

Changement Contemporain de l'occupation du Sol dans le Bassin Versant de Tiendaga, Kolondiéba, Mali

Contemporary Land Use Change in the Tiendaga Watershed, Kolondieba, Mali

Bouramadiè Coulibaly*, Souleymane Sidi Traore

Université des Sciences Sociales et de Gestion de Bamako

*Auteur correspondant : bouramadiécoul48@gmail.com

ORCID des auteurs

Bouramadiè COULIBALY <https://orcid.org/0009-0001-9947-2977>, (bouramadiécoul48@gmail.com) Souleymane Sidi TRAORE <https://orcid.org/0000-0002-8373-7205> (sstraore@yahoo.fr)

Comment citer l'article :
Coulibaly, B., & Traore, S. S. (2026). Changement Contemporain de l'occupation du Sol dans le Bassin Versant de Tiendaga, Kolondiéba, Mali. *Revue Ecosystèmes Et Paysages*, 6(1). <https://doi.org/10.59384/rev.ecosyst.paysages.v6i1.196>

Reçut : 5 février 2026

Accepté : 26 juin 2026

Publié : 30 juin 2026



Copyright: Published under a Creative Commons Attribution (CC-BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Résumé

La détection des changements de l'occupation du sol du bassin versant de Tiendaga constitue un enjeu majeur pour comprendre sa dynamique environnementale, socio-économique et hydrologique. La présente recherche vise à dresser un état des lieux des changements contemporains de l'occupation du sol dans le bassin, en s'appuyant sur des données d'images Landsat 5 TM (1990 et 2010), 7 ETM+(2000) et 8 OLI (2024), provenant de deux scènes (198-052 et 198-053) couvrant le territoire du bassin. La méthodologie adoptée repose sur la classification supervisée avec l'algorithme support vector machine (SVM), choisi pour sa capacité à classifier efficacement des données complexes et de haute dimension. Le traitement des données a été réalisé sous le logiciel QGIS, utilisant l'extension SCP. Les données sociodémographiques ont été collectées auprès de 255 chefs de ménage. Les résultats de la classification ont montré une bonne qualité, avec des précisions globales de 92,37% (1990) ; 97,76% (2000) ; 89,75% (2010) et 88,79% (2024). Le changement le plus marqué concerne la régression de la savane arborée qui a perdu 78 769 ha, passant de 185 05 ha en 1990 à 106 436 ha en 2024, avec un taux de régression annuel de 1,63%. Cette dynamique a également affecté la savane arbustive, qui a perdu plus de 9 917 ha entre 1990 et 2024, avec un taux de réduction annuel de 1,37%. La forêt galerie, quant à elle, a enregistré une diminution de sa superficie de 5 646 ha durant la même période, correspondant à un taux moyen annuel de variation de -0,75%. Au total, une perte de 94 385 ha a été observée dans l'ensemble des formations végétales, traduisant une dégradation significative de la couverture végétale. Parallèlement, la zone agricole a connu une forte expansion, passant de 37 600 ha en 1990 à 134 124 ha en 2024, avec un taux moyen annuel d'évolution de 3,74%. Les analyses sociodémographiques révèlent une perception marquée de la diminution et de la dégradation de la végétation (91,37% des répondants), suivie de 68,63% des zones de pâturage et 43,14% des plans d'eau. Par ailleurs, 82,35% des enquêtés perçoivent une augmentation des surfaces agricoles, tandis que 80,78% constatent une extension des zones bâties. Ainsi, la population propose des stratégies d'adaptation telles que le

reboisement périodique (75%), la mise en place de brigades de surveillance (67%), le respect des codes forestiers (58%) et la multiplication des campagnes de sensibilisation (47%). Elle souligne également la nécessité de protéger et restaurer les formations végétales afin de freiner leur dégradation. À la lumière des résultats obtenus, il apparaît essentiel d'intégrer ces informations scientifiques dans la prise de décision politique afin de garantir une gestion durable des ressources du bassin versant de Tiendaga.

Mots-clés : Bassin versant de Tiendaga, changement contemporain, occupation et utilisation du sol, techniques géospatiales, Kolondieba, Mali.

Abstract

Land use and land cover change detection in the Tiendaga watershed represents a major challenge for understanding its environmental, socio-economic, and hydrological dynamics. This study aims to assess the contemporary land use changes in the watershed, relying on Landsat TM 5 (1990 and 2010), 7 ETM+ (2000), and 8 OLI (2024) data from two scenes (198-052 and 198-053), covering the watershed area. The methodology adopted is based on supervised classification using the Support Vector Machine (SVM) algorithm, selected for its ability to efficiently classify complex, high-dimensional data. Data processing was performed using QGIQ, with the SCP (Semi-Automatic Classification Plugin) extension. Socio-demographic data were collected from 255 heads of household. The classification results demonstrated good quality, with overall statistical accuracies of 92.37% (1990), 97.76% (2000), 89.75% (2010), and 88.79% (2024). The most significant change concerns the regression of wooded savannas, which lost 78,769 hectares, decreasing from 185,205 hectares in 1990 to 106,436 hectares in 2024, with an annual reduction rate of 1.63%. This reduction also affected shrub savannas, which lost more than 9,917 hectares between 1990 and 2024, with an annual reduction rate of 1.37%. Gallery forests, on the other hand, recorded a decrease in area of 5,646 hectares during the same period, corresponding to an average annual variation rate of -0.75%. In total, a loss of 94,385 hectares was observed across all vegetation formations, reflecting significant degradation of the vegetation cover. In contrast, agricultural areas experienced significant expansion, increasing from 37 600 hectares in 1990 to 134,124 hectares in 2024, with an average annual growth rate of 3.74%. Socio-demographic analyses revealed a marked perception of vegetation loss and degradation (91.37% of the respondents), followed by 68.63% for grazing areas and 43.14% for water bodies. Furthermore, 82.35% of respondents perceived an increase in agricultural areas, while 80.78% noted the expansion of built-up areas. Consequently, the population proposed adaptation strategies such as periodic reforestation (75%), the establishment of surveillance brigades (67%), adherence to forest codes (58%), and increased awareness campaigns (47%). This also emphasized the need to protect and restore vegetation formations to halt their degradation. In light of the results obtained, it is crucial to integrate this scientific information into political decision-making to ensure sustainable resource management in the Tiendaga watershed.

Keywords: Tiendaga Watershed, Contemporary change, land use and land cover, geospatial techniques.

1. Introduction

L'analyse des changements de l'occupation du sol constitue un enjeu central pour la compréhension des dynamiques environnementales, socio-économiques et hydrologiques contemporaines dans un bassin versant (Sidibé et al. 2024). Les transformations de l'occupation du sol ont des implications directes sur les ressources naturelles, les écosystèmes et les conditions de vie des populations (Dao et al. 2010). De plus, ces transformations influencent la gestion des ressources naturelles (Dembele et al. 2025). Au Mali, les ressources naturelles jouent un rôle vital pour la survie des populations, car plus de 90% de leurs activités en dépendent (Doso Jnr, 2014). De plus, elles sont essentielles pour la préservation de la biodiversité (Toure et al. 2017). Les pratiques agricoles, pastorales et de pêche dépendent

directement de l'exploitation des ressources naturelles, telles que l'eau, la terre et la végétation (Yusifova et al. 2022). Cette exploitation est accentuée dans les forêts galeries, les savanes et les bas-fonds le long des cours d'eau, qui sont des éléments vitaux pour la conservation de la biodiversité (Soro et al. 2014).

