Quest Journals
Journal of Research in Humanities and Social Science
Volume 14 ~ Issue 11 (November 2026) pp: 14-24
ISSN(Online):2321-9467
www.questjournals.org

Research Paper

Quand le pixel compte la noix : Apport de la télédétection et des SIG à l'évaluation spatio-temporelle des volumes d'anacarde dans le département de Tiébissou

ASSI Kopeh Jean-Louis, *Maître-Assistant, Université Jean LOROUGNON GUEDE (Daloa-Côte d'Ivoire)*
KANATE Mohamed, *Maître-Assistant, Université Jean LOROUGNON GUEDE (Daloa-Côte d'Ivoire)*
ASSI-KAUDJHIS Joseph Pierre, *Professeur Titulaire, Université Alassane Ouattara (Bouaké-Côte d'Ivoire)*

Résumé
La culture de l'anacarde occupe une place croissante dans les systèmes de production agricole ivoiriens et constitue aujourd'hui un levier majeur de diversification économique des espaces ruraux. Dans le département de Tiébissou, l'expansion des plantations d'anacardier s'accompagne d'importantes recompositions territoriales, soulevant la question de l'estimation précise des volumes de production dans un contexte où les méthodes conventionnelles fondées sur les enquêtes de terrain présentent des limites en matière de couverture spatiale, de coûts et de fiabilité. Face à ces contraintes, les technologies géospatiales offrent de nouvelles perspectives pour le suivi et la modélisation des productions agricoles. Cette étude a pour objectif d'estimer les volumes de production de la noix de cajou dans le département de Tiébissou à partir des données de télédétection et des Systèmes d'Information Géographique (SIG). La démarche méthodologique repose sur l'exploitation d'images satellitaires Landsat 9, du calcul de l'indice de végétation normalisé (NDVI), des données d'occupation du sol ainsi qu'un modèle exponentiel d'estimation des rendements développé et appliqué à l'ensemble des pixels correspondant aux plantations d'anacardier afin de spatialiser les volumes de production à l'échelle départementale. Les résultats mettent en évidence une forte hétérogénéité spatiale des volumes de production, compris entre 130 et 1 150 kg à l'échelle des parcelles. Les superficies consacrées à l'anacarde couvrent 7 710,21 hectares et génèrent un volume total estimé de 40 325,67 tonnes, soit 2,69 % de la production nationale. Les sous-préfectures de Tiébissou (41,30 %) et de Molonou (35,18 %) apparaissent comme les principaux bassins de production, tandis que Lomokankro et Yakpabo-Sakassou présentent des performances plus modestes. Par ailleurs, l'analyse révèle une très forte corrélation entre les superficies cultivées et les volumes produits ($R^2 = 0,98$), traduisant la prédominance d'un modèle agricole extensif.
Mots-clés : *anacarde, télédétection, SIG, estimation des rendements, département de Tiébissou*
Abstract
Cashew production is playing an increasingly important role in Côte d'Ivoire's agricultural production systems and is now a key driver of economic diversification in rural areas. In the department of Tiébissou, the expansion of cashew plantations is accompanied by significant changes to the land use pattern, raising the question of how to accurately estimate production volumes in a context where conventional methods based on field surveys have limitations in terms of spatial coverage, costs and reliability. In the face of these constraints, geospatial technologies offer new possibilities for monitoring and modelling agricultural production. The aim of this study is to estimate cashew nut production volumes in the Tiébissou department using remote sensing data and Geographic Information Systems (GIS). The methodological approach is based on the analysis of Landsat 9 satellite imagery, the calculation of the Normalised Difference Vegetation Index (NDVI), land-use data, and an exponential yield estimation model developed and applied to all pixels corresponding to cashew plantations in order to map production volumes at the departmental level. The results highlight significant spatial variation in production volumes, ranging from 130 to 1,150 kg at plot level. The area under cashew cultivation covers 7,710.21 hectares and generates an estimated total volume of 40,325.67 tonnes, representing 2.69 per cent of national production. The sub-prefectures of Tiébissou (41.30 per cent) and Molonou (35.18 per cent) emerge as the main production areas, whilst Lomokankro and Yakpabo-Sakassou show more modest performance. Furthermore, the analysis reveals a very strong correlation between cultivated areas and production volumes ($R^2 = 0.98$), reflecting the predominance of an extensive farming model.
Keywords*: cashew, remote sensing, GIS, yield estimation, Tiébissou department*

Received 25 Oct., 2026; Revised 04 Nov., 2026; Accepted 06 Nov., 2026 © The author(s) 2026.
P**ublished with open access at **www.questjournals.org

