

Dynamique d'Utilisation des Terres (1991-2023) des Plantations d'Anacarde dans la Zone Soudano-Guinéenne du Centre Bénin

Alain Abi-Kaberou

Université Nationale d'Agriculture (UNA)
Laboratoire des Sciences Végétales, Horticoles et Forestières (LaSVHF)

Lambert Zountchegnon

Laboratoire d'Ecologie et de Botanique et de Biologie Végétale (LEB),
Université de Parakou (UP)

Jean-Paul Rudant

Université Gustave Eiffel

Bruno Djossa

Université Nationale d'Agriculture (UNA)
Laboratoire des Sciences Végétales, Horticoles et Forestières (LaSVHF)

[Doi: 10.19044/esipreprint.12.2023.p437](https://doi.org/10.19044/esipreprint.12.2023.p437)

Approved: 10 December 2023
Posted: 12 December 2023

Copyright 2023 Author(s)
Under Creative Commons CC-BY 4.0
OPEN ACCESS

Cite As:

Abi-Kaberou A., Zountchegnon L., Rudant J/P. & Djossa B. (2023). *Dynamique d'Utilisation des Terres (1991-2023) des Plantations d'Anacarde dans la Zone Soudano-Guinéenne du Centre Bénin*. ESI Preprints.

<https://doi.org/10.19044/esipreprint.12.2023.p437>

Résumé

La filière anacarde est en pleine expansion au Bénin où elle est entrain de modifier le paysage de la zone. L'objectif de cette étude était d'analyser la dynamique spatio-temporelle des plantations d'anacardier dans la zone soudano-guinéenne du centre du Bénin de 1991 à 2023 tout en essayant de comprendre les différents facteurs qui peuvent engendrer ces changements. Pour atteindre ces objectifs des données satellitaires multitudes Landsat (1991, 2003, 2013) et sentinel 2 (2023) ont été mises à contributions pour évaluer l'occupation et le taux d'évolution des plantations d'anacardier dans la zone d'étude. Ainsi, pour chaque image, une classification dirigée avec l'algorithme « maximum de vraisemblance » a été appliquée suivie d'une analyse en post-classification pour la discrimination des unités. La précision globale de classifications obtenues est supérieure à 80 %. Les

résultats révèlent que les plantations ont connu une dynamique évolutive dans la zone d'étude. De 1991 à 2023, la superficie des plantations est passée de 304,82 Km² soit 13,38% de la superficie de la zone d'étude à 342,95 Km² soit 15,055%. Ces transformations progressives ont été observées au détriment des strates autres formations végétales, des zones de culture et des plans d'eau dans la zone d'étude. Cette étude révèle ainsi un processus de régression des unités d'occupation du sol des terres cultivées et autres formations végétales en faveur des plantations d'anacardier. Leur dynamique progressive a aussi des fondements socioéconomiques pérennisables grâce à la gestion sylvicole du système anacardier-cultures annuelles et un accompagnement des projets/programmes et des structures étatiques qui interviennent dans le domaine.

Mots-clés: Plantation d'anacardier, Télédétection, dynamique, Occupation du sol, Soudano-Guinéenne

Land Use Dynamics (1991-2023) of Cashew nut Plantations in the Sudano-Guinean Zone of Central Benin

Alain Abi-Kaberou

Université Nationale d'Agriculture (UNA)

Laboratoire des Sciences Végétales, Horticoles et Forestières (LaSVHF)

Lambert Zountchegnon

Laboratoire d'Ecologie et de Botanique et de Biologie Végétale (LEB),

Université de Parakou (UP)

Jean-Paul Rudant

Université Gustave Eiffel

Bruno Djossa

Université Nationale d'Agriculture (UNA)

Laboratoire des Sciences Végétales, Horticoles et Forestières (LaSVHF)

Abstract

The cashew nut sector is expanding rapidly in Benin and is changing the landscape of the area. The aim of this study was to analyse the spatio-temporal dynamics of cashew plantations in the Sudano-Guinean zone of central Benin from 1991 to 2023, while attempting to understand the various factors that may be causing these changes. To achieve these objectives, multi-date Landsat (1991, 2003, 2013) and Sentinel 2 (2023) satellite data were used to assess the occupancy and rate of change of cashew plantations in the study area. For each image, a directed classification using the 'maximum likelihood' algorithm was applied, followed by a post-classification analysis to discriminate between units. The overall accuracy of

the classifications obtained was greater than 80%. The results show that plantations have undergone a dynamic evolution in the study area. From 1991 to 2023, the surface area of plantations increased from 304.82 km², or 13.38% of the surface area of the study area, to 342.95 km², or 15.055%. These gradual changes were observed to the detriment of other plant formations, cultivated areas and water bodies in the study area. This study thus reveals a process of regression of cultivated land and other vegetation cover units in favour of cashew plantations. Their progressive dynamics also have socio-economic foundations that can be sustained through silvicultural management of the cashew-annual crop system and support from projects/programmes and government structures involved in the field.

Keywords: Cashew plantation, remote sensing, dynamics, land use, Sudano-Guinea

1. Introduction

La déforestation est en grande partie due à la conversion incontrôlée des terres boisées en nouvelles terres agricoles, en particulier pour les plantations permanentes d'anacardiens (UNFCCC, 2019). Au Bénin l'industrie de la noix du cajou prend de l'ampleur, elle constitue un moteur économique essentiel et une priorité gouvernementale, du fait qu'elle peut avoir des effets socio-économiques sur les communautés locales. Troisième pays producteur de noix de cajou en Afrique, le Bénin compte près de 200 000 petits exploitants qui contribuent à hauteur de 15% au recettes nationales d'exportations du pays (Yin et al., 2023). Ainsi, la vente de noix de cajou de haute qualité aux réseaux commerciaux installés qui exportent vers les usines de transformation, est un moyen d'améliorer rapidement la situation économique des familles rurales et des finances publiques.

L'ampleur de l'extension des superficies plantées en anacardiens commence à susciter des questions qui, dans l'avenir, pourraient avoir un impact certain sur l'utilisation du paysage agricole (Samb et al., 2018). Des parcelles plus petites et dispersées peuvent rendre la gestion du territoire plus complexe, car cela peut nécessiter des ajustements dans la planification et l'utilisation des terres. L'expansion des plantations peut conduire à la conversion des terres agricoles existantes, de forêts ou d'autres écosystèmes. Cela peut entraîner la perte de la biodiversité, l'érosion des sols et la dégradation de l'environnement (Lin et al., 2021). Dans ces circonstances, la surveillance de l'occupation du sol basée sur la technologie de télédétection par satellite offre d'importants avantages pour une meilleure évaluation des plantations et de la production de noix de cajou. Cette culture présente un avantage considérable pour les petits exploitant agricole, car elle constitue une source de revenus stable en raison de leur valeur monétaire relativement

élevée, de leurs rendements prévisibles, de la longue durée de vie des arbres (20 à 30 ans) et de leur bonne adaptabilité aux conditions de croissance (Lin et al., 2021). Devant une telle situation, le suivi de la dynamique des plantations d'anacarde dans le temps et dans l'espace, à l'aide d'images satellitaires en utilisant les techniques de la télédétection pourrait contribuer efficacement à la gestion durable des de ces écosystèmes (Leimgruber et al., 2005). En effet, La télédétection présente un intérêt particulier grâce à ses caractéristiques essentielles d'enregistrement et d'analyse utilisées dans le processus de caractérisation et d'aménagement des écosystèmes. L'analyse des images satellitaires fournit des données sur la couverture terrestre et ses changements sur de grandes zones inaccessibles de façon répétitive pendant une période de plus de 40 ans (Vittek et al., 2014).