Le bassin versant de Tiendaga, situé dans le cercle de Kolondiéba, au Mali, a connu une transformation rapide de son paysage au cours de ces dernières décennies. Cette dynamique résulte de plusieurs facteurs, tels que l'augmentation démographique, l'expansion des pratiques agricoles et les dynamiques socioéconomiques, exacerbées par les variations climatiques (Traoré, 2016). L'intensification de l'agriculture et la hausse des besoins en terres pour les cultures de rente augmentent la pression sur les ressources naturelles (Yusifova et al. 2022). Ces changements plongent le bassin versant dans des défis environnementaux majeurs, notamment la déforestation, l'érosion des berges et la perte de biodiversité. En outre, les variations climatiques et les épisodes de sécheresse fréquents aggravent ces phénomènes et accentuent la vulnérabilité des écosystèmes (Lakew et al. 2024). L'agriculture demeure l'une des principales activités économiques dans le bassin versant, avec une population qui dépend largement de l'exploitation des terres pour ses besoins alimentaires et économiques (Doso Jnr, 2014). Cependant, la dépendance de l'agriculture vis-à-vis des précipitations, dont la variabilité annuelle constitue un facteur d'incertitude, impacte directement la sécurité alimentaire et les revenus des ménages (Lakew et al. 2024). Par ailleurs, les pratiques agricoles intensives, telles que l'utilisation excessive d'engrais et de pesticides, entraînent la dégradation des sols et la contamination des cours d'eau (Abdi et al. 2013). Elles nuisent également à la capacité de régénération de la végétation et détruisent les habitats naturels, menaçant ainsi gravement la biodiversité (Toure et al. 2017). D'autant plus que les forêts galeries, les savanes et les zones humides jouent un rôle essentiel dans le maintien de la biodiversité et la régulation des écosystèmes, un atout précieux pour les communautés locales (Traore, 2016). La présente étude vise à analyser les tendances récentes de l'occupation du sol dans le bassin versant de Tiendaga, en s'appuyant sur des données géospatiales récentes et des observations de terrain. Ces informations sont essentielles pour une planification territoriale efficace, permettant d'élaborer des politiques de gestion des ressources naturelles adaptées aux besoins croissants de la population tout en minimisant les impacts environnementaux.

2. Matériel et Méthodes

2.1. Présentation du bassin versant de Tiendaga

Le bassin versant de Tiendaga (Figure 1) est un sous-bassin versant du fleuve Niger au Mali, drainé par la rivière Banifing. Il est situé entre les longitudes 7°34'00" W et 6°84'00"W, et les latitudes 10°15'00"N et 11°08'00"N. Ce bassin versant est le seul à irriguer plusieurs communes et villages dans le cercle de Kolondiéba, avec une superficie de 2 949,23 km². Son climat est de type sud-soudanien, caractérisé par l'alternance d'une saison sèche de novembre à mai, dominée par des vents secs, et d'une saison des pluies de juin à octobre. La pluviométrie annuelle du bassin varie entre 1 100 et 1 300 mm. La température moyenne annuelle oscille autour de 38 °C en avril et mai, et de 24 °C entre décembre et janvier. Les fortes pluies contribuent à la dégradation des berges des cours d'eau et de la végétation, un phénomène croissant dans le bassin. L'agriculture est l'une des principales activités économiques des populations riveraines depuis de nombreuses années, occupant plus de 90% de la population active. Les cultures vivrières, telles que le maïs, le sorgho, le mil et le riz, sont essentielles pour la sécurité alimentaire des ménages. Le coton et l'anacarde, quant à eux, sont des cultures de rente et jouent un rôle important dans l'économie locale. Les activités agricoles sont fortement dépendantes des précipitations, qui sont variables et peuvent entraîner des périodes de sécheresse ou d'inondations, représentant ainsi un défi majeur pour l'agriculture locale. A cela s'ajoute l'utilisation excessive d'engrais et de pesticides, qui pose des problèmes environnementaux. Le bassin compte 65 villages répartis entre neuf communes dans les cercles de Bougouni et de Kolondiéba, avec une population d'environ 238 233 en 2020 (DNP, 2020).