I. Introduction

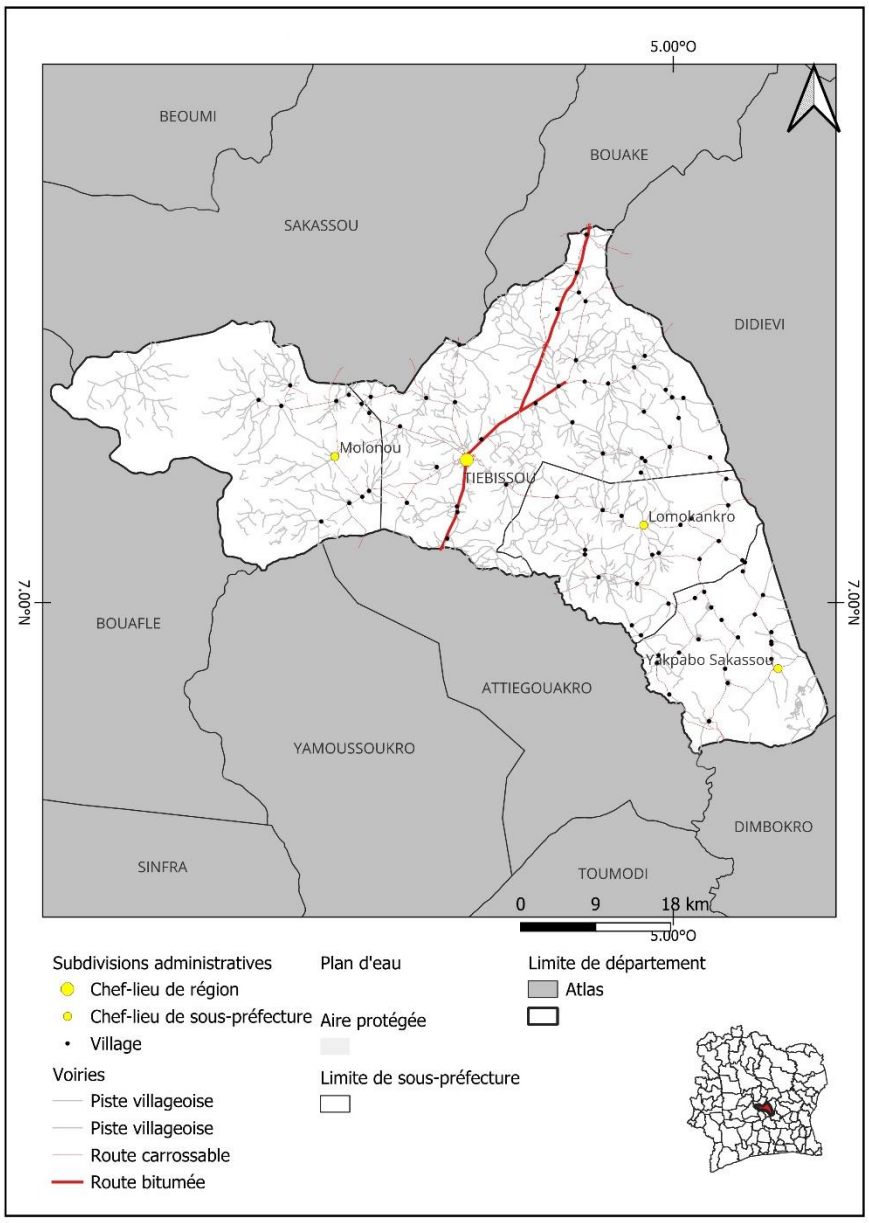
La culture de l'anacardier (*Anacardium occidentale*) s'est imposée au cours des trois dernières décennies comme l'un des piliers de l'économie agraire ouest-africaine, transformant profondément les paysages et les systèmes de production locaux. En Côte d'Ivoire, premier producteur mondial de noix de cajou brute, cette culture de rente est passée du statut de spéculations marginale à celui de véritable moteur de développement rural (K. Brou, 2018, p. 45). Sur le plan de la géographie économique, la filière anacarde représente un enjeu majeur d'insertion des territoires ruraux dans les marchés globaux, générant des flux financiers vitaux pour les ménages agricoles et structurant les chaînes de valeur locales (A. K. N'Guessan, 2020, p. 112).

Cependant, cette expansion économique s'accompagne d'une recomposition spatiale rapide et parfois anarchique des territoires ruraux. Le département de Tiébissou, situé dans la zone de transition forestière et savanicole du centre de la Côte d'Ivoire, illustre parfaitement cette dynamique de front pionnier. L'engouement pour la noix de cajou y a provoqué une extension spectaculaire des vergers, au détriment des cultures vivrières traditionnelles et des jachères, redessinant ainsi l'empreinte spatiale du territoire (Y. T. Kouadio, 2019, p. 78). Cette mutation agraire soulève un problème méthodologique et cognitif majeur : comment évaluer avec précision le potentiel productif d'un territoire dont les contours et les surfaces agricoles évoluent de manière quasi continue ?

Traditionnellement, l'estimation des volumes de production de la noix de cajou repose sur des approches déclaratives et des enquêtes de terrain ponctuelles, menées par les services statistiques agricoles. Or, ces méthodes présentent des limites structurelles, notamment un biais de déclaration, une méconnaissance des surfaces réelles des vergers et une incapacité à capturer l'hétérogénéité spatiale des rendements agronomiques (J. M. K. Brou, 2021, p. 34). Face à l'opacité des données statistiques traditionnelles, la géographie rurale contemporaine trouve dans les technologies de l'information géographique une réponse pertinente. L'usage couplé de la télédétection et des Systèmes d'Information Géographique (SIG) offre aujourd'hui la possibilité de passer d'une logique de déclaration administrative à une logique d'observation spatiale objective, permettant de cartographier les peuplements d'anacardiers et de modéliser leurs rendements à l'échelle parcellaire (F. T. Biémi, 2017, p. 89).

L'objectif principal de cet article est d'estimer les volumes de production de la noix de cajou dans le département de Tiébissou à partir de l'imagerie satellitaire à haute résolution et de l'analyse SIG. L'hypothèse de recherche postule que les variables biophysiques extraites des images satellitaires, intégrées dans un environnement SIG, permettent de prédire les volumes de production de la noix de cajou avec une précision suffisante pour constituer une alternative fiable aux méthodes conventionnelles d'estimation. Composée de quatre sous-préfectures, le département de Tiébissou a une population estimée à 116321 habitants (RGPH, 2021). Elle est située à 7°16'12''N (Latitude) et 5°28'48''W (Longitude) et couvre une superficie de 2385,33 km² soit une densité de 48,76 hbt/km². Il est limité au nord par les départements de Sakassou et Bouaké, à l'est par celui de Didievi, à l'ouest par celui de Bouaflé et au sud par celui de Yamoussoukro et celui d'Attiegouakro (carte 1).