La plupart de la documentation sur les plantations d'anacardier rencontrée porte essentiellement sur la chaîne de valeur anacarde (Sinan & Abou, 2016) et / ou sur la biologie de l'espèce (Niang & Gaye, 2002). Cependant les recherches impliquant la télédétection et les plantations concernent principalement la cartographie des cultures arboricoles (plantations) et les effets de la déforestation qui mettent plus d'accent sur les palmiers à huile (Cheng et al. 2016 ; Gutiérrez-Vélez and DeFries 2013; Xu et al. 2022) et les hévéas (Dong et al. 2013 ; Tridawati et al. 2020). En général, la caractérisation des plantations d'anacardier a reçu peu d'attention par le passé, à l'exception de quelques études à l'échelle locale dans une communauté spécifique ou un parc national (Pereira et al. 2022 ; Samb et al. 2018 ; Singh et al. 2018) ; la dynamique spatio-temporelle des plantations d'anacardier au Bénin de 2015 à 2021 en utilisant des images optiques Planet Basemap à haute résolution spatiale (Yin et al., 2023). Le manque d'information sur la répartition spatiale des plantations d'anacardier entrave la prise de décision qui pourraient favoriser l'augmentation de la production de noix de cajou (Yin et al., 2023) ni une analyse objective de l'impact éventuel des plantations sur le paysage agricole. La présente étude s'inscrit dans la mise en œuvre des initiatives et stratégies de gestion durable des plantations par le biais de la télédétection. L'objectif de cette étude est d'analyser la dynamique spatio-temporelle des plantations d'anacardier dans la zone soudano-guinéenne du centre du Bénin de 1991 à 2023 en couplant les outils de la télédétection aux systèmes d'information géographique, tout en essayant de comprendre les différents facteurs qui peuvent engendrer ces changements. L'hypothèse de cette étude stipule que les politiques dans le secteur agricole influencent une dynamique progressive des plantations d'anacardiens.

2. Matériel et méthodes

2.1. Milieu d'étude

L'étude a été conduite dans la zone soudano-guinéenne plus précisément dans la commune de Savè en République du Bénin (**Figure 1**). La commune de Savè est située dans la partie centrale du Bénin dans le département des collines entre 7°41' et 8°20' de latitude nord et entre 2°20' et 2°45' de longitude est. Elle s'étend sur une superficie de 2228 Km². Elle est subdivisée en huit (08) arrondissements à savoir : Besse, Kaboua, Offe, Okpara, Sakin, Adido, Boni et Savè (qui est le Chef-lieu d'Arrondissement). La zone d'étude est limitée au nord par la commune de Ouèssè, au sud par la commune de Kétou dans le département du Plateau, à l'ouest par les communes de Glazoué et de Dassa-Zoumè, à l'est par les Etats d'Oyo, de Kwara et d'Ogoun de la République Fédérale du Nigéria. Savè, le chef-lieu de la commune, est situé, à environ 255 km de Cotonou. Il est traversé par la RNIE 2 et la RNIE 5 (Savè - Oké-Owo).

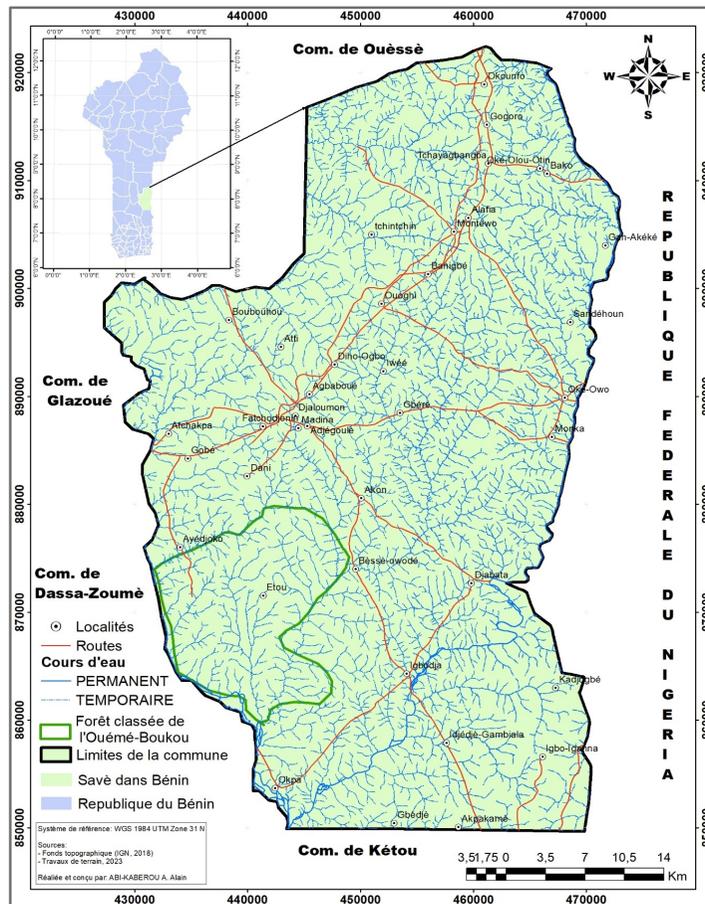


Figure 1. Localisation du milieu d'étude

2.2. Flore et végétation

La végétation de la zone d'étude est dominée par les savanes arbustives, les savanes arborées, les forêts claires et les forêts galeries. Il y subsiste encore des îlots de forêts dont la forêt classée de l'Ouémé-Boukou vaste de 20.500 ha et des forêts galeries le long des fleuves Okpara et Ouémé. Les espèces ligneuses caractéristiques rencontrées sont : *Anacardium occidentale* L., 1753 ; *Acacia caffra* (Thunb) Wild. ; *Anogeissus leiocarpa* (DC.) Guill. & Perr., *Combretum micranthum* G. Don, *Combretum collinum* Fresen., *Piliostigma thonningii* (Schumach.) Milne-Redh., *Combretum glutinosum* Perr. ex DC., *Daniellia oliveri* (Rolfe) Hutch. & Dalziel, *Isobertinia doka* Craib & Stapf, *Tectona grandis* L. f., *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn., *Vitex doniana* var. *pumila* Hiern, *Nauclea latifolia* Sm., *Combretum micranthum* G. Don, *Entada africana* Guill. & Perr., *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. ex G. Don, *Annona senegalensis* Pers., 1806, *Pterocarpus erinaceus* Poir., *Prosopis africana* (Guill. & Perr.) Taub., *Pseudocedrela kotschyi* (Schweinf.) Harms.