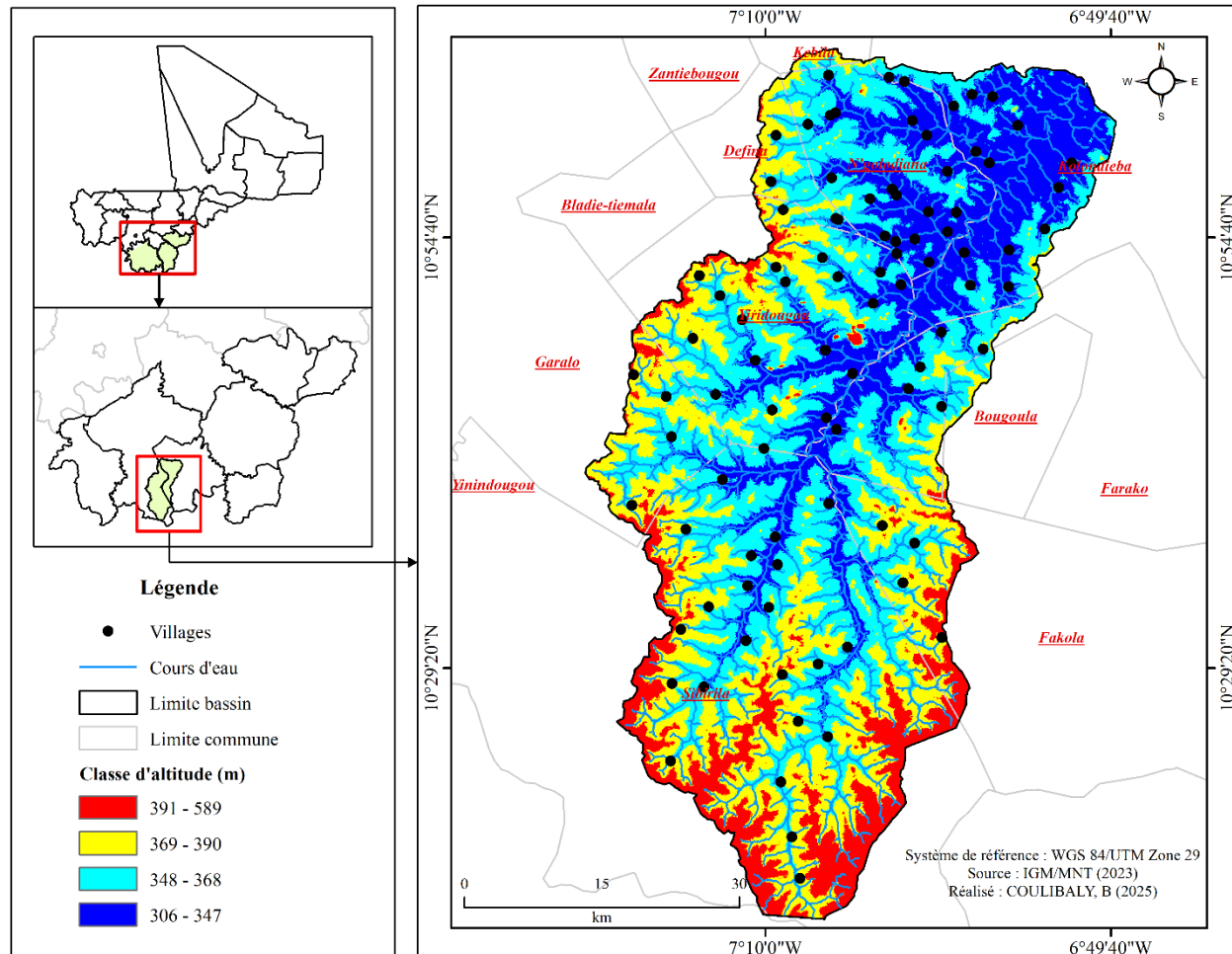


Figure 1. Carte de localisation du bassin versant de Tiendaga

2.2. Données satellitaires utilisées

Les images satellitaires Landsat utilisées pour cette étude ont été collectées via le site web de United States Geological Survey (<https://glovis.usgs.gov/>). Ces images proviennent de la collection 2, niveau 2 de Landsat, à savoir : TM 5 (1990 et 2010), 7 ETM+ (2000), et 8 OLI/TIRS (2024). Elles fournissent des informations spatiales détaillées sur la surface terrestre, permettant une analyse précise des modifications dans le temps (Digvesh et al. 2024). De plus, ces images permettent une caractérisation fine des objets à travers une large gamme spectrale et sont disponibles gratuitement avec une résolution spatiale de 30 mètres (Magassa, 2024). Elles ont permis de caractériser les changements contemporains de l'occupation du sol dans le bassin versant de Tiendaga. Le Tableau 1 présente les caractéristiques des images utilisées.

Tableau 1. Caractéristiques des données Landsat utilisées

Capteur	Taille du pixel (m)	Scène (Path/Row)		Date d'acquisition
Landsat 5 TM	30	198-52	198-53	28/10/1990
				25/11/2010
Landsat 7 ETM+	30	198-52	198-53	4/10/2000
Landsat 8 OLI/TIRS	30	198-52	198-53	20/11/2024

Source : <https://glovis.usgs.gov>

2.3. Technique de collecte de données socioéconomiques

La présente étude a porté sur 65 villages répartis entre neuf communes. Compte tenu des moyens disponibles et du temps imparti, un échantillonnage stratifié par quota a été appliqué. A cet effet, les données du recensement général de la population et de l'habitat de 2009 du Mali ont été utilisées. Selon ces données, le nombre total de ménages dans les villages du bassin versant s'élevait à 7 468. Sans une autre base de données disponible, une majoration de 2% a été appliquée, portant le nombre de ménages à 7 617. Ce nombre a été réparti en deux catégories : les villages comptant moins de 100 ménages et ceux comptant 100 ménages et plus. Au total, 32 villages ont été sélectionnés dans la première catégorie et 33 villages dans la seconde. Un choix raisonné a été effectué afin de sélectionner quatre villages dans chaque catégorie au sein desquels les enquêtes ont été menées auprès des ménages. Ensuite, la formule utilisée par Patrick et al. (2024) a été appliquée pour déterminer la taille des échantillons de ménages à enquêter par village. Cette formule se présente comme suit :

$$n = t^2 \frac{p(1-p)}{e^2} \quad (1)$$

Avec n = taille de l'échantillon, e = marge d'erreur à 5% ($e = 0,05$), t = coefficient de marge déduit du taux de confiance à 95% ($t = 1,96$) ; p = la prévalence estimative de ménage dans chaque strate (0,6). Une correction a été appliquée pour déterminer le nombre de ménages à enquêter par village en utilisant l'équation suivante :

$$n_{cor} = \frac{P_m \times n}{T_m} \quad (2)$$

Où n_{cor} : taille de l'échantillon corrigé ; P_m : population mère de chaque village ; n : taille de l'échantillon et T_m : nombre total de ménages. Le tableau ci-dessous consigne la répartition de la taille de l'échantillon par village.

Tableau 2. Récapitulatif du nombre de ménages enquêtés par village

Commune	Villages retenus	Population	Effectifs des ménages	Majoration de 2%	Taille de l'échantillon de ménage/village	Taux de réalisation des enquêtes (%)
Farako	Fangouan	626	97	99	25	100
	Gourouko	2 015	256	261	81	106
	N'godiarala	763	101	103	31	100
Kolondiéba	Tiendaga	591	106	108	24	113
N'golodiana	Bladieni	372	43	44	15	107
	Sokolo	404	53	54	16	100
	Zan	772	105	107	31	98
Yiridougou	Mafele	604	96	98	24	100
Total		5 775	814	830	247	-

- Enquête de terrain

La collecte des informations socioéconomiques au niveau des ménages a été réalisée à l'aide d'un questionnaire intégré dans l'application KoboCollect, accessible via un serveur. Le critère de sélection des répondants au sein de chaque ménage reposait sur plusieurs facteurs : l'âge, l'expérience et/ou l'ancienneté du chef de ménage. Le répondant, qu'il soit le chef de ménage ou son représentant, devait impérativement avoir au minimum 20 ans et exercer une activité liée à l'agriculture, l'élevage, la pêche ou l'exploitation des ressources naturelles. Cette approche multidimensionnelle a permis de recueillir un large éventail d'informations socioéconomiques pertinentes, en tenant compte des spécificités propres à chaque groupe d'âge, tout en garantissant la fiabilité des données. Les informations collectées ont porté sur les changements contemporains de l'occupation du sol, les causes de ces changements, la pression sur les terres agricoles, l'état de dégradation environnementale et les stratégies liées à cette dégradation.

2.4. Traitement et analyse des données

2.4.1. Analyse des images satellitaires

L'approche de comparaison de la classification des images satellitaires a été adoptée en s'appuyant sur les travaux de plusieurs auteurs tels que Digvesh et al. (2024), Hubert et al. (2024), Konkobo et al. (2023), Kakani et al. (2023), et Tanina et al. (2022), afin de caractériser les modes d'utilisation des terres et les changements survenus dans le bassin

versant de Tiendaga. Cette méthode repose sur le traitement des images à différentes dates et la détermination des taux d'évolution annuels.

- *Compositions colorées*

Dans le cadre de la présente étude, deux types de compositions colorées ont été employés : les vraies couleurs et les fausses couleurs. Ces compositions ont été testées dans le but d'obtenir avec précision les différentes classes pertinentes. Une image en composition à vraie couleur est caractérisée par le fait que les objets y apparaissent dans les mêmes teintes que celles qu'ils présentent dans la réalité, contrairement à une composition en fausses couleurs, où les couleurs des objets sont artificiellement modifiées (Tanina et al. 2022). Par la suite, la composition colorée de 4-3-2 a été utilisée pour les images TM (1990 et 2010) ainsi que pour l'image ETM+ (2000), tandis que la composition 5-4-3 a été utilisée pour l'image OLI/TIRS (2024).