Carte 1 : Localisation du département de Tiébissou



Source : CIGN/BNETD, 2012 Réalisation : ASSI Kopeh J-L, 2026

Au plan ethnique, le département de Tiébissou est composé des autochtones Baoulé répartis en deux cantons : le canton Nanafouè et le canton Ahitou à côté desquels on dénombre des allochtones et des allogènes.

II. Matériels et méthodes

L'estimation des volumes de production de la noix de cajou dans le département de Tiebissou repose essentiellement sur l'exploitation de données issues de la télédétection, notamment les images satellitaires, les indices de végétation tels que le Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) et les cartes d'occupation et d'utilisation du sol. L'ensemble du processus de traitement, d'analyse spatiale et de modélisation de ces données a été réalisé au moyen du logiciel de Système d'Information Géographique ArcGIS, à travers son interface ArcMap 10.8, qui offre un environnement performant pour l'intégration, le traitement et l'analyse des données géospatiales nécessaires à l'estimation des volumes de production.

2.1 Matériels

La mise en œuvre de l'estimation des volumes de production de la noix de cajou dans le département de Tiébissou repose sur deux composantes fondamentales, à savoir les données mobilisées et les outils de traitement géospatial. Les données exploitées proviennent principalement de la télédétection satellitaire et se présentent sous la forme de données raster librement accessible. Leur caractère synoptique, leur couverture spatiale étendue et leur disponibilité régulière en font une source d'information privilégiée pour l'analyse des caractéristiques biophysiques des plantations d'anacardier. Leur traitement, leur intégration et leur analyse nécessitent le recours à des logiciels de Système d'Information Géographique (SIG), lesquels offrent un environnement adapté à la gestion, à l'analyse spatiale, à la modélisation et à la représentation cartographique des données géographiques indispensables à l'estimation des volumes de production.

2.1.1 Données satellitales

Les images satellitaires exploitées dans cette étude ont été téléchargées à partir de la plateforme EarthExplorer de l'United States Geological Survey (USGS). Elles sont fournies au format raster (GeoTIFF), largement utilisé pour le traitement et l'analyse des données de télédétection. Afin de garantir une couverture exhaustive de la zone d'étude, deux scènes Landsat 9 acquises en mars et avril 2024, issues du capteur Operational Land Imager–Thermal Infrared Sensor (OLI-TIRS) et correspondant au Path 197 et Row 55, ont été sélectionnées. Ces scènes couvrent intégralement le département de Tiebissou, ce qui permet d'assurer une analyse spatiale homogène sur l'ensemble du territoire étudié. Les bandes spectrales qu'elle contient ont servi au calcul du Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), ou Indice de Différence de Végétation Normalisé, indicateur couramment utilisé pour caractériser la vigueur et l'état de la couverture végétale et largement mobilisé dans les études portant sur le suivi des cultures.

2.1.2 Donnée administrative

La délimitation de la zone d'étude repose sur la limite administrative du département de Tiébissou, représentée sous forme de données vectorielles au format Shapefile (SHP). Cette donnée géographique est issue du Centre d'Information Géographique et du Numérique (CIGN) du Bureau National d'Études Techniques et de Développement (BNETD). Elle a été utilisée comme emprise spatiale de référence afin de circonscrire le périmètre d'analyse et de servir de masque de découpage pour l'extraction des données raster couvrant exclusivement le territoire du département de Tiébissou.

2.1.3 Données d'occupation du sol

Les données relatives à l'occupation et à l'utilisation des terres correspondent aux cartes thématiques du département de Tiébissou produites en 2020 par le Centre d'Information Géographique et du Numérique (CIGN) du Bureau National d'Études Techniques et de Développement (BNETD). Ces documents cartographiques ont permis d'identifier et de localiser les superficies occupées par les vergers d'anacardier, constituant ainsi une base essentielle pour la spatialisation des zones de production et l'estimation des volumes de la noix de cajou l'échelle du département.

2.1.4 Logiciels

L'estimation des volumes de production de la noix de cajou dans le département de Tiébissou a été réalisée à l'aide du logiciel de Système d'Information Géographique ArcGIS, à travers son interface ArcMap 10.8, ainsi que du tableur Microsoft Excel 365. ArcGIS a été mobilisé pour l'intégration, le traitement et l'analyse spatiale des données géographiques, tandis que Microsoft Excel 365 a servi au traitement statistique, à l'organisation des données et à l'élaboration des calculs nécessaires à l'estimation des volumes de production.

2.2 Méthodes de traitement

Le traitement des données a été conduit suivant une démarche méthodologique séquentielle, structurée autour de plusieurs étapes successives. Celles-ci ont consisté, dans un premier temps, au calcul de l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI), puis à l'élaboration de la carte d'occupation du sol, avant d'aboutir à l'estimation des volumes de production de la noix de cajou dans le département de Tiébissou.

2.2.1 Préparation de la zone d'étude

Le département de Tiébissou a été intégré dans l'environnement SIG sous la forme d'un fichier vecteur au format Shapefile. Cette couche géographique a été définie comme région d'intérêt (*Region of Interest*) et a servi d'emprise spatiale de référence pour l'ensemble des traitements géomatiques. Son utilisation a permis de circonscrire les analyses, les calculs statistiques et les opérations cartographiques aux seules limites administratives du département, garantissant ainsi la cohérence spatiale et la pertinence des résultats obtenus.