2.3. Méthodologie

2.3.1. Choix et caractéristiques des images

Des images satellites multitudes des années 1991, 2003 ; 2013 et 2023 de différents capteurs ont été utilisées ; respectivement une couverture Landsat TM (Thematic Mapper) de novembre 1991, des couvertures landsat ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) de novembre 2003 et une couverture Sentinel 2-A de décembre 2023 (Tableau 1). Le choix de ce type d'images tient compte du fait qu'elles sont facilement accessibles et gratuites, et qu'elles ont une résolution spatiale élevée (Dimobe et al. 2015 ; Soulama et al. 2015). Toutes les images choisies ont été acquises à la même période de l'année sur les sites (<http://earthexplorer.usgs.gov/> et <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>), afin de réduire les problèmes liés aux différences d'angle solaire, au changement phénologique de la végétation et à la différence d'humidité des sols (Inoussa et al., 2011). Les images ont été prises au début de la saison sèche, période qui permet d'avoir une différenciation maximale des unités d'occupation du sol (Dimobe et al., 2017; Forkuor, 2014). A cette période, les prises de vue ont l'avantage d'avoir un très faible taux de couverture nuageuse (Inoussa et al., 2011).

Tableau 1. Caractéristiques des images Landsat utilisées

Types d'image satellitaire	Date d'acquisition	Bands	Résolution	Path	Row
Landsat 5 (TM)	1991/12/29	4 (Proche infrarouge)	30 m (pour les canaux multispectraux)	192	054
		3 (Vert) 2 (Rouge)		192	055

Landsat (ETM+)	7	2003/01/04	4 (Proche infrarouge) 3 (Vert) 2 (Rouge)		192	054
					192	055
					192	054
Landsat 8 (OLI-TIRS)		2013/12/09	5 (Proche infrarouge) 4 (Vert) 3 (Rouge)		192	055
					192	054
Sentinel 2-A		2023/01/16	8 (Proche infrarouge) 3 (Vert) 2 (Rouge)	10 m (Pour les 4 canaux visibles et PIR)	2736	022
					2737	022

2.3.2. Prétraitement des images

Les scènes des images déjà géo référencées dans le système WGS 84, ont d'abord subi une composition fausse couleur en RVB (Rouge-Vert-Bleu) en utilisant les bandes 4-3-2 pour les images de 1991, 2003 et 2023, suivies d'une interprétation visuelle à l'écran (Soulama et al., 2015). Des unités homogènes d'occupation du sol ont ensuite été délimitées sur la base des signatures spectrales observées sur l'image la plus récente (2023). Les coordonnées géographiques des différentes unités de végétation délimitées ont été générées et transférées dans un GPS (Global Positioning System). Afin de faciliter la superposition des images pour l'analyse diachronique, les images de 1991, 2003, 2013 et celle de 2023 ont été co-enregistrées en utilisant la méthode « image-to-image co-registration » dans le logiciel Envi 5.3 qui assure un bon alignement des pixels des différentes images. Les images d'archives de la plateforme GoogleEarth Pro ont également servi pour faire la vérification et l'interprétation de certaines zones. Ainsi, la validation de la classification est faite à partir des données historiques disponibles sur la plateforme.

2.3.3. Données de vérification terrain

La détection des différentes catégories d'occupation et d'utilisation des terres à partir des seules images satellitaires reste difficile. Il s'avère donc nécessaire de s'appuyer sur des données de terrain. Au total, les coordonnées géographiques de trois cent soixante-douze (372) points, répartis au prorata par type d'occupation et d'utilisation des terres ont été générées respectivement dans la zone d'étude pour une mission de vérification terrain qui a duré du novembre 2022 à mars 2023. Chaque point a été considéré comme le centre d'une placette de 100 m² (10 m x 10 m). Dans chaque placette installée à l'intérieur d'une végétation homogène, les coordonnées géographiques des quatre angles et le taux de recouvrement des ligneux ont été notés.

2.3.4. Analyse des données politiques

Pour mieux comprendre, les facteurs qui influencent la dynamique des plantations d'anacarde, une enquête a été effectuée auprès des principaux acteurs clés (CoFORMO, FENAPAB, MAEP, agriculteurs, commerçants et quelques projets/programmes) de la filière anacarde afin d'obtenir des informations pertinentes sur la dynamique des plantations d'anacardier en relation avec les facteurs politiques dans la zone d'étude. Les questions tournaient autour des appuis techniques et financier des dont ont bénéficié les producteurs et les différents projets ayant intervenus dans la zone d'étude durant la période d'étude (1991 à 2023).

2.4. Traitement des données

2.4.1. Classification des images

Ces différentes missions ont permis de détecter six (06) classes d'utilisation et d'occupation des terres : eau, agglomération, Terres cultivées (zones de culture et jachères et agroforesterie), affleurement rocheux, plantations, autres formations végétales (forêt dense forêt galerie, savane arborée et arbustive). Les classes (forêt dense, forêt galerie, savane arborée arbustive) ont été classées par la suite dans autres formations végétales et les zones de cultures, jachère et agroforesteries ont été aussi classées dans « terres cultivées » définies avant la classification sur la base de parcelles d'entraînement AOI ou « Area Of Interest ». Pour chaque classe, des zones représentatives ou échantillons ont été identifiés sur l'image pour l'édition des signatures spectrales. La méthodologie de classification supervisée par maximum de vraisemblance a été utilisée. Il s'agit d'une méthode probabiliste où, pour chaque pixel, l'algorithme détermine sa probabilité d'appartenir à une classe plutôt qu'à une autre (Samb et al., 2018) et classe les pixels de l'image en utilisant les propriétés spectrales des classes d'apprentissage choisies. Des zones témoins représentatives de chaque type d'occupation et d'utilisation des terres ont été alors créées à partir des coordonnées géographiques relevées sur le terrain. Les $\frac{3}{4}$ des coordonnées collectées ont été utilisés à cet effet. Des polygones carrés de pixels homogènes ont été dessinés en utilisant les coordonnées des angles des différentes placettes. Ces polygones ont été ensuite sauvegardés sous forme de couche vecteur. Cette couche a été utilisée pour effectuer la classification.

2.4.2. Vérification de la classification

L'évaluation de la précision de la classification est une partie essentielle pour la validation des cartes thématiques élaborées (Tadele et al., 2017). Elle révèle l'étendue de la correspondance entre la réalité terrain et les résultats de la classification. Pour évaluer la validité de la classification, les zones témoins représentant chacune des classes thématiques et le $\frac{1}{4}$ des

données de référence collectées sur le terrain ont été utilisées pour effectuer un test de confusion. Le résultat du test donne pour chacune des images classifiées la matrice de confusion présentée sous forme d'un tableau à double entrée. Ce tableau a été utilisé pour calculer la proportion des pixels bien classés, les erreurs d'omission (EO), les erreurs de commission (EC)

$$EO = \frac{\sum EOj}{Rj}$$

avec EOj le nombre de pixels bien classés dans la classe j et Rj le nombre total de pixels de la classe j.

$$EC = \frac{\sum EOi}{Ri}$$

avec Ri le nombre de pixels biens classés dans la classe i et Ri le nombre total de pixels de la classe.