- *Classification des images*

Deux méthodes de traitement d'images ont été utilisées : la classification numérique et l'interprétation visuelle. La classification numérique permet de regrouper les pixels homogènes en différentes classes ; chaque classe est identifiée par un code ou une couleur. Ce procédé repose sur l'analyse statistique, ainsi que sur les caractéristiques spatiales et spectrales des pixels. Le traitement des données a été effectué avec le logiciel QGIS, utilisant l'extension Classification Semi-Automatique (SCP). L'objectif était de convertir les mesures radiométriques en classes ayant une signification thématique. La classification supervisée a été choisie en raison de la connaissance préalable de la zone d'étude et de la disponibilité des données d'entraînement et de référence. De plus, l'algorithme Support Vector Machine (SVM) a été utilisé en raison de sa capacité à bien classer des données complexes et à haute dimension (Hubert et al. 2024 ; Konkobo et al. 2023 ; Kakani et al. 2023 ; Bodjrenou et al. 2023 ; Tanina et al. 2022 ; Zakariae et al. 2021 ; Yameogo et al. 2020). Cet algorithme détermine, par analyse multidimensionnelle des probabilités, l'appartenance d'un pixel à l'une des classes basées sur les signatures spectrales (GSARS, 2017). Afin de garantir une distinction claire entre les classes, dix (10) échantillons d'apprentissage ont été utilisés pour chaque classe. Les classes d'occupation du sol identifiées sont : forêt-galerie, savane arborée, savane arbustive, plan d'eau, sol nu et zone agricole. La nomenclature utilisée pour ces classes provient de l'OSS (2013), qui s'appuie sur la classification de Yangambi validée par les acteurs nationaux.

- *Processus de validation des images*

L'évaluation de la validation des images a été réalisée à l'aide des matrices de confusion et de la vérité terrain (Sidibé et al. 2024). La première approche a consisté en un calcul statistique des images classifiées et en l'évaluation de la précision des classifications effectuées par l'algorithme. La seconde méthode a nécessité une sortie de terrain afin de valider les images classifiées (Dembélé, 2019). Cette partie a consisté à sélectionner un échantillon de dix points par classe d'occupation et d'utilisation du sol, soit un total de 60 points répartis sur l'image la plus récente (2024), considérée comme image de référence. Ces points ont été utilisés pour calculer leurs coordonnées géographiques, qui ont été intégrées dans un GPS (Garmin 60) afin de valider les résultats sur le terrain. Les corrections nécessaires ont été effectuées sur le logiciel QGIS après cette phrase de validation avant la production finale des cartes.

- *Précision de la classification des images classifiées*

La matrice de confusion est une méthode permettant d'évaluer la validité d'une classification supervisée. Elle permet d'analyser la concordance entre un ensemble d'éléments observés et un ensemble d'éléments de référence (Kpedenou et al. 2016). Les éléments observés correspondent aux pixels, tandis que les éléments de référence concernent les échantillons de vérification. Les images classifiées ont été validées par la précision globale et le coefficient de Kappa. La précision globale représente le pourcentage d'échantillons correctement classés, tandis que le coefficient de Kappa est un indice statistique utilisé pour évaluer la validité entre les images classifiées.

2.4.2. Analyse des changements contemporains de l'occupation du sol

Elle a consisté à calculer le taux d'évolution moyen annuel de la part de chaque classe d'occupation du sol qui se modifie ou change chaque année. Ce taux a été déterminé sur la base de la superficie des classes d'occupation et d'utilisation du sol, en utilisant la formule de Tanina et al. (2022) et de Kakani et al. (2023) :

$$T = \frac{(\ln S2 - \ln S1)}{t \ln e} \times 100 \quad (3)$$

Où :

S_1 et S_2 : superficies d'une classe d'occupation du sol aux dates t_1 et t_2 respectivement ; t : nombre d'années d'évolution ; $\ln$: logarithme népérien ; e : base du logarithme népérien ($e = 2,71828$).

2.4.3. Analyse de matrice de transition de l'occupation contemporaine du sol

L'analyse des changements représente l'ensemble des variations observées entre les classes d'occupation du sol de deux dates distinctes, exprimées en pourcentage, en hectares et/ou en kilomètres carrés. Dans le cadre de cette étude, un croisement des tables d'attributs des cartes d'occupation du sol des années 1990 ; 2000 ; 2010 et 2024 a été effectué, afin de détecter les évolutions des classes d'occupation et d'utilisation du sol, en particulier les gains, les pertes et les changements. Les variations des classes d'occupation du sol ont été calculées à l'aide de l'équation suivante :

$$C_{classe} = \frac{TF - TD}{TD} \times 100 \quad (4)$$

Où C_{classe} : Changement des classes, TF : Total final et TD : Total initial.

Le gain des différentes classes d'occupation du sol a été déterminé en additionnant les superficies de toutes les classes en colonnes, à l'exception de celle concernée. De même, la perte a été calculée en faisant la somme des superficies de toutes les classes, à l'exception de celle concernée en ligne.

2.4.4. Analyse des données socioéconomiques

Après les enquêtes de terrain, les données collectées ont été extraites du serveur de KoboCollect sous forme de base de données au format Excel. Les informations traitées concernaient la perception des populations sur divers aspects, tels que les changements contemporains, les modifications des formes d'occupation du sol, les causes de ces changements, la pression sur les terres agricoles, l'état de dégradation environnementale et les stratégies liées à cette dégradation.

Une fois les données extraites, elles ont été vérifiées et corrigées pour garantir leur cohérence. L'analyse statistique descriptive a été réalisée avec le logiciel Excel, permettant le calcul des effectifs et des pourcentages. Ensuite, des tableaux et des graphiques ont été générés. Ces éléments ont permis de mieux comprendre les perceptions des populations et les dynamiques liées aux changements de l'occupation contemporaine du sol dans le bassin versant.

3. Résultats

Les résultats du traitement des images Landsat de 1990 ; 2000 ; 2010 et 2024 ont permis d'identifier six classes d'occupation du sol. Il s'agit de la forêt galerie, de la savane arborée, de la savane arbustive, de la zone agricole, des sols nus et du plan d'eau (Figure 2).

3.1. Précision de la classification

Les résultats de la précision globale des images classifiées varient entre 88,79% et 97,76% (Tableau 3). Le coefficient Kappa, quant à lui, varie de 0,86 à 0,97. L'image de 2000 présente la précision globale la plus élevée (97,76%) et un coefficient Kappa de 0,97. En revanche, les images de 2010 et 2024 affichent des précisions globales plus faibles, respectivement de 89,75% et 88,79%, avec des coefficients Kappa de 0,87 et 0,86. Ces valeurs montrent une bonne qualité de classification et fournissent une base solide pour l'analyse des changements dans l'occupation du sol du bassin versant.