2.2.2 Calcul de l'Indice de Différence de Végétation Normalisé (NDVI)

Le Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) constitue l'un des indices spectraux les plus couramment utilisés pour caractériser l'état physiologique, la vigueur et la densité du couvert végétal. Fondé sur les propriétés spectrales de la végétation, il exploite le contraste entre la forte absorption du rayonnement dans le domaine du rouge visible, due à la chlorophylle, et la forte réflectance dans le proche infrarouge, induite par la structure interne des feuilles. Les valeurs du NDVI sont comprises entre –1 et +1, les valeurs les plus élevées traduisant généralement une végétation dense et en bon état de développement. Le NDVI est obtenu à partir de la relation mathématique suivante :

Dans le cadre de cette étude, le calcul du NDVI a été réalisé à partir de l'image Landsat 9, en utilisant les bandes spectrales dédiées au rouge (Red) et au proche infrarouge (Near Infrared – NIR)**.**

L'opération a été effectuée au moyen de la Calculatrice Raster intégrée au logiciel ArcGIS (ArcMap 10.8**)**, permettant la génération d'un raster de sortie au format GeoTIFF (.tif), lequel a ensuite servi de base aux analyses spatiales relatives à l'estimation des volumes de production cacaoyère.

$$\mathrm{NDVI} = \frac{\mathrm{B5} - \mathrm{B4}}{\mathrm{B5} + \mathrm{B4}}$$

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

2.2.3 Cartes d'occupation du sol

Les données relatives à l'occupation du sol utilisées dans cette étude proviennent du Centre d'Information Géographique et du Numérique (CIGN) du Bureau National d'Études Techniques et de Développement (BNETD) et correspondent à la cartographie de l'année 2020. La nomenclature adoptée comprend 23 classes d'occupation et d'utilisation du sol, organisées selon une classification hiérarchique conforme aux recommandations du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Ces différentes classes sont regroupées en six grandes catégories d'occupation du sol, conformément aux lignes directrices du GIEC pour les inventaires des terres, comme l'illustre le tableau suivant.

Tableau 1: Nomenclature des classes d'occupation des sols année de 2020

CATEGORIES GIEC	CODE OCS	CLASSES OCS
Terres forestières	1	Forêt dense
	2	Forêt claire
	3	Forêt-galerie
	4	Forêt secondaire/forêt dégradée
	5	Mangrove
	6	Plantations forestières/Reboisement
	7	Forêt marécageuse/forêt sur sol hydromorphe
Terres cultivées	8	Plantation de Café
	9	Plantation de Cacao
	10	Plantation d'Hévéa
	11	Plantation de Palmier
	12	Plantation de Coco
	13	Plantation d'Anacarde
	14	Arboricultures/plantations fruitières
	15	Aménagements agricoles/autres cultures/vergers/jachères
Terres graminéennes	16	Savane arborée
	17	Formations arbustives/Fourrés
	18	Formations herbacées
Terres humides	19	Plan et cours d'eau

	20	Zones marécageuses
Etablissements humains et infrastructures	21	Habitat humain et Infrastructures
Autres terres	22	Affleurements rocheux
	23	Sol nu

Source : CIGN/BNETD, 2020

La classification des données d'occupation du sol a été réalisée à partir d'algorithmes de classification supervisée développés dans l'environnement Google Earth Engine (GEE). L'approche adoptée repose sur une méthode automatique d'apprentissage automatique (*Machine Learning*), fondée notamment sur l'algorithme Random Forest (RF), reconnu pour ses performances élevées dans la classification des images satellitaires et la discrimination des différentes classes d'occupation du sol.

Préalablement à la classification, plusieurs opérations de prétraitement ont été appliquées aux données satellitaires, notamment les corrections radiométriques et atmosphériques, ainsi que la détection et l'élimination des pixels affectés par la couverture nuageuse. Ces traitements avaient pour objectif d'améliorer la qualité spectrale des images et d'optimiser leur exploitation pour l'analyse spatiale. Après la phase de classification, des opérations de post-traitement ont été réalisées afin de réduire les incohérences spatiales, de corriger certains artefacts et d'améliorer la qualité cartographique des résultats obtenus.

2.2.4 Equation d'estimation du volume de production de la noix de cajou

L'estimation des volumes de production d'anacarde repose sur l'établissement d'un modèle mathématique reliant les valeurs de l'indice de végétation (NDVI) aux rendements observés. Le modèle retenu s'exprime sous la forme suivante :

$Equation_{estimation} = ae^{(b*NDVI)}$ ou $Equation_{estimation} = f(NDVI)$ où a et b représentent les coefficients du modèle, déterminés par ajustement statistique à partir d'un ensemble de points de référence associant les valeurs du NDVI aux volumes de production correspondants. La mise en œuvre de cette approche a nécessité, dans un premier temps, une opération de sélection spatiale conditionnelle à l'aide de l'outil Con (*Conditional*) du module Spatial Analyst d'ArcGIS. Cette opération a consisté à utiliser la couche d'occupation du sol comme raster de condition, tout en intégrant la couche NDVI comme variable de référence, afin d'isoler les pixels correspondant aux espaces potentiellement occupés par les plantations d'anacardier. À partir de cette nouvelle couche raster, les valeurs extrêmes du NDVI (minimum et maximum) ont été extraites. Ces valeurs ont ensuite été intégrées dans un tableur Microsoft Excel 365, où elles ont été combinées aux données de rendement moyen de la noix de cajou. Le rendement moyen a été rapporté à la valeur minimale du NDVI afin d'obtenir un coefficient de calibration permettant d'estimer les variations spatiales des volumes de production en fonction de l'évolution de l'indice de végétation. Une analyse de tendance entre les valeurs du NDVI et les volumes estimés de noix de cajou a alors été réalisée afin de déterminer la fonction mathématique d'ajustement la plus appropriée.