Le coefficient Kappa évalue dans la matrice de confusion, la concordance entre les résultats obtenus sur la carte et la réalité sur le terrain. Il caractérise donc le rapport entre les pixels bien classés et le total des pixels sondés. L'indice K se calcule selon l'Équation 2:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_i + x * x + i)}{N^2 \sum_{i=1}^r (x_i + x * x + i)}$$

ou

r est le nombre de lignes de la matrice de confusion

xii nombre d'observations dans la ligne i et la colonne i

xi+ et x+i sont les totaux marginaux de la ligne i et de la colonne i, respectivement

N est le nombre total d'observations

Cet indice est évalué sur une échelle de 0 à 1. Si K est > à 0,5 la classification est considérée comme valide (Le Roux et al., 2012). Ainsi, une échelle qualitative de classification en fonction des valeurs du coefficient K a été établie par (Landis & Koch, 1977)

Tableau 2. Echelle qualitative de classification en fonction du coefficient Kappa

<i>Kappa</i>	<i>Précision de la classification</i>
<0.00	Faible
0.00-0.20	Légère
0.21-0.40	Acceptable
0.41-0.60	Modérée
0.61-0.80	Bonne
0.81-1.00	Très bonne

Source (Landis & Koch, 1977)

2.5. Résultats

Six classes communes d'unité d'occupation et d'utilisation des terres ont été discriminées dans la zone d'étude. Il s'agit de : Agglomération,

Affleurement rocheux, Terres cultivées, Autres formations végétales (forêt dense forêt galerie, savane arborée et arbustive) et cours d'eau. Les précisions statistiques globales des images classifiées sont comprises entre 83,57 et 94,36 % avec des indices de kappa variant de 78,75 à 92,77% (Tableau 2). Les résultats de l'évaluation de la précision montrent des concordances significatives entre les points classés et les points de référence (Tableaux 2).

Tableau 2. Indices d'évaluation de la qualité des images classifiées

<i>Année</i>	<i>Précision globale (%)</i>	<i>Indice Kappa</i>
1991	88,18	0,84
2003	83,57	0,78
2013	94,36	0,92
2023	88,14	0,84

2.5.1. Distribution spatiale des unités d'occupation et d'utilisation des terres en 1991, 2013 et 2023

En 1991, la strate autres végétation (forêt dense forêt galerie, savane arborée et arbustive) et les affleurements rocheux étaient les unités d'occupation et d'utilisation des terres les plus dominantes dans la zone d'étude, avec un taux d'occupation respectif de 42,65% et 34,53%. Les plantations d'anacardier sont faiblement représentées comparées aux autres unités, elles occupaient 13,38% de la superficie de la zone à la même période. En 2003, les images Landsat montrent que les agglomérations, les terres cultivées et les autres végétations maintiennent leur dynamique évolutive respectivement de 1,83%, 18,48% et 43,96%. Cependant 65,73% des plantations d'anacardier ont connu une régression et se sont converti en autres unités d'occupation de sol. Les images de 2013 montrent une prédominance des terres cultivées (36,36%) et une régression de la strate « autres végétation » (23%), les terres cultivées et les plantations se sont respectivement converti à 96,87% et 202,85%. La dynamique de l'occupation du sol de façon globale entre 1991 et 2023, a connu une évolution exponentielle pour la classe des agglomérations à 2562,32%. En revanche la superficie des plantations a connu une fluctuation, perte dans la période de 1991 à 2003 et une dynamique évolutive de la superficie avec une évolution depuis lors (2003-2023) pour un taux de changement global d'environ 12,5% dans la période de 1991 à 2023.

Tableau 3. Composition du paysage pour chaque classe d'occupation du sol en 1991, 2003, 2013 et 2023 et les taux de changement pour les périodes (1991-2003, 2003-2013, 2013-2023 et 1991-2023) en Km² et en % de la superficie totale du paysage

Classes d'occupation du sol Value	Année								Changement (%)			
	1991		2003		2013		2023		1991-2003	2003- 2013	2013-2023	199 1- 202 3
	Km ²	%										
Agglomération	11,63	0,510	41,89	1,839	120,06	5,270	309,86	13,60	259,92	186,6	158,	
Affleurement rocheux	786,75	34,53	673,27	29,55	492,21	21,60	573,76	25,18	-14,42	11	07	2562,32
Terres cultivées	167,19	7,33	420,72	18,46	828,31	36,36	250,27	10,98	151,63	26,89	6	-27,07
Autres formations végétales	971,59	42,65	1001,42	43,96	514,77	22,59	792,32	34,78	3,070	96,87	-	69,7
Cours d'eau	35,89	1,57	36,13	1,58	6,23	0,27	8,72	0,38	0,66	8	8	49,69
Plantation d'anacardier	304,82	13,38	104,44	4,585	316,305	13,88	342,95	15,05	-65,73	48,59	1	53,9
Total	2277,90	100	2277,90	100	2277,90	100	2277,9	100		-	40	-18,45
							0			82,75		-75,68
										202,8	8,42	12,50
										5	4	

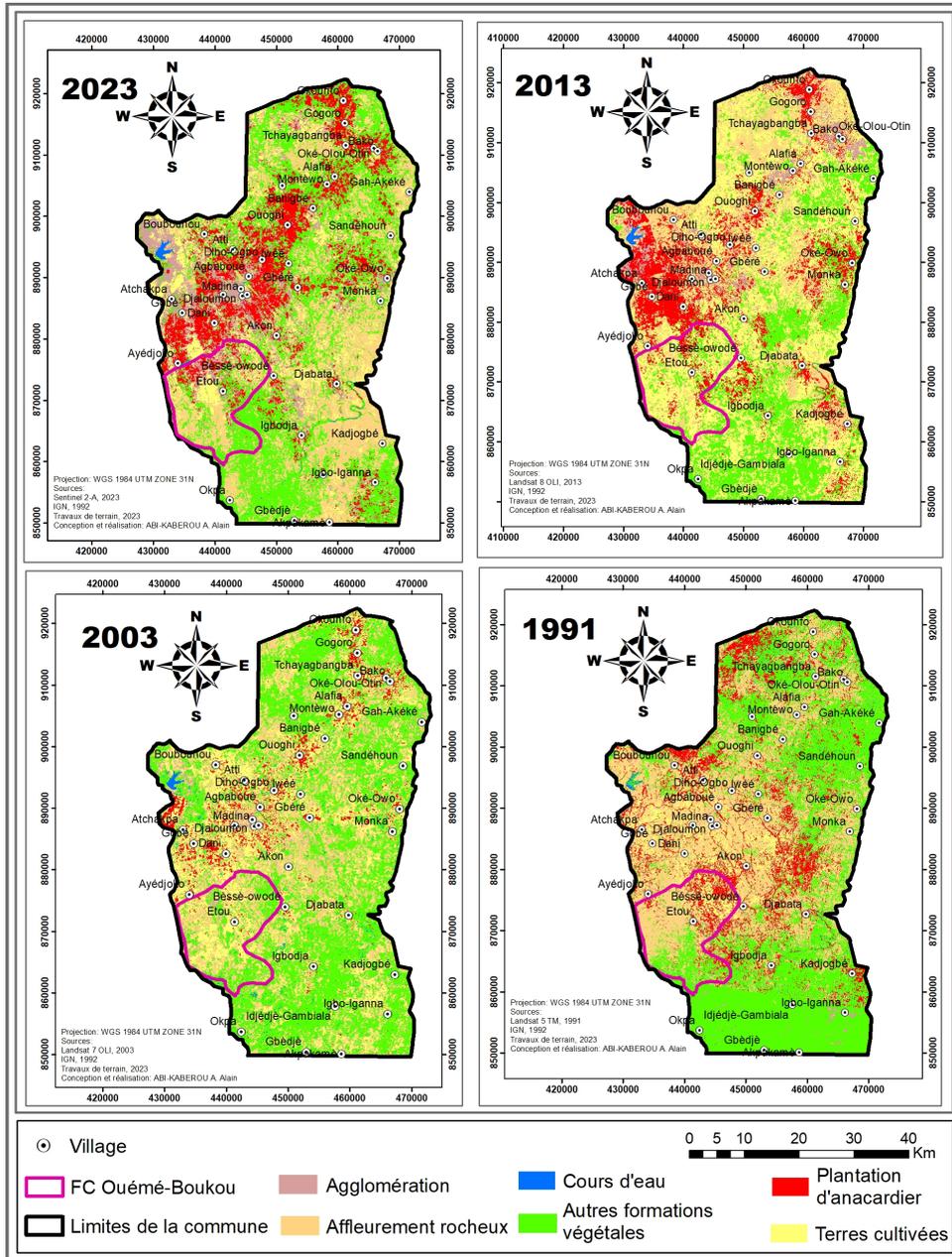


Figure 2 . Répartition spatiale des unités d'occupation du sol de la zone d'étude entre 1991 et 2023