Tableau 3. Précision de la classification de l'occupation du sol de 1990 à 2024

Image classifiée	Précision globale	Coefficient de Kappa
TM 1990	92,37%	0,88
ETM+2000	97,76%	0,97
TM 2010	89,75%	0,87
OLI8/9 2024	88,79%	0,86
Vérité terrain	87,29%	0,87

3.2. Occupation contemporaine du sol de 1990 à 2024

L'analyse des changements d'occupation du sol révèle une réduction significative des classes de végétation (savane arborée, savane arbustive, forêt-galerie) au profit des zones artificialisées (zones agricoles, sols nus) (Figure 2). Entre

1990 (A) et 2000 (B), la superficie végétale a diminué de 236 912 ha (1990) à 197 067 ha (2000), soit une perte annuelle de 3,29%, correspondant à une perte de 39 845 ha. En revanche, les zones agricoles ont enregistré une croissance marquée de 7,18%, passant de 37 600 ha (1990) à 77 076 ha (2000). De plus, les sols nus ont légèrement augmenté, passant de 10 542 ha (1990) à 12 406 ha (2000), avec un taux d'expansion annuel de 1,63%. Quant aux plans d'eau, leur superficie a diminué de 0,51%, passant de 9 867 ha (1990) à 8 371 ha (2000). Une analyse similaire de la période de 2000 (B) à 2010 (C) montre une tendance comparable. Les classes de végétation (savane arborée, savane arbustive et forêt galerie) ont encore diminué, passant de 197 067 ha (2000) à 164 913 ha (2010), avec un taux de perte annuel de 5,05%. Parallèlement, les zones agricoles ont continué leur expansion rapide, augmentant de 3,51%, passant de 77 076 ha (2000) à 109 484 ha (2010). Les sols nus ont également connu une augmentation importante de 4 965 ha, passant de 12 406 ha (2000) à 17 371 ha (2010), avec un taux d'expansion de 3,37% par an. En revanche, les plans d'eau ont encore régressé, passant de 9 867 ha (1990) à 8 371 ha (2000), soit une perte de 0,51%. Entre 2010 (C) et 2024 (D), l'évolution de l'occupation du sol révèle un taux annuel de déforestation de 3,14%. La superficie des classes de végétation a diminué, passant de 164 913 ha (2010) à 142 579 ha (2024). Cette réduction résulte de l'extension des zones agricoles, qui ont augmenté de 1,45% par an, passant de 109 484 ha (2010) à 134 124 ha (2024). De même, les sols ont légèrement diminué de 0,62% par an, passant de 17 371 ha (2010) à 15 917 ha (2024). Les plans d'eau ont également continué leur régression, passant de 3 151 ha (2010) à 2 301 ha (2024), soit une diminution de 2,25% par an. Cette dynamique témoigne d'une transformation contemporaine de l'occupation du sol, caractérisée par une intensification de l'agriculture. Toutefois, la régression des formations végétales soulève des enjeux environnementaux majeurs, notamment en termes de perte de biodiversité, de réduction des services écosystémiques, tels que la régulation climatique et la protection des sols, ainsi que d'altération du fonctionnement hydrologique du bassin versant.

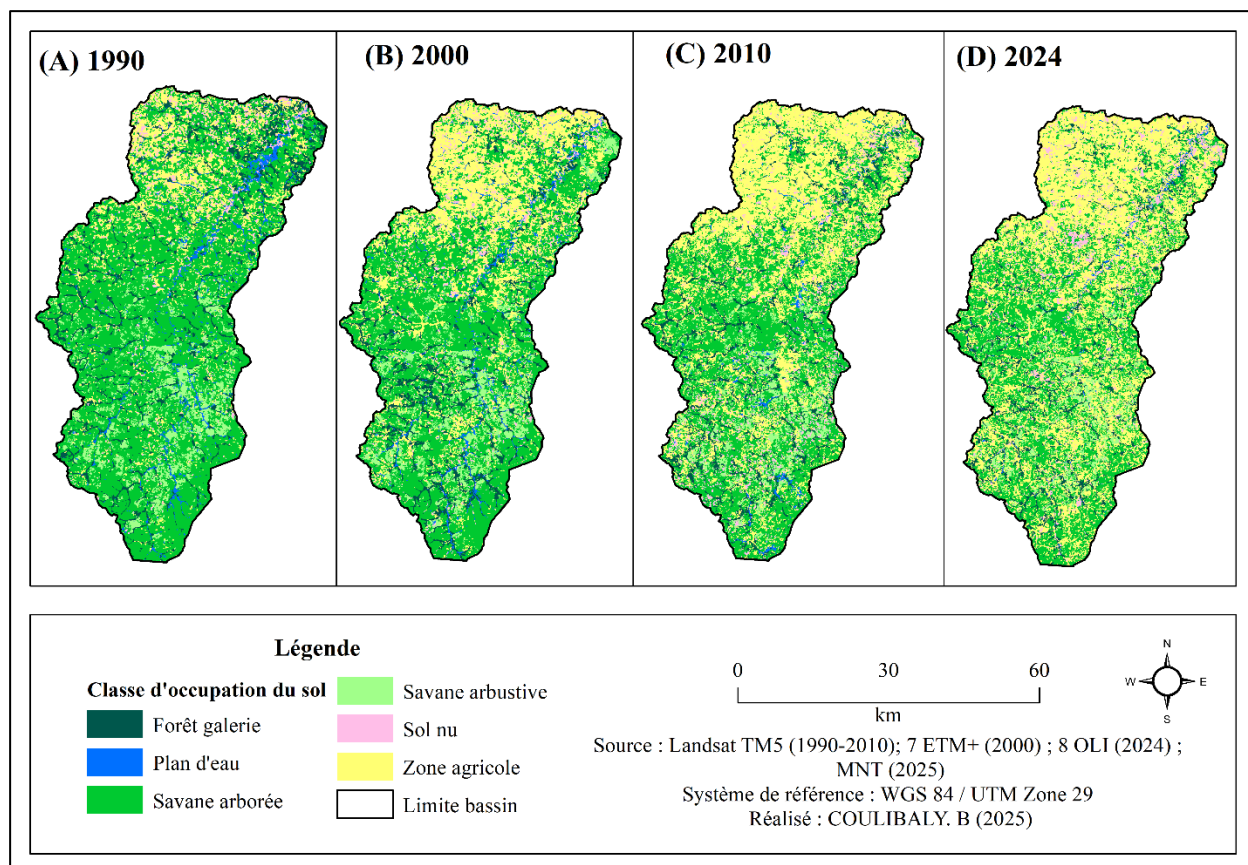


Figure 2. Changement contemporain de l'occupation du sol de 1990 à 2024

La Figure 3 illustre l'évolution de l'occupation du sol dans le bassin versant entre 1990 et 2024. On observe une diminution notable de la forêt galerie, qui passe de 8,51% en 1990 à 6,59% en 2024, tandis que la savane arborée a diminué de 62,80% à 36,09% sur la même période, traduisant une perte significative de couverture végétale. La savane

arbustive connaît également une régression, passant de 9,03% à 5,66%. A l'inverse, la zone agricole enregistre une forte croissance, passant de 12,72% en 1990 à 45,48% en 2024, reflétant une pression de croissance des activités agricoles au détriment des formations végétales et des écosystèmes naturels. Les sols nus connaissent une légère augmentation, passant de 3,57% à 5,40%, tandis que le plan d'eau montre des variations modestes, diminuant de 3,35% à 0,78%.

