodes au cours de cinq années ont été retenues pour atteindre cet objectif. Il s'agit de deux périodes extrêmes, une plus ancienne (2000) et une plus récente (2020) pour traduire la physionomie du paysage actuel. Une année intermédiaire (2005) est également choisie pour faire une analyse progressive de l'occupation du sol. En plus de cette année intermédiaire, il y a les années 2010 et 2015 qui ont aussi servi d'autres années intermédiaires. Pour chaque année, deux scènes ont été mobilisées pour couvrir la zone d'étude. Le choix des images retenues pour cette étude, est orienté par leur disponibilité, leur qualité en termes de couverture nuageuse et surtout les dates d'acquisition comme mentionner ci-dessus [15, 16]. Pour apprécier la dynamique de la végétation, deux échelles d'analyse ont été considérées. Il s'agit de l'analyse globale pour cerner la dynamique d'ensemble de la végétation et l'analyse localisée pour comprendre les dynamiques de l'occupation et de l'utilisation des

sols [17]. Les observations de terrain ont permis de décrire les unités d'occupation de sol et de valider les données issues de la photo-interprétation, ces éléments sont indispensables pour comprendre les dynamiques spatiales observées sur le terrain et par photo-interprétation.

2-3. Traitement des données

Pour calculer l'Indice de Végétation par Différence Normalisée ou *Normalized Difference Vegetative Index* (NDVI), nous avons utilisé la réflectance des canaux rouge (R) et proche infrarouge (PIR) mesurées dans les bandes du visible par des capteurs embarqués sur drones ou satellites. La ***Formule*** utilisée est :

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

Le NDVI varie sur une échelle de valeurs allant de -1 à 1. Les valeurs positives représentant la biomasse végétale.

La réflectance, également appelée facteur de réflexion, est la proportion de lumière réfléchie par la surface d'un matériau. Elle correspond à la différence entre la quantité de lumière reçue par cette surface, dite lumière incidente, et la quantité de lumière réfléchie par cette même surface. La réflectance varie en fonction de nombreux paramètres : (i) les propriétés de la surface (nature, couleur, rugosité, etc.), (ii) la quantité de lumière incidente et (iii) de l'inclinaison et de la rugosité de la surface [18]. Les espèces végétales ont été identifiées à l'aide des spécimens de référence à l'herbarium de la faculté des sciences de l'Université de Kinshasa.

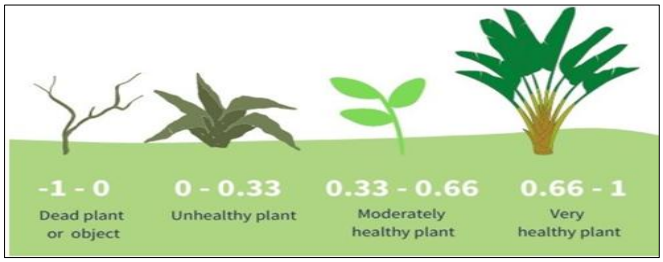


Figure 4 : *Échelle de variation de NDVI sur la végétation*
Source : [19]

3. Résultats

3-1. Indice de Végétation par Différence Normalisée (NDVI)

L'évolution de la végétation de 2000 à 2005 est présentée par les ***Figures 5 et 6*** ci-dessous, elles témoignent le début de changement du couvert végétal du site après 5 ans. Il convient de souligner que les deux sous-blocs indiqués dans ces figures sont des sites où nous avons commencé à faire le prélèvement sur les arbres de la première rotation et de la deuxième rotation. Le NDVI de 2000 était de -0,25 à 0,02 et 0,17 à 0,21 (du plus petit au plus grand) et celui de 2005 était de -1 à 0,28. Les ***Figures 7 et 8*** de nos résultats montrent l'évolution du couvert végétal de 2010 à 2015. Les images témoignent une évolution croissante de la végétation. L'année 2010 coïncide fortement avec la période de mise en place des plantations agroforestières du projet Ibi-Batéké sur le site sous étude mais la signature spectrale de la végétation n'était pas encore très significative avec un NDVI de -1 à 0,02 et 0,27 à 0,35. Rappelons qu'une des limites du NDVI s'avère qu'il est sensible à la réflectance du sol, ce qui peut amener à des erreurs d'interprétation, notamment au début de la levée de la culture. La ***Figure 8*** témoigne la structure de la canopée de la végétation qui change, il s'observe