Dans le cadre de cette étude, le modèle exponentiel obtenu est formulé comme suit : **$Equation_{estimation} = 98{,}246e^{4{,}1786x}$** où x correspond à la valeur du NDVI associée aux pixels des plantations d'anacardier.

Enfin, afin de spatialiser les volumes estimés de production à l'échelle du département de Tiebissou, l'équation obtenue a été appliquée à l'ensemble de la surface d'étude à travers l'outil Calculatrice Raster du module Spatial Analyst d'ArcGIS. Le calcul final est exprimé comme suit : **$Volume_{estimé} = 98{,}246 \times \log(4{,}178 \times$ couche « NDVI_ANACARDE »)**. Cette opération a permis de générer une couche raster représentant la distribution spatiale des volumes potentiels de production cajouicole à l'échelle du département.

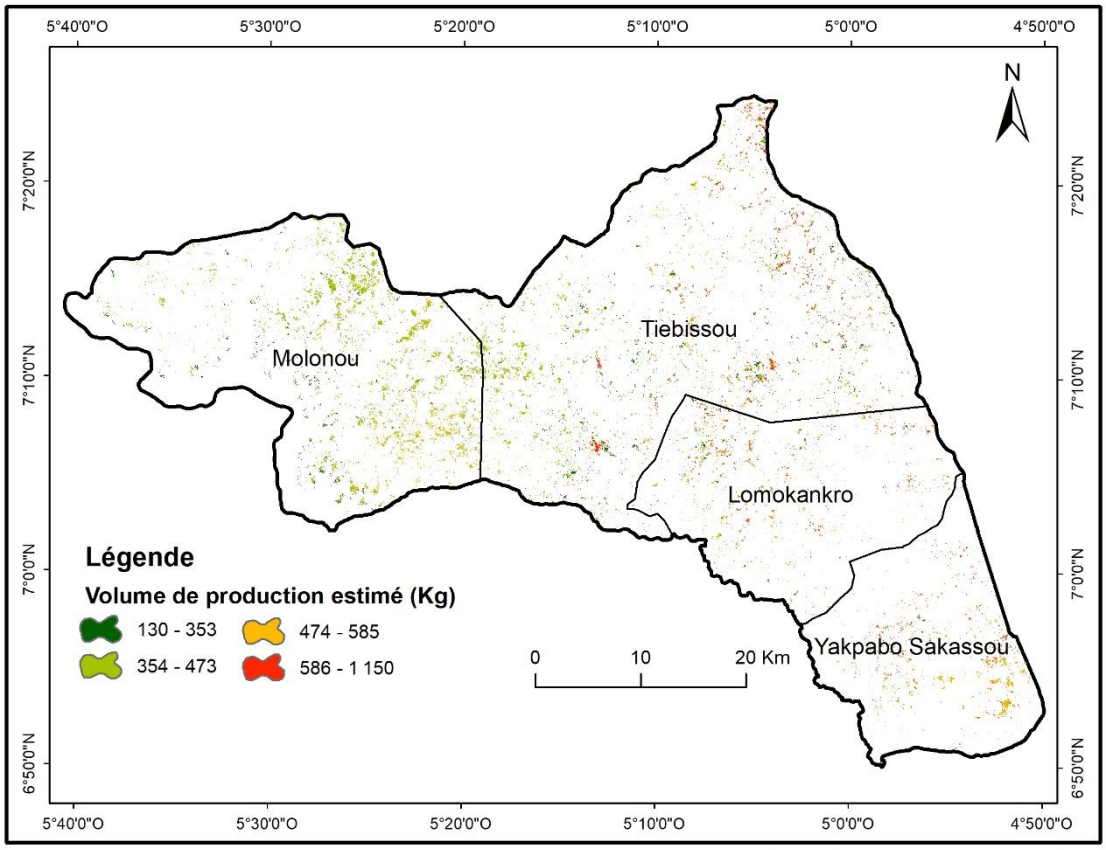
III. Résultats

Les résultats issus de l'estimation du volume de production de noix de cajou se présentent sous forme de carte et de tableau.

3.1 Un volume de production inégalement réparti

Les volumes de production de la noix de cajou à l'échelle du département sont compris entre 130 et 1150 Kg comme observés sur la carte 2.

Carte 2 : Répartition des volumes de production de noix de cajou



Source : Résultat après traitement *Réalisation : ASSI Kopeh, juillet 2026*

A l'analyse de la carte, on constate une hétérogénéité des volumes de production dans les espaces de production. Le plus faible volume de production est de 130 Kg de noix de cajou contre 1150 Kg comme valeur la plus importante. On note des volumes de production en deçà de la moyenne nationale qui est de 540 Kg. Cela typifie les faibles espaces de production de noix de cajou dans le département. En effet, le développement de la noix de cajou est récent du fait du malaise qui mine le secteur café/cacao. Ce qui pose le problème de la maitrise des itinéraires techniques pouvant aboutir à des vastes projets d'envergure. La faiblesse des volumes de production peut découler de la petitesse des superficies emblavées en faveur de cette culture. En effet, dans le contexte de raréfaction des terres agricoles qui sévit dans les espaces ruraux ivoiriens, l'anacardier entre de facto en compétition avec d'autres cultures de rente. Son expansion dépend ainsi de certains facteurs tel son prix d'achat, les crises répétitives que subissent les autres cultures de rente, les effets pervers du changement climatique entre autres. La conjugaison de ces facteurs ont permis à certains producteurs d'utiliser l'anacardier comme culture de substitut idéal.