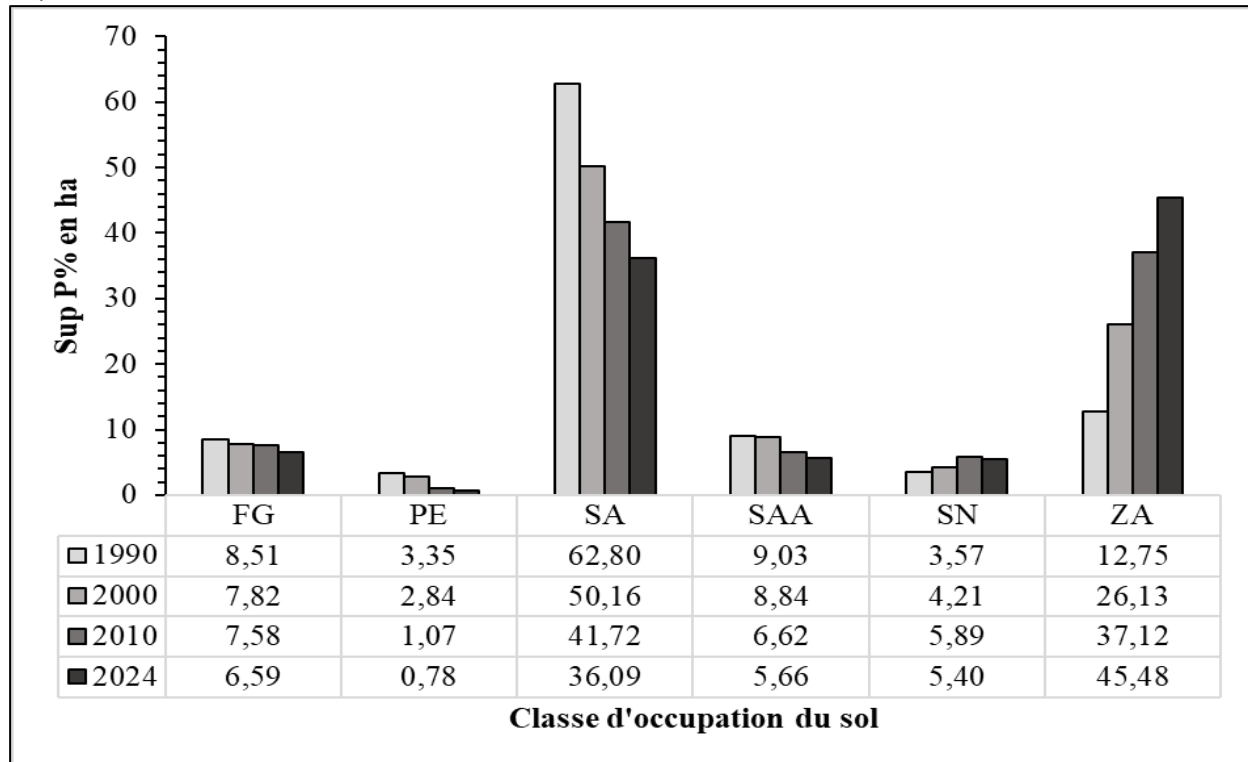


Figure 3. Évolution de l'occupation du sol entre 1990 et 2024

Légende : **FG** : Forêt galerie, **PE** : Plan d'eau, **SA** : Savane arborée, **SAA** : Savane arbustive, **SN** : Sol nu, **ZA** : Zone agricole

3.3. Changements contemporains de l'occupation du sol

L'analyse de l'évolution des classes d'occupation du sol entre 1990 et 2024 révèle une transformation profonde et déséquilibrée de la structure spatiale du bassin versant, qui pourrait être largement attribuée à la pression humaine, en particulier aux activités agricoles. La superficie des terres agricoles a été multipliée par 3,5 au cours des 34 dernières années, passant de 12,75% en 1990 à 45,48% en 2024, avec un taux d'évolution moyen annuel de 3,74%. Cette expansion s'est faite au détriment des classes de couverture végétale. La savane arborée, qui constituait la classe dominante en 1990 (62,80%), est la principale victime de l'extension agricole, perdant près de la moitié de sa superficie, avec un taux d'évolution moyen annuel de -1,63%. Les plans d'eau affichent le taux de régression le plus rapide, avec 4,28%. Ces régressions confirment un processus de désertification du paysage, caractérisé par une polarisation entre l'agriculture intensive et les savanes dégradées. Cette dynamique constitue un défi majeur pour la gestion durable des terres, puisque le développement agricole durable dépend directement de la préservation des ressources naturelles et de l'équilibre écologique du bassin.

Tableau 4. Statistiques de l'évolution des classes d'occupation du sol entre 1990 et 2024

Classe	1990		2000		2010		2024		TEMA	Nature
	Sup en (ha)	P%	Sup en (ha)	P%	Sup en (ha)	P%	Sup en (ha)	P%		
FG	25 088,30	8,51	23 064,50	7,82	22 349,90	7,58	19 441,80	6,59	-0,75	Régression
PE	9 867,24	3,35	8 371,07	2,84	3 151,69	1,07	2 301,38	0,78	-4,28	Régression
SA	185 205,00	62,80	147 924,00	50,16	123 046,00	41,72	106 436,00	36,09	-1,63	Régression

SAA	26 618,80	9,03	26 079,10	8,84	19 518,00	6,62	16 701,60	5,66	-1,37	Régression
SN	10 542,30	3,57	12 406,50	4,21	17 371,80	5,89	15 917,00	5,40	1,21	Progression
ZA	37 600,50	12,75	77 076,60	26,13	109 484,00	37,12	134 124,00	45,48	3,74	Progression

Légende : **FG** : Forêt galerie, **PE** : Plan d'eau, **SA** : Savane arborée, **SAA** : Savane arbustive, **SN** : Sol nu, **ZA** : Zone agricole

3.4. Matrice de transition de l'occupation contemporaine du sol

L'analyse de la matrice de transition de l'occupation contemporaine du sol au cours des trois périodes successives (1990-2000 ; 2000-2010 ; 2010-2024) révèle une dynamique continue de transformation des paysages du bassin versant. Les résultats montrent une perte progressive des formations végétales naturelles, telles que la savane arborée, la savane arbustive et les forêts galeries, au profit de l'agriculture et des sols nus. Entre 1990 et 2000, la savane arborée a perdu 41 215 ha, dont une large proportion a été convertie en terres agricoles (33 511 ha). Cette perte est plus marquée que la stabilité relative d'autres classes, comme la savane arbustive, qui a enregistré une perte de 3 325 ha, mais avec un gain modéré de 2 930 ha. Cette tendance se poursuit au cours des deux décennies suivantes, avec une perte de 29 711 ha de savane arborée entre 2000 et 2010, et une perte supplémentaire de 31 383 ha entre 2010 et 2024. A chaque étape, ces pertes sont compensées par l'expansion des zones agricoles, qui ont gagné 42 693 ha entre 1990 et 2000, 38 100 ha entre 2000 et 2010, et 48 727 ha supplémentaires entre 2010 et 2024. Les forêts galeries, bien qu'elles aient connu un léger regain de 7 399 ha entre 2000 et 2010, ont subi une perte nette significative de 10 478 ha entre 2010 et 2024, témoignant d'une dégradation continue des écosystèmes forestiers. Ce phénomène est accentué par la transformation de ces zones en terres agricoles (7 702 ha entre 2000 et 2024), malgré des gains limités dans certaines zones. Les sols nus, qui ont montré un gain notable de 7 810 ha entre 1990 et 2000, ont continué à progresser, avec 11 053 ha gagnés entre 2000 et 2010, et 10 422 ha supplémentaires entre 2010 et 2024. Quant aux plans d'eau, ils ont connu une diminution tout au long de la période étudiée, avec une perte cumulée de 14 563 ha entre 1990 et 2024, principalement en raison de l'ensablement, de l'assèchement et/ou de la pression anthropique (agriculture, sols nus).