qu'il y a eu des plantations mises en place et de savane mise en défens avec un NDVI allant de 0,10 à 0,27 et 0,37 à 0,45. Par ailleurs, la ***Figure 9*** ci-dessous est la preuve de l'évolution croissante de la végétation dans la station du projet Ibi. Nous avons les valeurs NDVI pour différentes strates du couvert végétal, où tous les indicateurs sont positifs. Le NDVI observé est de 0,02 à 0,17 et 0,37 à 0,49. Avec le temps, le projet a mise en place une politique de la gestion durable de ces plantations et la mise en défense contre les feux et autres activités anthropiques de grandes superficies des savanes sont les résultats de l'évolution de savanes herbeuses en savanes arbustives puis arborées. Mais il convient de signaler qu'au niveau des savanes avant la mise en défens, les faibles valeurs de NDVI sont dues aussi au passage des feux de brousse réguliers, si les feux de savane ne sévissaient pas chaque année, la reconstitution des savanes en forêt occuperait spontanément une grande partie de l'aire qu'elle a perdue. Toutes les expériences montrent que cette réinstallation est rapide lorsque le sol est resté humifère et qu'il a conservé une bonne structure. Cette situation se traduit aussi par une quantité importante de la biomasse et de carbone séquestré.

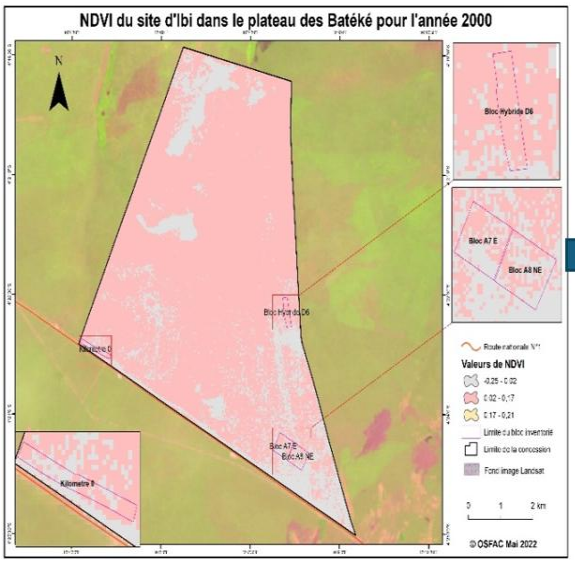