3.2 Un potentiel de production non négligeable mais faible dans l'ensemble

Les statistiques portant sur le potentiel de production de la noix de cajou dans le département font état d'un potentiel non négligeable comme le traduit le tableau ci-après.

Tableau 2 : Bilan récapitulatif du potentiel de production

Volume (Kg)	Superficie (Ha)
130 - 353	1000,89
354 - 473	3448,98
474 - 585	1779,48
586 - 1 150	1480,86
Total	7710,21

Source : Résultats après traitement statistique, 2026

Le tableau met en évidence l'importance des superficies emblavées en faveur de la production de la noix de cajou dans le département. En effet, 7710,21 hectares sont alloués à cette activité. Cela dénote de l'importance que les populations accordent à cette culture qui depuis un certain moment se présente comme un remède au malaise du binôme café/cacao. Les parcelles dont les volumes de production sont compris entre 354 à 473 Kg sont les plus importants dans le département. On note peu de parcelles dont les volumes de production sont compris entre 130 et 353 Kg. D'une manière générale, le rendement moyen national est de 540 Kg. De cette base référentielle, on en déduit qu'environ ¾ des espaces de production ne permettent pas d'atteindre le rendement moyen national. Plusieurs paramètres peuvent expliquer cette situation en l'occurrence l'absence de ligne de crédit, la non maîtrise de l'itinéraire technique, la petitesse des superficies emblavées, le niveau d'engouement des acteurs. L'anacardier peut paraître comme une simple culture marginale répondant à un malaise agricole qui touche les principales cultures de rente telles que le café, le cacao. Prises individuellement, les parcelles sont dans la majorité des cas de petite taille. Cependant, les volumes de production par sous-préfecture relativement importants comme le démontre le tableau ci-après.

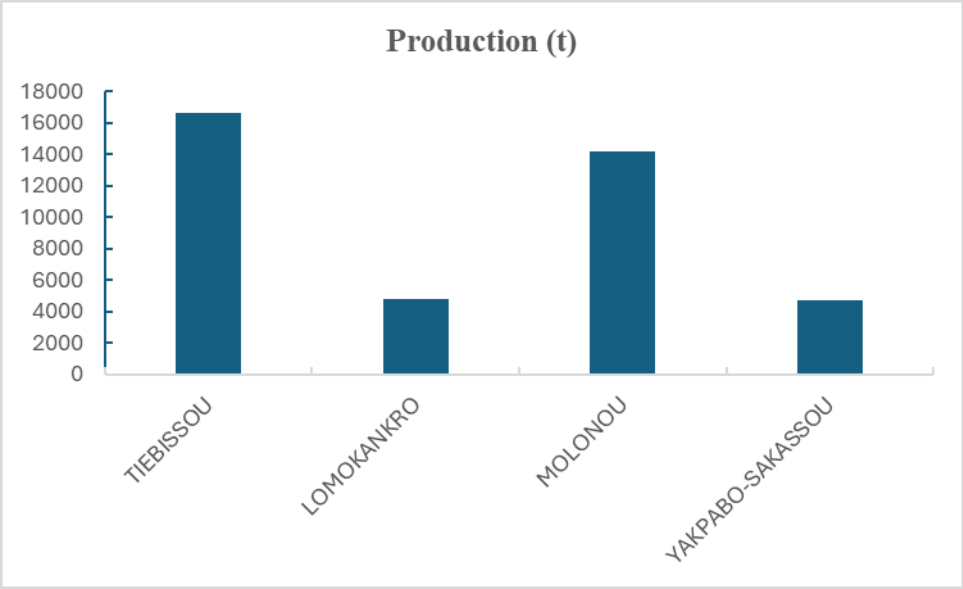
Tableau 3: Bilan récapitulatif par sous-préfecture

Sous-préfecture	**Superficie (Ha)**	**Production (t)**	**%**
TIEBISSOU	3118,59	16653,90	**41,30**
LOMOKANKRO	808,65	4791,57	**11,88**
MOLONOU	3028,68	14185,71	**35,18**
YAKPABO-SAKASSOU	754,29	4694,49	**11,64**
TOTAL	**7710,21**	**40325,67**	**100**

Source : Résultats après traitement statistique, 2026

Au regard du tableau, le département de Tiébissou fourni 40325,67 tonnes de noix, ce qui représente 2,69% du volume national. Dans l'ensemble c'est une production relativement faible mais non négligeable. La principale zone de production est la sous-préfecture de Tiébissou qui fourni 41,30% du volume départemental (16653,9 tonnes). La sous-préfecture de Yakpabo-Sakassou enregistre le faible taux de production (11,64% soit 4694,49 tonnes). Ces performances sont mises en évidence sur la figure ci-après.

Figure 1 : Répartition des volumes de production par sous-préfecture



Source : Résultats après traitement statistique, 2026

Les principales zones de production de la noix de cajou dans le département sont les sous-préfectures de Tiébissou et Molonou contrairement aux sous-préfectures de Lomokankro et Yakpabo-Sakassou qui demeurent

des zones de faible production. Les faibles volumes de production observés dans ces sous-préfectures suscitées trouvent leur explication dans la faiblesse des superficies emblavées en faveur de la noix de cajou dans ces localités. En effet, Dans une approche corrélative entre les volumes de production et les superficies emblavées, il ressort que le coefficient de détermination de Bravais-Pearson est de 0,98. Ce qui dénote une forte corrélation positive entre la superficie et le volume de production. En d'autres termes, le volume de production est fortement corrélé à la superficie. Ainsi, l'importance des superficies dans les sous-préfectures de Tiébissou et Molonou entraînent inéluctablement des volumes importants de production de noix de cajou. Cette situation typifie le système extensif encore en vogue dans les espaces ruraux ivoiriens.