Tableau 5. Matrice de transition de l'occupation contemporaine du sol

Année	Occupation du sol	Stable	Perte	Gain
1990-2000	FG	12 131	12 895	11 186
	PE	5 219	4 449	2 848
	SA	144 340	41 215	3 351
	SAA	23 035	3 325	2 930
	SN	4 572	5 901	7 810
	ZA	34 852	3 033	42 693
	Total	224 148	70 818	70 818
2000-2010	FG	15 081	8 236	7 399
	PE	657	7 410	2 443
	SA	117 980	29 711	5 039
	SAA	19 237	6 727	15
	SN	6 245	6 137	11 053
	ZA	71 716	5 829	38 100
	Total	230 916	64 050	64 050
2010-2024	FG	12 002	10 478	7 287
	PE	395	2 704	1 832
	SA	91 636	31 383	14 706
	SAA	14 091	5 162	2 437
	SN	5 485	11 812	10 422
	ZA	85 945	23 871	48 727
	Total	209 554	85 411	85 411

Légende : **FG** : Forêt galerie, **PE** : Plan d'eau, **SA** : Savane arborée, **SAA** : Savane arbustive, **SN** : Sol nu, **ZA** : Zone agricole

3.5. Perception des populations sur les changements contemporains du sol dans le bassin

Le Tableau 6 présente la perception des populations concernant la typologie des formes d'occupation du sol. Les résultats montrent que les répondants ont une bonne connaissance des formes d'occupation du paysage dans le bassin versant. La végétation est la forme d'occupation la plus perçue, avec 96,47%, suivie des zones agricoles et des plans d'eau de manière équivalente, soit 93,73% pour chacune d'elles. En revanche, les zones de pâturage et les zones d'habitation sont les moins perçues, avec respectivement 78,82% et 71,76%. Cela reflète des différences dans l'urbanisation et l'exploitation des ressources naturelles.

Tableau 6. Perception des populations sur la typologie des formes d'occupation du sol

Variable	Effectif (N = 255)	Pourcentage
Végétation	246	96,47
Pâturage	201	78,82
Plan d'eau	239	93,73
Zone agricole	239	93,73
Zone d'habitation	183	71,76

3.6. Perception des populations sur les changements des formes d'occupation du sol

La perception des populations sur les changements des formes d'occupation du sol révèle une diminution de la végétation signalée par 91,37% des répondants, tandis que seulement 3,53% évoquent une augmentation. Cela constitue une prise de conscience de la déforestation et de la conversion des terres en zones agricoles. Pour la zone agricole, 82,35% des répondants perçoivent une augmentation, contre 6,27% qui constatent une diminution, reflétant l'expansion de l'agriculture au détriment des formations végétales. Par ailleurs, 68,63% des répondants observent une diminution des aires de pâturage, conséquence probable de l'augmentation des espaces agricoles. La situation des plans d'eau est particulièrement préoccupante : 43,14% des répondants constatent une diminution, 18,82% observent un assèchement, et seulement 4,31% perçoivent une augmentation. Ces résultats mettent en évidence des changements contemporains de l'occupation du sol, où l'expansion agricole est l'un des facteurs dominants, entraînant des impacts significatifs sur les écosystèmes locaux.

Tableau 7. Perception des populations sur les changements des formes d'occupation du sol

Changement des formes d'occupation du sol	Typologie de changement	Effectif (N = 255)	Pourcentage
Végétation	Diminution	233	91,37
	Augmentation	9	3,53
	Stabilité	2	0,78
Zone agricole	Augmentation	210	82,35
	Diminution	16	6,27
	Stabilité	10	3,92
Zone de pâturage	Diminution	177	68,63
	Augmentation	28	10,98
	Stabilité	11	4,31
Plan d'eau	Diminution	110	43,14
	Assèchement	48	18,82
	Stabilité	37	14,51
	Augmentation	11	4,31
	Disparition	4	1,57
	Ne sait pas	1	0,39
Extension du village	Extension	206	80,78
	Diminution	1	0,39

3.7. Perception des populations sur les causes des changements des formes d'occupation du sol

Le Tableau 8 présente les causes perçues des changements des formes d'occupation du sol. L'augmentation de la population est identifiée comme la cause principale, avec 90,98% des répondants, reflétant une pression accrue sur les terres liée à la croissance démographique, entraînant une extension des zones agricoles et l'urbanisation des espaces naturels. Les mauvaises pratiques agricoles suivent, avec 81,18%, mettant en lumière l'impact des pratiques non durables, telles que la déforestation pour l'agriculture ou l'exploitation excessive des terres. De plus, la sécheresse est perçue comme une cause importante par 66,67% des répondants, ce qui indique l'influence des variations climatiques sur les terres agricoles et les écosystèmes locaux. La migration est mentionnée par 20,78% des répondants, suggérant que les mouvements de population contribuent à la pression sur les ressources naturelles, notamment dans les zones urbaines en expansion. Enfin, la politique gouvernementale est citée par seulement 6,67% des enquêtés, ce qui reflète une perception limitée des politiques publiques sur la gestion des terres, malgré les efforts déployés dans le cadre du développement et de la gestion rurale des ressources.

Tableau 8. Causes des changements des formes d'occupation du sol

Variable	Effectif (N = 255)	Pourcentage
Augmentation de la population	232	90,98
Mauvaise pratique	207	81,18
Sécheresse	170	66,67
Migration	53	20,78
Politique gouvernementale	17	6,67

3.8. Perception des populations sur la pression des terres agricoles

L'analyse de l'augmentation des zones agricoles révèle une transformation de la savane en terres cultivables, avec 53,73% des répondants, suivie des bas-fonds (50,20%). De plus, les forêts sont également affectées, avec 37,65% des répondants observant une conversion en zones agricoles. Cela signifie que la population est consciente de l'impact direct de l'agriculture sur la couverture végétale. En revanche, une reconversion plus modeste est signalée dans les anciennes jachères, représentant 19,22%.

Tableau 9. Pression foncière des espaces agricoles

Variable	Effectif (N = 255)	Pourcentage
Savane	137	53,73
Bas-fonds	128	50,20
Forêt	96	37,65
Ancienne jachère	49	19,22

2.9. Perception des populations sur l'état de dégradation environnementale

Le Tableau 10 présente la perception des populations concernant l'état de dégradation environnementale dans le bassin versant de Tiendaga. Plus de 73,33% des répondants estiment que l'état du sol est dégradé, tandis que 16,47% le considèrent très dégradé, et seulement 3,92% jugent le sol stable. Pour la végétation, 58,82% des personnes interrogées la perçoivent comme dégradée, et 33,73% la trouvent très dégradée. En revanche, seulement 2,7% considèrent la végétation stable. En ce qui concerne les plans d'eau, 60% des enquêtés indiquent qu'ils sont dégradés, tandis que 21,96% observent une très grande dégradation. Seuls 11,37% des répondants perçoivent les plans d'eau comme stables. Ces résultats soulignent une dégradation généralisée des ressources naturelles, mettant en évidence les défis liés à la gestion durable de l'environnement.