Figure 5 : *NDVI du site d'Ibi village en 2000*

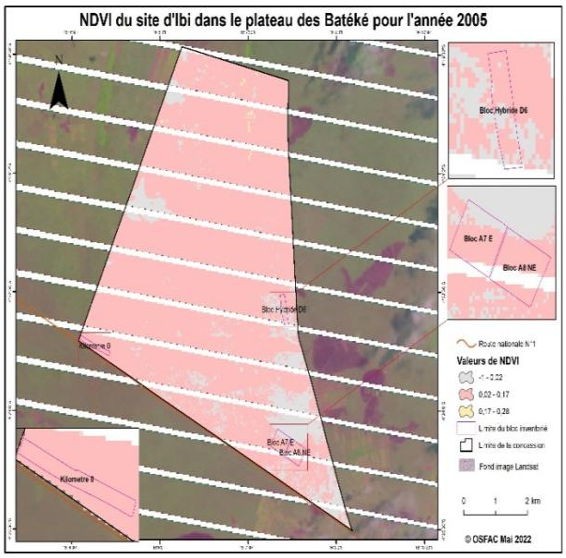


Figure 6 : *NDVI du site d'Ibi village en 2015*

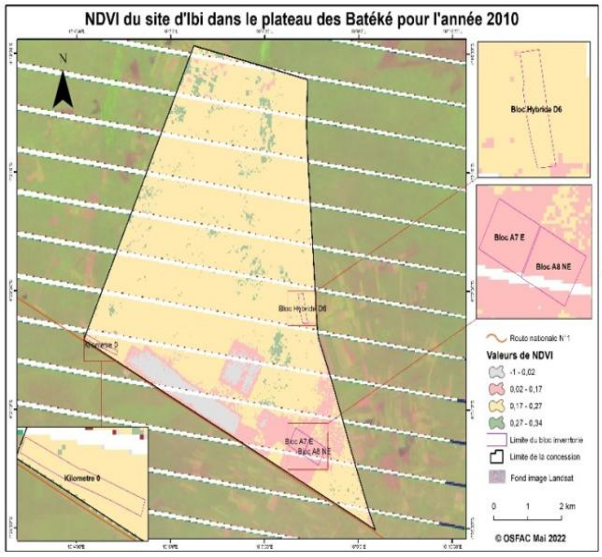


Figure 7 : *NDVI du site d'Ibi village en 2010*

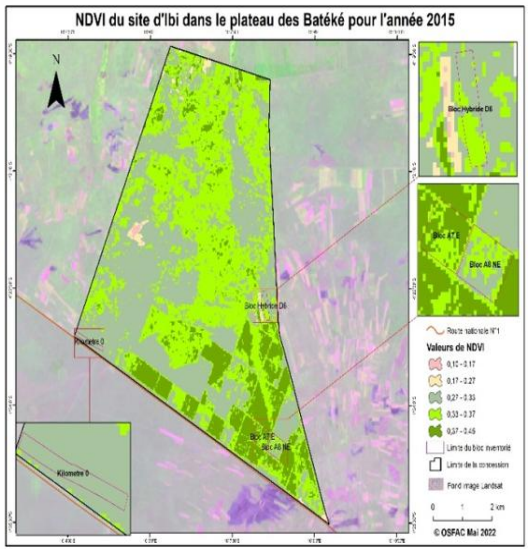


Figure 8 : *NDVI du site d'Ibi village en 2015*

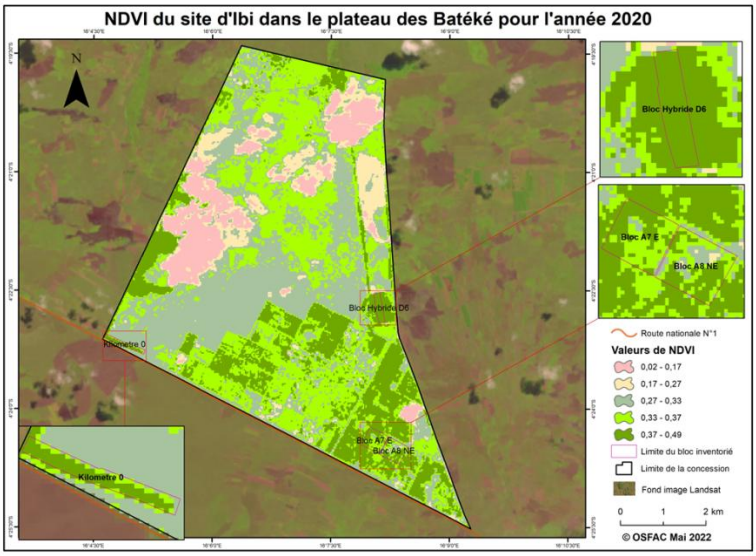


Figure 9 : *NDVI du site d'Ibi village sur le plateau Batéké en 2020*

3-2. Évolution diachronique de la végétation

L'évolution diachronique de la végétation du domaine agroforestier d'Ibi de 2000 à 2020 illustre le progrès de la végétation en rapport avec les images collectées. Il convient de signaler que la couverture végétale sur le site d'Ibi-Village a évoluée de : - 1, plantes ou objets morts à 0,49 plantes modérément en bonne santé. Le NDVI de la végétation est exponentiellement croissant depuis 2000 passant des valeurs négatives à des valeurs positives en 2020. Comme le résume le ***Tableau 1,*** les résultats prouvent que la savane herbeuse parcourue régulièrement par le feu au départ a évolué au cours des vingt ans soit de 2000 à 2020, acquérant un caractère plutôt forestier avec les avantages qui vont avec l'impact sur les précipitations et très probablement sur l'augmentation de la biomasse.