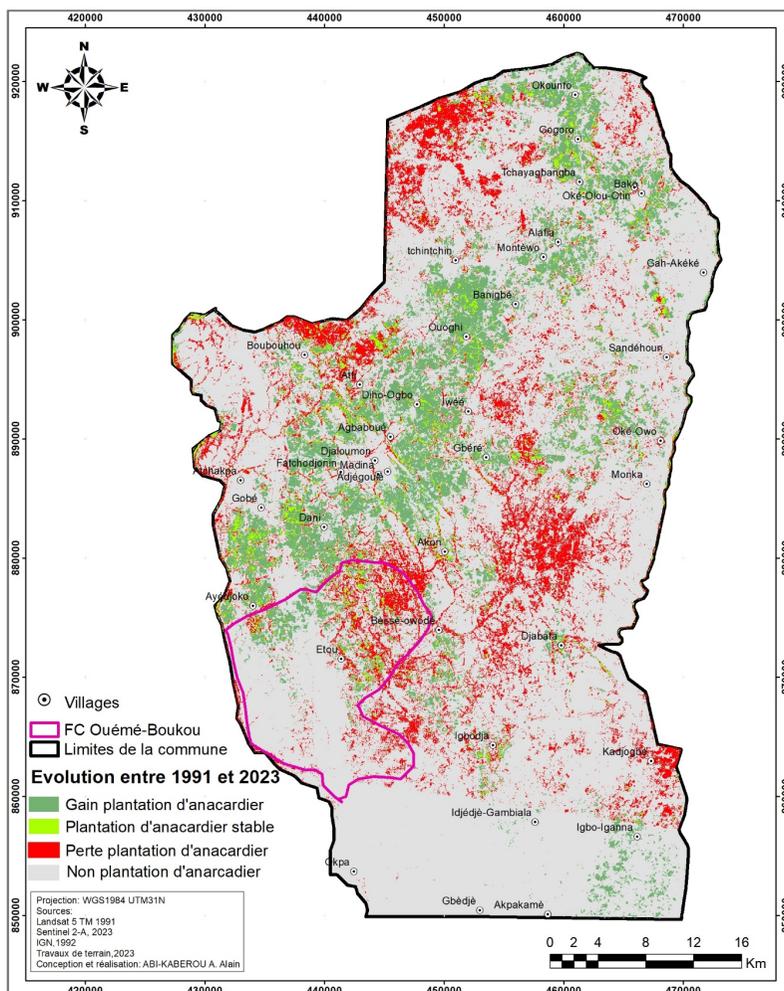
Figure 3. Répartition spatiale des surfaces des unités d’occupation du sol de la zone d’étude de 1991, 2003, 2013 et 2023



L’analyse de l’occupation du sol indique une prédominance de la strate des autres végétations en 1991, 2003, 2013 et 2023 soit respectivement 43%, 44, 23 et 35% (Figure 3). En revanche les plantations, ont connu une dynamique plus ou moins stable dans les périodes étudiées, elles occupaient environ 13%, 5%, 14% et 15% du paysage de la zone d’étude. On assiste à l’évolution du front des mosaïques de champs et jachères des agglomérations vers les formations végétales naturelles. D’environ 7% % du territoire de la zone d’étude en 1991, ces mosaïques de champs et jachères sont passées à 18%, 36% et 11% respectivement en 2003, 2013 et 2023.

4

Figure 4 : Evolution spatio-temporelle des plantations d'anacardier dans la zone d'étude



2.5.2. Changements spatio-temporels

L'examen des images satellitaires de 1991 et de 2023 montre un changement d'état des unités d'occupation du sol entre ces deux dates. L'analyse des variations et des taux d'expansion révèle trois états de changement : la conversion ou la modification, l'évolution et la stabilité des unités d'occupation du sol (Tableau 4).

Classes occupations du sol	Années				Taux moyen d'expansion spatial (%)
	1991	2003	2013	2023	

	Km ²	%	1991	2003	2013	1991						
									-	-	-	-
									2003	2013	2023	2023
Agglomération	11,63	0,51	41,89	1,83	120,06	5,27	309,86	13,6	15,36	10,52	9,48	105,017
Affleurement rocheux	786,75	34,53	673,27	29,55	492,21	21,60	573,76	25,18	-	-	1,53	-
Terres cultivées	167,19	7,33	420,72	18,4	828,31	36,36	250,27	10,9	11,07	6,77	-	12,908
Autres formations végétales	971,59	42,65	100,2	4,9	514,77	22,59	792,32	34,8	0,362	-	4,31	-
Cours d'eau	35,89	1,57	36,13	1,58	6,23	0,273	8,72	0,38	0,079	-	3,36	-
Plantation d'anacardier	304,82	13,38	104,44	4,58	316,30	13,88	342,95	15,05	-	11,08	0,808	3,77
Total	227,790	10,0	227,790	10,0	227,790	10,0	227,790	10,0				

Dans la zone d'étude dans la période de 1991 à 2023, on constate une dynamique évolutive des terres cultivées, agglomérations, et des plantations. Cette augmentation découle de la transformation de la strate autres végétations et des végétations saxicoles présentes sur les affleurements rocheux pour l'installation des cultures et des plantations d'anacardières. Cependant de façon globale dans cette période la dynamique de l'occupation du sol a connu une expansion évolutive exponentielle des classes agglomération (105,017%), terres cultivées (12,98%) et des plantations (3,77%), la classes des autres végétations et des cours d'eau ont connu une expansion régressive respective de 6,52% et 45,25%, cette dynamique régressive provient de l'expansion des terres cultivées et des plantations d'anacardier.

L'amélioration de la couverture ligneuse (4,31%) était cependant plus remarquable entre 2013 et 2023. La zone d'étude connaît actuellement une amélioration de couverture ligneuse entre 2013 et 2023, contre une régression de 6,65% entre 2003 et 2013. Environ 19,82% de la strate « autres végétations » et 2,4% des plantations d'anacardier du paysage de la zone d'étude n'ont subi aucun changement au cours des 30 dernières années (Tableau 5). Ces statistiques montrent une forte anthropisation qui entraîne une dégradation continue du paysage. La régression du taux de la strate des autres végétations était nettement inférieure à la proportion de l'aire

dégradée avec un taux d'expansion de 6,52% entre 1991 et 2023. En revanche les statistiques des plantations d'anacardier montrent une dynamique évolutive avec un taux d'expansion de 3,77% entre 1991 et 2023. Cependant, on enregistre un reverdissement entre 2013 et 2023. En effet, environ 15% de la superficie des terres cultivées été convertis en végétation naturelle.