IV. Discussion

Les résultats obtenus mettent en évidence une forte hétérogénéité spatiale des volumes de production de la noix de cajou dans le département de Tiébissou. Cette variabilité traduit l'influence conjointe des caractéristiques biophysiques du milieu, des pratiques culturales et des dynamiques d'occupation des terres. L'utilisation du NDVI, combinée aux données d'occupation du sol, a permis de mettre en évidence cette différenciation spatiale des potentiels productifs. Ces observations rejoignent les conclusions de J. R. Jensen (2016, p. 381), selon lesquelles les indices de végétation constituent des indicateurs fiables de la vigueur des peuplements végétaux et présentent une forte capacité à expliquer les variations spatiales de la biomasse et des rendements agricoles. De même, T. M. Lillesand, R. W. Kiefer et J. W. Chipman (2015, p. 668) montrent que les réponses spectrales enregistrées par les capteurs satellitaires traduisent les différences de densité foliaire, de couverture végétale et d'état physiologique des cultures, paramètres directement liés à leur potentiel de production.

Les faibles volumes de production observés dans une grande partie du département traduisent un niveau de productivité encore modeste des vergers d'anacardier. Cette situation peut être attribuée à plusieurs facteurs, notamment le caractère relativement récent de l'expansion de cette culture dans certaines localités, la faiblesse des investissements agricoles, la qualité variable du matériel végétal, ainsi que la maîtrise encore insuffisante des itinéraires techniques. Ces résultats corroborent les analyses de M. Wessel et P. F. Quist-Wessel (2015, p. 4), qui soulignent que les faibles rendements des vergers d'anacardier en Afrique de l'Ouest demeurent principalement liés au vieillissement des plantations, à l'utilisation limitée de matériel végétal amélioré, aux faibles niveaux de fertilisation et à des pratiques culturales encore extensives.

La forte corrélation observée entre les superficies cultivées et les volumes de production ($R^2 = 0,98$) met en évidence la prédominance d'un modèle de croissance fondé davantage sur l'extension des superficies que sur l'amélioration de la productivité à l'hectare. Une telle relation caractérise les systèmes agricoles extensifs qui dominent encore une grande partie des espaces ruraux ivoiriens. Les travaux de B. Losch (2002, p. 79) montrent en effet que les économies agricoles ivoiriennes se sont historiquement développées selon une logique d'expansion foncière, où l'augmentation de la production repose principalement sur la conquête de nouvelles terres plutôt que sur l'intensification des systèmes de culture. Cette dynamique demeure particulièrement observable dans les nouvelles zones de développement de l'anacarde.

L'importance des superficies consacrées aux plantations dans les sous-préfectures de Tiébissou et de Molonou explique les niveaux de production relativement plus élevés enregistrés dans ces espaces. Cette organisation spatiale confirme que la disponibilité du foncier agricole demeure un facteur déterminant dans la structuration des bassins de production. Selon F. Ruf (1995, p. 47), les cultures pérennes de rente en Côte d'Ivoire se développent généralement suivant une logique de fronts pionniers agricoles, où les producteurs privilégient l'ouverture de nouvelles superficies agricoles lorsque les conditions foncières le permettent. Bien que cette stratégie favorise une augmentation rapide des volumes produits, elle soulève également des préoccupations relatives à la durabilité des systèmes de production et à la préservation des ressources naturelles.

Au-delà des résultats agronomiques, cette étude confirme également la pertinence de l'association entre la télédétection et les Systèmes d'Information Géographique pour l'estimation spatialisée des productions agricoles. Les images Landsat 9, associées au calcul du NDVI et aux données d'occupation du sol, permettent de produire des estimations continues à l'échelle du territoire tout en réduisant les contraintes liées aux enquêtes conventionnelles. Ces observations rejoignent celles de M. Drusch et al. (2012, p. 34), qui soulignent que les données satellitaires offrent des possibilités inédites pour le suivi opérationnel des cultures grâce à leur résolution spatiale, leur fréquence d'acquisition et leur disponibilité gratuite. Elles confirment également les travaux de L. Breiman (2001, p. 18), selon lesquels les méthodes d'apprentissage automatique, notamment l'algorithme Random Forest, améliorent significativement la précision des classifications d'occupation du sol servant de base aux analyses spatiales.

Toutefois, l'approche méthodologique adoptée présente certaines limites qui méritent d'être soulignées. D'une part, le NDVI, bien qu'il soit largement utilisé pour le suivi de la végétation, tend à atteindre un phénomène de saturation dans les couverts végétaux denses, ce qui peut réduire sa sensibilité aux variations de biomasse dans les plantations adultes. D'autre part, les estimations produites reposent sur un modèle exponentiel

calibré à partir de rendements moyens, sans prise en compte de certains facteurs agronomiques tels que l'âge des plantations, les variétés cultivées, les pratiques d'entretien ou les conditions édapho-climatiques locales. Comme le rappellent J. R. Jensen (2016, p. 399) et T. M. Lillesand, R. W. Kiefer et J. W. Chipman (2015, p. 703), la précision des modèles de prédiction des rendements agricoles s'améliore considérablement lorsqu'ils intègrent simultanément des variables biophysiques, climatiques et socio-économiques.