Tableau 1 : *Évolution diachronique de la végétation du domaine agroforestier d'Ibi village de 2000 à 2020*

Année	Valeurs inférieures	Valeurs supérieures	Interprétation du NDVI
2000	-0,02	-0,21	L'Absence relative de plantes (sols nus, végétations sèches)
2005	-1	0,28	La strate herbacée est dominante dans la savane, la strate arbustive est encore jeune
2010	-1	0,35	Les valeurs positives se confirment et le boisement gagne du terrain.
2015	0,10	0,45	Les plantations sont matures, les forêts prolifèrent et le NDVI se rapproche de celui des mésophanérophytes
2020	0,02	0,49	Les valeurs sont justes en deçà des valeurs 0,66 à 1 (valeurs des forêts denses et humides), qui dénotent qu'une forêt en évolution est en très bonne santé

3-3. Avantages de la mise en défens sur la végétation

La mise en défens de la savane contre les feux de brousse a comme avantage la dynamique de la végétation. Celle-ci part de l'état herbeux en une forêt avec dominance des espèces ligneuses, la restauration des sols, l'apport en services écosystémiques et la lutte contre le changement climatique. Pour établir le rapport entre

le NDVI et la végétation, les espèces végétales ont été recensées dans la savane herbeuse et la savane mise en défens (dans la plantation d'*Acacia*), seule les strates arbustive et arborée ont été prises en compte ***(Tableau 2)***. Il ressort de cet inventaire au sol que la savane herbeuse est dominée par les espèces habituelles comme *Albizia adiantilia, Bridelia ferruginea, Combretum psidioides, Dialium englerianum* à l'opposé de la savane mise en défens où nous signalons l'arrivée des espèces de lisière et de milieu forestier sous les *Acacia* représentées par *Alchornea cordifolia, Allophylus africanus, Chaetocarpus africanus, Oncoba welwitschii.* Il y a aussi la présence des espèces de liaison, celles rencontrées dans les deux milieux pour lesquelles on peut citer : *Albizia adiantilia, Lannea antiscobutica, Strychnos pungens.*

Tableau 2 : *Espèces végétales inventoriées par écosystème*

Espèces	Familles botaniques	Ordres botaniques	Savane herbeuse	Savane mise en défens
Albizia adiantilia	*Fabaceae*	*Fabales*	x	x
Alchornea cordifolia	*Euphorbiaceae*	*Malpighiales*		x
Allophylus africanus	*Sapindaceae*	*Sapindales*		x
Anthocleista schweinfurthii	*Loganiaceae*	*Gentianales*		x
Bridelia ferruginea	*Phyllanthaceae*	*Malpighiales*	x	x
Cathormion leptophyllum	*Fabaceae*	*Fabales*		x
Chaetocarpus africanus	*Euphorbiaceae*	*Malpighiales*		x
Combretum psidioides	*Combretaceae*	*Myrtales*	x	x
Crossopteryx febrifuga .	*Rubiaceae*	*Gentianales*		x
Dalbergia saxatilis	*Fabaceae*	*Fabales*		x
Dialium englerianum	*Fabaceae*	*Fabales*	x	x
Gaertnera paniculata	*Rubiacea*	*Gentianales*		x
Hymenocardia acida	*Phyllanthaceae*	*Malpighiales*	x	x
Hymenocardia ulmoides	*Phyllanthaceae*	*Malpighiales*		x
Lannea antiscobutica	*Anacardiaceae*	*Sapindales*	x	x
Macaranga monandra	*Euphorbiaceae*	*Malpighiales*		x
Macaranga spinosa	*Euphorbiaceae*	*Malpighiales*		x
Maprounea africana	*Euphorbiaceae*	*Malpighiales*		x
Markhamia tomentosa	*Bignoniaceae*	*Lamiales*		x
Millettia drastica	*Fabaceae*	*Fabales*	x	x
Millettia laurentii	*Fabaceae*	*Fabales*		x
Millettia versicolor	*Fabaceae*	*Fabales*		x
Ochna afzelii	*Ochanaceae*	*Malpighiales*	x	x
Oncoba welwitschii	*Salicaceae*	*Malpighiales*		x
Pentaclethra eetveldeana	*Fabaceae*	*Fabales*		x
Pentaclethra macrophylla	*Fabaceae*	*Fabales*		x
Psorospermum febrifugum	*Hypericaceae*	*Malpighiales*	x	x
Strychnos cocculoides	*Loganiaceae*	*Gentianales*		x
Strychnos pungens	*Loganiaceae*	*Gentianales*	x	x
Syzygium guineense	*Myrtaceae*	*Myrtales*		x
Vernonia brazzavillensis	*Asteraceae*	*Asterales*		x
Vitex ferruginea	*Verbenaceae*	*Lamiales*	x	x
Total			11	32