Tableau 5. Matrice de transition des unités d'occupation et d'utilisation des terres de la zone d'étude entre 1991 et 2023 (unités en km²)

1991		Affleurement rocheux	Agglomération	Autres formations végétales	Cours d'eau	Plantation d'anacardier	Terres cultivées	Total 2023
2023	Affleurement rocheux	175,69	1,825	312,15	5,96	51,65	26,03	573,33
	Agglomération	159,61	2,48	60,34	3,461	42,82	39,95	308,69
	Autres formations végétales	180,63	4,98	451,42	12,04	122,86	25,16	797,13
	Cours d'eau	0,917	0,002	4,305	2,697	0,538	0,134	8,59
	Plantation d'anacardier	160,62	1,022	81,79	3,180	54,69	41,43	342,76
	Terres cultivées	115,99	0,549	72,67	2,744	30,12	24,70	246,78
	Total 1991	793,484	10,87	982,70	30,098	302,71	157,43	2277,301

Cette étude révèle un processus de conversion ou de transformation des unités d'occupation dans la zone d'étude. La conversion des formations végétales et autres unités d'occupation du sol de 1991 à 2023 est synthétisée dans le Tableau (5). Il ressort de ce tableau que sur les 982,70 Km² de la strate des autres formations végétales en 1991 ; 451,42 Km² (19,82%) sont demeurées inchangées ; le reste s'étant transformé en plantation et terres cultivées respectivement 122,86 et 25,16 Km². Sur la même période la superficie des plantations étant restées inchangées étaient de 54,69 Km² le reste étant transformée en terres cultivées 41,43 Km² et autres formations végétales 81,79 Km².

2.6. Discussion

➤ Analyse de la dynamique de l'occupation du sol

La comparaison des images Landsat TM de 1991, ETM+ de 2003 et OLI-TIRS de 2013, toutes de 30 m de résolution, et Sentinel 2-A de 2023 de résolution spatiale de 10 m ont permis de quantifier les changements de la

végétation intervenus dans le paysage de la zone d'étude sur une période approximative de 30 ans. Les précisions statistiques globales résultant de la classification des images ont donné des valeurs acceptables, variant entre 83,57 et 94,36 % avec des indices de kappa variant de 78,75 à 92,77%. Ces valeurs se retrouvent dans l'intervalle des valeurs seuils de la précision globale de la classification des cartes thématiques, fixées entre 80-85% (Treitz, 2004). Selon l'échelle de (Jansen et al., 2008), les valeurs de l'indice de kappa obtenues dans cette étude, qui se situent entre 78,75 à 92,77%, témoignent de l'exactitude et de la fiabilité statistiques des classes thématiques retenues. Ces précisions corroborent avec les études effectuées par (Samb et al., 2018) dans les plantations d'anacarde au Sénégal. Cependant plusieurs confusions se sont opérées lors de la classification des images. Les plus grandes confusions issues de la classification supervisée générée par l'algorithme du « maximum de vraisemblance » ont été notées d'une part entre la strate autres végétations et les plantations d'anacardier et d'autre part entre les autres végétations et les affleurements rocheux. Cette situation pourrait s'expliquer par la variation de la signature spectrale de la classe des plantations qui variaient en fonction de leur âge et ont tendance à être considérées comme forêt dense (strate autres végétation) par l'algorithme. Ces résultats corroborent les résultats des recherches menées par (Kouassi et al., 2020) sur le suivi par télédétection spatiale d'une forêt tropicale humide protégée soumise à des pressions anthropiques au niveau de la forêt classée du Haut Sassandra en Côte d'Ivoire. Les confusions observées au niveau de la strate affleurement rocheux et autres végétations seraient dues à la végétation saxicole dense présente sur les affleurements rocheux.

Par ailleurs, L'examen des matrices de transition décèle une évolution de la strate autres formations végétales progressive au profit des terres cultivées. Cette évolution des formations naturelles est un signe de restauration des écosystèmes forestiers. Cette situation pourrait être due aux confusions observées entre les classes des plantations et celles de la strate des autres formations végétales qui entraînerait une augmentation de la superficie de la strate autres formations végétale. Ces confusions ont pu être minimisées grâce à la reconnaissance du terrain lors de la visite. Cette approche est soutenue par Trepanier et al. (2002) qui confirment, l'importance de la connaissance de milieu et l'acquisition des données auxiliaires pour l'amélioration de la qualité des traitements d'images. Nous avons également noté sur le terrain de nouvelle conversion de forêt dense en terres cultivées dont les arbres sont tués sur pieds pour la carbonisation. L'algorithme aurait confondu les pixels de ces classes (nouveau défrichement dans les forêts denses et plantation d'âge supérieur à 40 ans) avec les classes des végétations naturelles (strates autres formations

végétales). En revanche, l'augmentation de la superficie des terres cultivées en 2013 proviendrait du déboisement des forêts et des savanes (savanes boisées, arborées et arbustives). Au sein de ces dernières catégories, la production du charbon, l'agriculture et les feux de brousse, pratiqués de manière anarchique, contribuent largement à la réduction des surfaces forestières et à l'appauvrissement de la flore. La réduction des forêts peut aussi s'expliquer par le type d'agriculture pratiquée par les populations. En effet, après une ou deux années de cultures vivrières, les paysans abandonnent les parcelles en cultures pour coloniser de nouvelles terres forestières plus fertiles, laissant les premières en jachère afin de restaurer leur fertilité.

La dynamique régressive des plantations dans la zone d'étude, entre 1991 et 2003, serait due à la pluviométrie qui connaît une diminution dans cette période. Selon les données de la METEO, BENIN, la sévérité et la persistance de cette diminution pluviométrique pourraient expliquer la diminution des surfaces d'eau, des milieux humides et des plantations d'anacardier constatée dans cette période.

De nos jours (2023), les plantations d'anacardiers de la zone d'étude connaissent une dynamique évolutive et couvrent une superficie de 342,95 Km² soit 15,05% de la superficie de la zone d'étude alors qu'elle avait été estimée à 104,44 Km² en 2003 soit 4,58% de la zone d'étude. Cet accroissement montre une volonté des paysans propriétaires de plantations d'anacardiers pour la pratique de la culture d'anacardier. L'un des facteurs favorisant son expansion pourrait aussi être due à la zone agro-écologique de l'étude qui favorise sa capacité d'adaptation aux conditions pédoclimatiques. Cette progression serait également due à la promotion de la culture de l'anacardier par l'Etat béninois à travers les projets et programmes.