En définitive, cette étude démontre que l'intégration des données de télédétection, des techniques de classification supervisée et des outils SIG constitue une approche robuste pour l'estimation spatiale des volumes de production de la noix de cajou. Elle met en évidence le potentiel des technologies géospatiales comme outils d'aide à la décision pour les politiques agricoles, le suivi des filières de rente et la planification territoriale. Les perspectives de recherche devraient désormais s'orienter vers le développement de modèles prédictifs intégrant des images satellitaires à plus haute résolution spatiale, des données climatiques, des observations de terrain et des techniques avancées d'intelligence artificielle afin d'améliorer encore la précision des estimations de production.

Conclusion

La présente étude s'est intéressée à l'estimation spatialisée des volumes de production de la noix de cajou dans le département de Tiébissou à partir des outils de la télédétection et des Systèmes d'Information Géographique. Elle avait pour objectif de démontrer la capacité des données satellitaires à fournir des estimations fiables et spatialement explicites des potentiels productifs. L'approche méthodologique retenue, fondée sur l'exploitation des images Landsat 9, du Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), des données d'occupation du sol et des outils de traitement géospatial, a permis de développer un modèle exponentiel d'estimation des volumes de production appliqué à l'ensemble des plantations d'anacardier du département. Les résultats obtenus mettent en évidence une forte variabilité spatiale des rendements, avec des volumes de production compris entre 130 et 1 150 kg selon les espaces de production. Ils révèlent également que le département de Tiébissou dispose d'un potentiel productif estimé à 40 325,67 tonnes réparties sur une superficie de 7 710,21 hectares, les sous-préfectures de Tiébissou et de Molonou concentrant à elles seules plus des trois quarts de la production départementale. Au-delà des résultats obtenus, cette recherche confirme l'intérêt des technologies géospatiales comme outils d'aide à la décision pour le suivi des cultures pérennes, la planification territoriale et l'élaboration des politiques agricoles. Elle démontre que la télédétection et les SIG constituent des instruments pertinents pour appréhender les dynamiques agricoles contemporaines et contribuer à une meilleure connaissance des territoires ruraux. Toutefois, certaines limites méthodologiques méritent d'être soulignées. L'utilisation exclusive du NDVI ne permet pas de prendre en compte l'ensemble des facteurs susceptibles d'influencer les rendements, notamment l'âge des plantations, les caractéristiques édapho-climatiques, les pratiques culturales ou encore les variétés cultivées. En outre, l'absence de données de terrain destinées à la validation statistique du modèle constitue une contrainte susceptible d'affecter la précision des estimations produites.

Les perspectives de recherche devraient ainsi s'orienter vers le développement de modèles prédictifs intégrant des images satellitaires à plus haute résolution, des données climatiques et pédologiques, des observations in situ ainsi que des techniques avancées d'intelligence artificielle. Une telle approche permettrait d'améliorer la robustesse des estimations et de renforcer la contribution des technologies géospatiales au pilotage des politiques de développement agricole en Côte d'Ivoire.

Bibliographie

[1]. Biémi Jean, (2017). Apport de la géomatique dans la caractérisation et le suivi des systèmes de culture pérenne en zone de transition forestière. *Revue de Géographie de l'Université de Cocody*, 21(1), pp 75-94.

[2]. Breiman Leo, (2001). *Random Forests*. *Machine Learning*, 45(1), pp 5-32.

[3]. Brou Jean Marc-Konan, (2021). Modélisation spatiale des rendements agricoles par les Systèmes d'Information Géographique : Enjeux méthodologiques pour l'aide à la décision en milieu rural ivoirien. *Cahiers d'Outre-Mer / Revue de Géographie de Bordeaux*, 72(3), pp 25-48.

[4]. Brou Kouamé, (2018). La filière anacarde en Côte d'Ivoire : dynamiques de production, enjeux économiques et perspectives de valorisation locale. *Économie Rurale*, 364(2), pp 39-56.

[5]. Drusch Matthias, Del Bello, Umberto, Carlier, Stéphane, Colin, Olivier, Fernandez, Veronica, Gascon, Ferran, Hoersch, Ben, Isola, Claudio, Laberinti, Paolo, Martimort, Philippe, Meygret, Alain, Spoto, Filiberto, Sy, Olivier, Marchese, Fabio, & Bargellini, Paolo (2012) « Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services » in *Remote Sensing of Environment*, 120, pp 25-36.

[6]. Jensen John Richard, (2016), *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective* (4th ed.). Harlow: Pearson, 620 p.

[7]. Kouadio Yao Thierry, (2019), « Dynamiques spatiales et fronts pionniers agricoles dans le centre de la Côte d'Ivoire : le cas de l'extension des cultures de rente » in *Revue Internationale de Géomatique*, 29(1), pp 65-88.

[8]. Lillesand Thomas M., Kiefer Ralph W., et Chipman Jonathan W. (2015). *Remote Sensing and Image Interpretation* (7th ed.). Hoboken: John Wiley & Sons, 736 p.

[9]. Losch Bruno (2002), « La rupture ivoirienne ou l'avènement d'une ruralité désenchantée » in *Revue Tiers Monde*, 43(169), pp 67-90.

[10]. N'Guessan Alain Kouakou, (2020), « Territoires ruraux et chaînes de valeur agricoles en Afrique de l'Ouest : l'impact socio-économique de la culture de l'anacarde sur les ménages producteurs » in *Vertigo, la revue électronique en sciences de l'environnement*, 20(1), pp 105-128.
[11]. Ruf François (1995), *Bois, cacao et replantation : les fonds pionniers du Sud-Ouest ivoirien*. Montpellier : CIRAD, 296 p.
[12]. Wessel Michiel et Quist-Wessel Paul François, (2015). « Cocoa production in West Africa, a review and analysis of recent developments » in *NJAS – Wageningen Journal of Life Sciences*, 74-75, pp 1-7.