3-4. Diversité taxonomique

La diversité taxonomique a été évaluée sur base de l'inventaire des espèces végétales sur terrain. Les résultats obtenus, montrent une augmentation nette en nombre d'espèces soit 32 espèces qui représentent 74,4 % du nombre total d'espèces inventoriées dans la savane mise en défens contre 11 seulement soit 25,6 % dans la savane herbeuse ***(Tableau 3)***. Il convient de signaler que dans cet inventaire, les espèces

végétales témoins du changement de couvert végétal, les *Acacia,* en tant qu'espèces plantées, n'ont pas été pris en compte. Cette diversité taxonomique s'observe également en nombre de familles et ordres botaniques soit 7 familles (31,8 %) et 5 ordres (41,7 %) dans la savane herbeuse contre 15 familles (68,2 %) et 7 ordres (58,3 %) dans la savane mise en défens. Ainsi les valeurs élevées de NDVI (0,45 et 0,49) expliquent une canopée plus verte ou une surface de feuilles plus importante.

Tableau 3 : *Diversité taxonomique par écosystème*

Ecosystèmes	Nombre d'espèces	%	Familles botaniques	%	Ordres	%
Savane herbeuse	11	25,6	7	31,8	5	41,7
Savane mise en défens	32	74,4	15	68,2	7	58,3
Moyenne	21.5	50,0	11	50,0	6	50,0
Total	43	100,0	22	100,0	12	100,0

4. Discussion

Plusieurs travaux de recherche ont mis en évidence une dynamique transgressive de la forêt sur la savane à Ibi [3 - 11]. L'analyse cartographique et les travaux de terrain sur ce site montrent, dans les deux cas, une forte extension des couvertures végétales, qui constitue la principale évolution du paysage. La surface des plantations d'Ibi-Batéké est dominée par les *Acacia* (*A. auriculiformis, A. mangium* et l'hybride des deux premières ainsi que l'*A. crassicarpa*) plantées depuis 2008 jusqu'à ces jours. Environ 1600 hectares sont mis en valeurs par la culture d'arbres et plus de 3000 hectares de savanes sont mise en défens. Les *Acacia* sont des espèces à croissance rapide, ils créent dans un premier temps une ambiance forestière favorisant l'installation des espèces forestières indigènes comme *Anthocleista schweinfurthii*, *Chaetocarpus africanus, Hymenocardia ulmoides*, *Gaertnera paniculata* indicatrices de la régénération forestière, ces faits sont bien signalés par d'autres sources comme [4, 17 - 20]. Il est possible de combiner les données de la télédétection pour spatialiser les estimations de la biomasse forestière et le stock de carbone afin de produire des cartes à différentes échelles, ces affirmations vont dans le même sens que celles de [20 - 23]. La cartographie diachronique (2000 - 2020) montre une tendance positive de la couverture végétale par le système NDVI avec des parcelles agroforestières, confirmant ainsi la dynamique de la végétation et progression de la forêt durant cette période. Trois principaux processus sont à l'origine de ce phénomène : transformation des savanes en forêts, régénération naturelle assistée et protection des savanes contre les feux. Ainsi les images satellites apportent une aide significative à la connaissance de la couverture végétale et le suivi de son état, ces résultats corroborent ceux de [24] sur l'utilisation de séries temporelles d'images satellitales à basse résolution pour la cartographie des trajectoires de l'activité végétale. Le couvert forestier se constitue en associant parfois les cultures, des espèces plantées du genre *Acacia* et le recru forestier dans un contexte d'agroforesterie dans des savanes mises en défens en procédant pendant une dizaine d'années à un simple entretien autour des jeunes arbres, ce constat est fait aussi par [25] bien que dans des conditions climatiques et pédologiques différentes. Le même processus a été observé par [26] à partir d'un écosystème de savane à *Pennissetum purpureum* où les agriculteurs avaient mis en place des associations caféiers et cultures vivrières. Progressivement, les arbres d'écotone de forêt se sont développés dans ces jeunes agro-forêts. Les données NDVI sont plus couramment utilisées pour étudier les modifications de la couverture végétale à partir d'une série temporelle à haute répétitivité et permettent de suivre des changements de la couverture végétale avec un intérêt majeur pour une meilleure gestion des ressources naturelles et de modification de l'environnement, nos résultats corroborent ceux de [27] sur les dynamiques contrastées de reverdissement et dégradation de la couverture végétale au Sénégal révélées par analyse de série temporelle du NDVI. La forêt installée à Ibi-Batéké, crée un microclimat favorisant des conditions humides, propices à l'installation