➤ **Analyse des facteurs politiques du secteur agricole**

Dans la période de 1991 à 2003, l'AFD a participé à travers un projet de production de l'anacarde à travers son programme d'Appui à la Relance de la Filière Anacarde (PAREFA) en 1996 dans la zone d'étude, ce projet permettait aux producteurs de bénéficier de prêt à des taux intéressants (5%) pour financer l'entretien et l'extension de leurs plantations. Au regard de l'importance qu'elle a prise dans le dispositif économique au niveau local et national, plusieurs projets et programmes sont toujours actifs dans la zone dans la zone d'étude, on peut citer entre autres : le Projet d'Appui au Développement de la filière anacarde et de l'entrepreneuriat agricole au Bénin (PADEFA-ENA) sous financement de le Banque Africaine de Développement (BAD), qui a permis la mise en place d'importantes superficies entre 2013 et 2021, la zone d'intervention de ce projet représentait 87% des zones de production nationale ; le Programme d'appui au développement du secteur agricole (PADSA-II) avec sa Composante A

(Appui au développement du secteur agricole privé) financé par la DANIDA, le Programme d'appui au développement des filières agricoles (PADFA) financé par le Gouvernement du Bénin; le Programme d'appui au Développement des Filières Agricoles /Anacarde (PROFI - Anacarde) financé par ENABEL de 2015 à 2022 qui avait pour objectif de consolider les marchés existants et assure son expansion sur de nouveaux marchés, tout en favorisant l'augmentation et partage équitable des revenus de l'ensemble des acteurs et de la création d'emploi décent, le projet BeninCajù financé par le Département Américain de l'Agriculture (USDA), à travers le Foreign Agriculture Service, (FAS) et mis en œuvre par TechnoServe et Catholic Relief Services de 2016 à 2021 a été initié pour l'intégration et l'accélération de la filière cajou dans douze communes productrices du Bénin réparties dans quatre départements à savoir les Collines, le Zou, le Borgou et la Donga tout en privilégiant une approche à la fois globale, inclusive et innovante pour faire développer le cajou dans une dynamique de croissance économique soutenue, plus productive, diversifiée. Globalement ces projets et programmes sont beaucoup plus présents dans la production primaire avec des appuis aux producteurs et aux institutions publiques ou privées de services, on peut noter l'intervention de la Communauté forestière du Moyen-Ouémé (CoForMo) qui est une initiative communautaire innovante visant une gouvernance et cogestion communales des forêts en mettant en œuvre diverses actions tel que : les négociations foncières, l'élaboration de plans d'aménagements forestiers la mise en place de structures locales de gestion. Les structures techniques du Ministère de l'agriculture tel que : Les ATDA (Agence Territoriale de Développement Agricole) qui sont également partie prenante dans l'encadrement de la production, ils sont chargés de mettre en œuvre tous les programmes de vulgarisation technique, ils fournissent également des semences aux producteurs pour une production résiliente aux climats ont beaucoup contribué à l'essor de la filière anacarde au Bénin et précisément dans la zone d'étude dans la période de 2013 à 2023, ainsi que la fédération nationale des Producteurs d'Anacarde du Bénin (FENAPAB), les Unions des producteurs, les associations diverses.

La réussite de ces plantations d'anacardier a beaucoup incité les populations locales à s'investir dans la production de l'anacarde pour agrandir leur capacité financière et économique. Ainsi, l'anacardier est devenu l'une des cultures fruitières de rente dont la production n'a fait qu'augmenter, eu égard à l'accroissement des coûts mondiaux de la noix et de la facilité d'installation de cette culture pérenne (Djaha et al., 2012). Cette volonté serait liée au revenu que génère cette culture, De plus, (Tuo, 2007) affirme que l'un des grands intérêts de la culture d'anacarde réside dans sa rentabilité économique car elle offre des avantages socio-économiques et environnementaux. Les plantations d'anacardier contribuent de manière

considérable sur le niveau de vie des populations à travers la génération de recettes de ces produits (Samb et al., 2018). Outre les avantages des revenus tirés par les paysans dans la mise en place des plantations, sur une durée de 3 ans, les jeunes anacardiéristes peuvent être associés aux vivriers en infiltrant ceux-ci à leurs flancs sans trop d'efforts fournis et permet de revégétaliser les sols et d'améliorer le microclimat. L'espèce est également utilisée en reboisement, comme haie vive dans la lutte contre l'érosion. Ainsi, nos résultats témoignent que les plantations d'anacardier affichent un dynamisme assez significatif dans la zone d'études. Cet engouement des producteurs pour la filière s'expliquerait aussi par le prix incitatif de la noix qui ne cesse d'augmenter. Le prix de la noix est passé de 80 XOF (1990) ; 195 XOF (2003) ; 320 XOF (2013) à 650 XOF en 2017 et 400 XOF en 2023. Cette situation trouve son origine dans l'économie de marché du prix de la noix, en plus depuis la prise du décret n°2012-415 du 06 novembre 2012 en son article 2 qui fixe le prix minimum d'achat aux producteurs des noix de cajou est fixé à 200 XOF/Kg sur tous les marchés du territoire national, la filière devient intéressante pour les producteurs.

Conclusion

L'objectif de cette étude était de développer des connaissances sur la dynamique spatiale de la culture d'anacardier dans la zone soudano-guinéenne du centre du Bénin en identifiant les différents facteurs qui engendrent les changements d'utilisation des terres de ces plantations dans la période de 1991 à 2023 dans la zone d'étude. Il ressort de cette étude que la culture d'anacardier dans la zone d'étude a connu une évolution progressive. De 1991 à 2023, le taux d'évolution de la superficie totale des plantations d'anacardiéristes a été de 12,5 %. Pendant cette période, les vergers d'anacardiéristes ont couvert 15,05 % de la superficie du paysage, équivalant à 342,95 Km² de canopée fermée en 2023 alors qu'il ne couvrait que 13,38 % du paysage en 1991 (équivalent à 304,82 Km² de canopée fermée).

L'évolution de cette culture s'est faite au détriment de la strate autres formations végétales, terres agricoles, plan d'eau. En effet, l'ensemble de ces classes forment la classe de la strate autres formations végétales qui a régressé de 6,52 % et les plans d'eau de 45,25%. Par ailleurs, l'expansion de la culture d'anacarde a modifié la configuration spatiale du paysage de la zone d'étude. Le processus de transformation spatiale observé entre 2003 et 2023 est la création traduisant la mise en place de nouvelles plantations d'anacardiéristes.

A l'issue de cette étude, vue la répartition des plantations d'anacardiéristes et son expansion dans la zone d'étude, il serait important de sensibiliser les paysans et les autorités communales sur la planification de l'espace afin de prévenir les pressions sur les terres cultivables car

l'installation de plantations d'anacardiers de grandes superficies sans un aménagement de l'espace pourrait entraîner l'amenuisement des terres pour d'autres types de cultures telles que les cultures de subsistances. Ces résultats pourraient aider les décideurs locaux, les acteurs du développement et les scientifiques à la prise de décision pour une gestion durable des plantations d'anacardier au Bénin.

Intérêt concurrent : Il n'existe aucun intérêt concurrent entre eux, déclarent les auteurs.