des espèces forestières, nos résultats vont dans le même sens que ceux de [27 - 30], qui confirment que les espèces de forêt s'installent facilement à l'ombrage créé par d'autres précédemment. Par conséquent, les espèces savanicoles sont progressivement remplacées par des essences forestières pionnières qualifiées d'espèces indicatrices de régénération forestière comme les études menées par [31, 32] le font remarquer. C'est ce qui donne des NDVI positifs à la zone d'étude dans la partie savane [33, 34].

5. Conclusion

Cette étude menée à Ibi au plateau des Batéké a permis de suivre à l'aide des images satellites l'évolution d'un écosystème savanicole, partant d'une savane herbeuse qui brûle régulièrement vers une savane arborée qui évolue vers un écosystème forestier rendant ainsi à la population riveraine plus des services environnementaux. Les données NDVI utilisées nous ont permis d'observer les modifications de la couverture végétale à partir d'une série temporelle et de suivre des changements de la couverture végétale. En réponse à cette situation, le puits de carbone agroforestier Ibi-village est une réponse aux paysans de s'orienter vers des pratiques agroforestières productives et durables. La méthode consiste à combiner la culture du manioc et la plantation d'arbres à croissance rapide, les *Acacias*. Ce dispositif simple est mis en œuvre sur la savane tout en créant simultanément de nouveaux espaces forestiers. Les forêts galeries naturelles sont préservées et valorisées. En plus des effets alimentaires et énergétiques, les espaces forestiers ainsi créés ou protégés stockent de grandes quantités de CO_2, c'est le principe du puits de carbone. La savane transformée en forêt génère des crédits carbones commercialisés sur le marché international. Il est donc nécessaire de conserver ce site à cause de son intérêt scientifique.

Références

[1] - G. ACHOUNDONG, J. BONVALLOT et Y. HAPPI, le contact Forêt-Savane dans l'Est du Cameroun et *Chromolaena odorata* : considérations préliminaires. Yaoundé, Cameroun ; Orstom, (2007) 99 - 108

[2] - FAO, Aménagement des forêts tropicales humides en Afrique, Etudes Forêts FAO 88, Rome, (1990) 187 p.

[3] - J. YOKA, J. J. LOUMETO et J. VOUIDIBIO, Quelques caractéristiques écologiques des savanes de la zone d'Ollombo (cuvette Congolaise, République du Congo), Faculté des Sciences. *Annales de l'Université Marien Ngouabi, Sciences et Techniques*, série 8, Vol. 4, (2007) 74 - 87

[4] - R. K. NSIELOLO KITOKO, J. LEJOLY, M. J. P. HABARI et K. J. ALONI, Effets de lisière et de litière dans des savanes mises en défense contre les feux à Ibi village, République Démocratique du Congo. *Revue Scientifique et Technique Forêt et Environnement du Bassin du Congo*, Vol. 5, (2015) 54 - 61

[5] - H. DE FORESTA, Origine et évolution des savanes intermayombaises (R.P du Congo). II. Apport de la botanique forestière. In : Lanfranchi et Schwartz éds. Payasages quaternaires de l'Afrique centrale atlantique. *Orstrom*, Paris, (1990) 326 - 355

[6] - L. IYONGO WAYA MONGO, V. MARJOLEIN, C. DE CANNIERE, E. VERHEYEN, B. DUDU AKAIBE, J. ULYEL, PATHO et J. BOGAERT, Anthropisation et effets de lisière : impacts sur la diversité des rongeurs dans la Réserve Forestière de Masako (Kisangani, R.D. Congo). *Tropical Conservation Science*, Série 3, Vol. 5, (2012) 270 - 283

[7] - C. MARION et J. LEJOLY, Agroforesterie et Gouvernance participative des savanes et galeries forestières du Plateau des Batéké en RD Congo : Cas d'Ibi-Village, Projet GI Agro, (2018) 140 p.

[8] - M. B. NSOMBO, S. R. LUMBUENAMO, K. J. ALONI, J. LEJOLY et M-M. P. MAFUKA, Effet des plantations d'*Acacia sp* sur les macronutriments primaires des sols sableux d'Ibi village au plateau des Batéké (Kinshasa, République Démocratique du Congo). *Revue Scientifique et Technique Forêt et Environnement du Bassin du Congo*, Vol. 6, (2016) 20 - 27

[9] - F. BISIAUX, R. PELTIER et J. C. MULIELE, Plantations industrielles et agroforesterie au service des populations des plateaux Batéké, Mampu, en République démocratique du Congo, *Bois et Forêts des Tropiques*, Vol. 301, N°3 (2009) 21 - 32

[10] - RUFFIN NSIELOLO KITOKO, JEAN LEJOLY, BEAUFILS FUTABAKU MUNIPUTU, ELIE IKOMBA NDONDA, THEOPHANE MUNKERALENGI KITOKo and HENRI PAUL ELOMA IKOLEKI, *Floristic inventory of three natural forest islands in the Pelende Nord chiefdom*, Kwango Province, Democratic Republic of Congo (DRC), *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol. 42, N° 4 (2024) 572 - 584

[11] - H. P. ELOMA IKOLEKI, R. NSIELOLO KITOKO et J. LEJOLY, Dynamique de la végétation d'une savane protégée contre les incendies dans le village d'Ibi en République démocratique du Congo, *Revue internationale d'innovation et d'études appliquées*, Vol. 44, N° 3 (2025) 707 - 724

[12] - C. REYNIERS, Agroforesterie et déforestation en République démocratique du Congo. Miracle ou mirage environnemental, *Mondes en Développement*, Vol. 47, N°187 (2019) 113 - 132

[13] - N. M. KRAETZIG, 5 Things To Know About NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), https://up42.com/blog/tech/5-things-to-know-about-ndvi

[14] - N. C. A. MATSAGUIM, E. TIOMO DONGFACK et R. NGOUFO, Utilisation de séries temporelles d'images satellitales à basse résolution pour la cartographie des trajectoires de l'activité végétale à l'échelle des unités administratives au Cameroun, *Revue Scientifique et Technique Forêt et Environnement du Bassin du Congo*, Vol. 15, (2020) 12 - 23

[15] - H. DIALLO, I. BAMBA, Y. S. S. BARIMA, M. VISSER, A. BALLO, A. MAMA, I. VRANKEN et M. MAIGA, J. BOGAERT, Effets combinés du climat et des pressions anthropiques sur la dynamique évolutive de la végétation d'une zone protégée du Mali (Réserve de Fina, Boucle du Baoulé). *Sécheresse*, 2 (2011) 97 - 107. https://doi.org/10.1684/sec.2011.0306

[16] - M. M. INOUSSA, A. MAHAMANE, C. MBOW, M. SAADOU et B. YVONNE, Dynamique spatiotemporelle des forêts claires dans le Parc national du W du Niger (Afrique de l'Ouest). *Sécheresse*, 2 (2014) 108 - 116. https://doi.org/10.1684/sec.2011.0305

[17] - A. ACHOUR, A. AROUI, C. DEFAA, A. EL MOUSADIK et F. MSANDA, Effet de la mise en défens sur la richesse floristique et la densité dans deux arganeraies de plaine. *Actes du Premier Congrès International de l'Arganier*, Agadir, (2011) 15 - 17

[18] - R. DE SPOTIFARM, le Tour de Plaine Images Sentinel en agriculture : comment ça marche, décembre 2024, https://blog.spotifarm.fr/tour-de-plaine-spotifarm/image-satellite-pour-surveiller-ses-cultures

[19] - N. MARWAHA KRAETZIG, 5 choses à savoir sur l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI), (2020), disponible sur : https://up42.com/blog/5-things-to-know-about-ndvi (10.10.2024)