Financement : Ce travail n'a pas bénéficié d'un financement quelconque

Références:

1. Cheng, Y., Yu, L., Cracknell, A. P., & Gong, P. (2016). Oil palm mapping using Landsat and PALSAR: A case study in Malaysia. *International Journal of Remote Sensing*, 37(22), 5431-5442. <https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1241448>
2. Dimobe, K., Goetze, D., Ouédraogo, A., Forkuor, G., Wala, K., Porembski, S., & Thiombiano, A. (2017). Spatio-Temporal Dynamics in Land Use and Habitat Fragmentation within a Protected Area Dedicated to Tourism in a Sudanian Savanna of West Africa. *Journal of Landscape Ecology*, 10(1), 75-95. <https://doi.org/10.1515/jlecol-2017-0011>
3. Dimobe, K., Ouédraogo, A., Soma, S., Goetze, D., Porembski, S., & Thiombiano, A. (2015). Identification of driving factors of land degradation and deforestation in the Wildlife Reserve of Bontioli (Burkina Faso, West Africa). *Global Ecology and Conservation*, 4, 559-571. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2015.10.006>
4. Djaha, J. B., Nda adopo, A., Koffi, E., Ballo, C., & Coulibaly, M. (2012). *Croissance et aptitude au greffage de deux génotypes d'anacardier (Anacardium occidentale L.) élites utilisés comme porte-greffe en Côte d'Ivoire*. : 1453-1466.
5. Dong, J., Xiao, X., Chen, B., Torbick, N., Jin, C., Zhang, G., & Biradar, C. (2013). Mapping deciduous rubber plantations through integration of PALSAR and multi-temporal Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 134, 392-402. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.03.014>
6. Forkuor, G. (2014). *Agricultural Land Use Mapping in West Africa Using Multi-Sensor Satellite Imagery*. [University of Würzburg]. <https://d-nb.info/1108781144/34>
7. Gutiérrez-Vélez, V. H., & DeFries, R. (2013). Annual multi-resolution detection of land cover conversion to oil palm in the

- Peruvian Amazon. *Remote Sensing of Environment*, 129, 154-167. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.10.033>
8. Jansen, L. J. M., Bagnoli, M., & Focacci, M. (2008). Analysis of land-cover/use change dynamics in Manica Province in Mozambique in a period of transition (1990–2004). *Forest Ecology and Management*, 254(2), 308-326. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.08.017>
 9. Kouassi, K. H., Konan-Waidhet, A. B., Yao, A. B., Koffi, B., & Kadjo, E. D. (2020). Simulation of the Dynamics of Land Cover and Land Use in the Lobo River Watershed Upstream of Niakhar (Center-West of Côte d'Ivoire). *Journal of Geographic Information System*, 12(05), 519-530. <https://doi.org/10.4236/jgis.2020.125030>
 10. Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, 33(1), 159. <https://doi.org/10.2307/2529310>
 11. Le Roux, X., Barbault, R., Baudry, J., Burel, F., Doussan, I., Garnier, E., Herzog, F., Lavorel, S., Lifran, R., Roger-Estrade, J., Sarthou, J. P., & Trommetter, M. (2012). *Agriculture et biodiversité. Valoriser les synergies. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA (France)* (p. 178 p). INRA (France). <https://hal.science/hal-01173714/document>
 12. Leimgruber, P., Kelly, D. S., Steininger, M. K., Brunner, J., Müller, T., & Songer, M. (2005). Forest cover change patterns in Myanmar (Burma) 1990–2000. *Environmental Conservation*, 32(4), 356-364. <https://doi.org/10.1017/S0376892905002493>
 13. Lin, C., Jin, Z., Mulla, D., Ghosh, R., Guan, K., Kumar, V., & Cai, Y. (2021). Toward Large-Scale Mapping of Tree Crops with High-Resolution Satellite Imagery and Deep Learning Algorithms : A Case Study of Olive Orchards in Morocco. *Remote Sensing*, 13(9), 1740. <https://doi.org/10.3390/rs13091740>
 14. Niang, S., & Gaye, M. (2002). *Epuration des eaux usées et l'agriculture urbaine*. EndaTiers-Monde, Dakar.
 15. Pereira, S. C., Lopes, C., & Pedro Pedroso, J. (2022). Mapping Cashew Orchards in Cantanhez National Park (Guinea-Bissau). *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 26, 100746. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100746>
 16. Samb, C. O., Faye, E., Dieng, M., Sanogo, D., Samba, S. A. N., & Koita, B. (2018). *Dynamique spatio-temporelle des plantations d'anacardier (Anacardium occidentale L.) dans deux zones agro-écologiques du Sénégal*. 365-377.

17. Sinan, A., & Abou, N. K. (2016). Impacts Socio-Economiques De La Culture De L'anacarde Dans La Sous-Prefecture D'odienn (Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal, ESJ*, 12(32), 369. <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n32p369>
18. Singh, M., Evans, D., Chevance, J.-B., Tan, B. S., Wiggins, N., Kong, L., & Sakhoen, S. (2018). Evaluating the ability of community-protected forests in Cambodia to prevent deforestation and degradation using temporal remote sensing data. *Ecology and Evolution*, 8(20), 10175-10191. <https://doi.org/10.1002/ece3.4492>
19. Soulama, S., Kadeba, A., Nacoulma, B., Traore, S., Bachmann, Y., & Thiombiano, A. (2015). Impact des activités anthropiques sur la dynamique de la végétation de la réserve partielle de faune de Pama et de ses périphéries (sud-est du Burkina Faso) dans un contexte de variabilité climatique. *Journal of Applied Biosciences*, 87(1), 8047. <https://doi.org/10.4314/jab.v87i1.6>
20. Tadele, H., Mekuriaw, A., Selassie, Y. G., & Tsegaye, L. (2017). Land Use/Land Cover Factor Values and Accuracy Assessment Using a GIS and Remote Sensing in the Case of the Quashay Watershed in Northwestern Ethiopia. *Journal of Natural Resources and Development*, 38-44. <https://doi.org/10.5027/jnrd.v7i0.05>
21. Treitz, P. (2004). Remote sensing for mapping and monitoring land-cover and land-use change. *Progress in Planning*, 61(4), 267. [https://doi.org/10.1016/S0305-9006\(03\)00062-X](https://doi.org/10.1016/S0305-9006(03)00062-X)
22. Tridawati, A., Wikantika, K., Susantoro, T. M., Harto, A. B., Darmawan, S., Yayusman, L. F., & Ghazali, M. F. (2020). Mapping the Distribution of Coffee Plantations from Multi-Resolution, Multi-Temporal, and Multi-Sensor Data Using a Random Forest Algorithm. *Remote Sensing*, 12(23), 3933. <https://doi.org/10.3390/rs12233933>
23. Tuo, G. (2007). *Analyse de la filière anacarde en Côte d'Ivoire : Stratégies de développement et de lutte contre la pauvreté. Mémoire de diplôme d'étude approfondie en science économique [Mémoire DEA]*. Université de Bouaké.
24. UNFCCC. (2019). *Annual Report 2019*. United Nations Climate Change. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/unfccc_annual_report_2019.pdf
25. Vittek, M., Brink, A., Donnay, F., Simonetti, D., & Desclée, B. (2014). Land Cover Change Monitoring Using Landsat MSS/TM Satellite Image Data over West Africa between 1975 and 1990. *Remote Sensing*, 6(1), 658-676. <https://doi.org/10.3390/rs6010658>
26. Xu, Y., Yu, L., Ciais, P., Li, W., Santoro, M., Yang, H., & Gong, P. (2022). Author Correction : Recent expansion of oil palm plantations

- into carbon-rich forests. *Nature Sustainability*, 5(5), 460-460.
<https://doi.org/10.1038/s41893-022-00897-6>
27. Yin, L., Ghosh, R., Lin, C., Hale, D., Weigl, C., Obarowski, J., Zhou, J., Till, J., Jia, X., Mao, T., Kumar, V., & Jin, Z. (2023). *Mapping smallholder cashew plantations to inform sustainable tree crop expansion in Benin*.
https://www.researchgate.net/publication/366821970_Mapping_smallholder_cashew_plantations_to_inform_sustainable_tree_crop_expansion_in_Benin