[20] - M. BADJI, SANOGO DIAMINATOU et L. AKPO, Effet de l'âge de la mise en défens sur la reconstitution de la végétation ligneuse des espaces sylvo pastoraux du sud bassin arachidier (Sénégal). *Journal of Applied Biosciences*, Vol. 64, (2013) 4876 - 4887

[21] - M. DJAOUGA, S. KARIMOU, O. AROUNA, S. ZAKARI, A. OROU MATILO, I. TOKO IMOROU, I. YABI, J. DJEGO, O. THOMAS et C. HOUSSOU, Cartographie de la biomasse forestière et évaluation du carbone séquestré dans la forêt classée de l'Ouémé supérieur au Centre - Bénin, *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 15 (6) (2021) 2388 - 2401

[22] - D. B. CLARK et J. R. KELLNER, Tropical forest biomass estimation and the fallacy of misplaced concreteness. *Journal of Vegetation Science*, 23 (6) (2012) 1191 - 1196

[23] - J. F. BASTIN, N. BARBIER et P. COUTERON, Aboveground biomass mapping of African forest mosaics using canopy texture analysis : toward a regional approach. *Ecological Applications*, 24 (8) (2014) 1984 - 2001

[24] - N. C. A. MATSAGUIM, E. TIOMO DONGFACK et R. NGOUFO, Utilisation de séries temporelles d'images satellitales à basse résolution pour la cartographie des trajectoires de l'activité végétale à l'échelle des unités administratives au Cameroun, *Revue Scientifique et Technique Forêt et Environnement du Bassin du Congo*, Vol. 15, (2020) 12 - 23

[25] - K. A. GUELY, B. ROUSSEL et M. GUYOT, Installation d'un couvert forestier dans les jachères de savane au Sud-Est du Togo, *Bois et Forêts des Tropiques*, N° 235 (1993) 37 - 48

[26] - R. SPICHIGER et V. LASAILLY, Recherches sur le contact forêt-savane en Côte d'Ivoire : note sur l'évolution de la végétation dans la région de Béoumi (Côte d'Ivoire Centrale), *Candollea*, 36 (1981) 145 - 153

[27] - B. SOLLY, J. ANDRIEU, E. H. BALLA DIEYE et A. M. JARJU, Dynamiques contrastées de reverdissement et dégradation de la couverture végétale au Sénégal révélées par analyse de série temporelle du NDVI MODIS, https://doi.org/10.4000/vertigo.35589

[28] - C. UHL et J. B. KAUFFMAN, Deforestation, fire susceptibility, and potential tree responses to fire in the eastern Amazon. *Ecology*, 71 (1990) 437 - 449

[29] - J. G. GIGNOUX, R. J. LAHOREAU et S. BAROT, Établissement et persistance précoce de l'arbre semis dans une savane brûlée annuellement. *Journal of Ecology*, 97 (2009) 484 - 495

[30] - T. LUBALEGA, Évolution naturelle des savanes mises en défens à Ibi-village, sur le plateau des Batéké, en République Démocratique du Congo. Thèse de doctorant en cotutelle, Université Laval et Université de Kinshasa, (2016) 151 p.

[31] - J. N'DJA KASSI, E. AKE-ASSI et M S. TIEBRE, Biodiversité végétale et vitesse de la régénération de la forêt classée de Sanaimbo (Côte d'Ivoire), *Sciences & Nature*, Vol. 7, N°2 (2010) 195 - 206

[32] - R. K. LOMALISA, H. NSHIMBA SEYA WA MALALE, G. LITUKA LOFUMBO et J. D. MANGAMBU MOKOSO, Analyse de la régénération naturelle dans le Bassin du Congo : cas de Guarea cedrata (A. Chev.) Pellegr. dans les massifs forestiers de la Cuvette centrale de Yoko et de Yangambi (Tshopo, RD. Congo), *Geo-Eco-Trop.*, 46, 3 (2022) 389 - 401

[33] - R. K. NSIELOLO, Régénération forestière assistée avec *Millettia laurentii* De Wild. dans les savanes mises en défens à Ibi-village au plateau des Batéké/RDC, Thèse de doctorat, Université de Kinshasa/Eraift, (2006) 188 p.

[34] - R. SCHNELL, Introduction à la phytogéographie des pays tropicaux. Les problèmes généraux. Les flores, les structures. Gauthier-Villars, Paris, Vol. 2, (1970) 500 - 951