Tableau 10. Perception des populations sur l'état de dégradation environnementale

Variable	État de dégradation	Effectif (N = 255)	Pourcentage
Etat du sol	Dégradé	187	73,33
	Très dégradé	42	16,47
	Peu dégradé	14	5,49

Etat de la végétation	Stable	10	3,92
	Dégradé	150	58,82
	Très dégradé	86	33,73
	Peu dégradé	10	3,92
	Stable	7	2,7
Etat du plan d'eau	Dégradé	153	60
	Très dégradé	56	21,96
	Stable	29	11,37
	Peu dégradé	15	5,88

2.10. Perception des populations sur les stratégies de dégradation environnementale

Le Tableau 11 présente les perceptions des répondants sur les stratégies d'atténuation de la dégradation environnementale dans le bassin versant. Parmi les stratégies proposées, la pratique périodique du reboisement est la plus perçue, avec 74,90%, suivie de la mise en place des brigades de surveillance, avec 67,45%. Le respect des réglementations des codes forestiers est perçu par 57,65% des répondants. Enfin, les campagnes de sensibilisation sont considérées par 47,06% des enquêtés. L'analyse montre une prise de conscience importante de la nécessité de reconstituer la couverture végétale pour lutter contre la dégradation et la surexploitation des ressources naturelles. Toutefois, bien que les efforts d'information et d'éducation soient jugés nécessaires, ils n'ont pas encore atteint un consensus général. Ces résultats mettent en évidence un soutien marqué aux initiatives de reboisement et de surveillance, mais soulignent également le besoin d'intensifier la sensibilisation et le respect des réglementations pour une gestion plus durable des ressources naturelles.

Tableau 11. Perception sur les stratégies d'atténuation de la dégradation environnementale

Variable	Effectif (N = 255)	Pourcentage
Pratique périodique du reboisement	191	74,90
Mettre en place les brigades de surveillance	172	67,45
Respecter les réglementations des codes forestiers	147	57,65
Campagne de sensibilisation	120	47,06

3. Discussion

L'étude des changements dans le bassin versant a été menée à travers une analyse diachronique de quatre images Landsat datant de 1990, 2000, 2010 et 2024. Le traitement des images satellitaires, réalisé par classification supervisée à l'aide de l'algorithme Support Vector Machine (SVM), a produit des résultats de haute qualité, avec des précisions globales de 92,37% (1990), 97,76% (2000), 89,75% (2010) et 88,79% (2024). Selon Dembele et al. (2023) et Tanina et al. (2022), avec une précision globale de 80%, la qualité des images est suffisante pour que les modifications observées correspondent à la situation réelle sur le terrain. Les indices de Kappa, oscillant entre 88% et 98%, confirment la fiabilité de la classification et offrent une vue d'ensemble des changements d'occupation du sol. Les classes identifiées sur les images satellitaires, telles que la végétation, le pâturage, les plans d'eau, les zones agricoles et les zones d'habitation, correspondent presque entièrement aux perceptions des ménages interrogés, soulignant la pression foncière exercée sur les ressources végétales. La cartographie des changements contemporains de l'occupation du sol montre une tendance nette : entre 1990 et 2024, les surfaces agricoles sont passées de 37 601 ha à 134 124 ha, soit une augmentation de 96 523 ha. Des tendances similaires sont observées dans le bassin versant du Kori Ouallam, au sud-ouest du Niger, où les surfaces cultivées, représentant 25,18% du territoire en 1972, sont passées à 50,97% en 2019 (Adamou et al. 2024).

Cependant, l'analyse des taux de changement révèle une perturbation majeure, caractérisée par la régression des formations végétales naturelles (forêt galerie, savane arborée et savane arbustive) entre 1990 et 2024, au profit des zones agricoles et d'habitation. Des études antérieures, telles que celle de Sidibé et al. (2024) sur la dynamique spatiotemporelle de l'occupation des terres dans les zones de production cotonnière et céréalière au Mali, montrent des tendances similaires caractérisées par une nette augmentation des superficies des formations anthropiques (45%, soit 2,30% par an à Cinzana), au détriment des formations naturelles (45,15%, soit 2,26% par an). De même, Dembele et al. (2023) ont observé une réduction des surfaces forestières dans le bassin versant de Kou, au Burkina Faso, due aux pressions anthropiques. Des résultats analogues ont été rapportés par Digvesh et al. (2024).

Les résultats de la cartographie concordent avec ceux des enquêtes socioéconomiques, qui mettent en évidence une diminution de la couverture végétale au profit des zones agricoles. Ces enquêtes attribuent la régression des formations naturelles à l'augmentation de la population, considérée comme le principal moteur de cette dégradation, tandis que la baisse de la productivité est liée aux conditions climatiques, notamment la sécheresse. Plusieurs études sur la dynamique d'occupation des sols arrivent à des conclusions similaires. Au sud du Mali, Karembé (2014) estime que 65% des formations végétales ont été converties en terres agricoles et jachères entre 1975 et 2013. Traore et al. (2022) attribuent la dégradation du couvert végétal à l'extension des espaces agricoles et à d'autres activités anthropiques, notamment l'exploitation minière. Ces résultats corroborent ceux obtenus dans la zone cotonnière du Mali par Ballo et al. (2016), où une régression continue des formations naturelles a été observée au profit des formations anthropiques, à travers une étude diachronique. De même, Dembele et al. (2025) dans leurs études sur les changements d'utilisation des terres et de la couverture terrestre de 1990 à 2023 dans la commune de Faragouaran, au sud du Mali, estiment un taux de croissance annuel supérieur à 90% dans les zones agricoles, tandis que la superficie des formations végétales, notamment la savane arbustive et la forêt galerie, a diminué respectivement de 1,11% et de 11,15%.

Face à cette dégradation, les populations proposent des stratégies d'atténuation. Ainsi, 74,90% des répondants proposent le reboisement périodique, suivi de la mise en place de brigades de surveillance (67,45%), du respect des réglementations des codes forestiers (57,65%) et des campagnes de sensibilisation (47,06%) comme des solutions. Des solutions alternatives sont proposées par Wangbé et al. (2022) dans le bassin versant du lac Lagdo (Nord-Cameroun), où 79% des répondants adoptent l'association des cultures, suivi par la rotation des cultures (80%) et 37% optent pour les fumures organiques. Abalo-Esso et al. (2021) proposent également l'adoption de stratégies telles que le reboisement, les cordons pierreux et les bandes enherbées dans la région des savanes au nord du Togo.

4. Conclusion

Cette étude a permis de mettre en évidence les changements environnementaux intervenus entre 1990 et 2024 grâce aux images satellitaires, complétées par les savoirs locaux recueillis auprès des populations locales. Le bassin versant subit une forte pression humaine, principalement liée à l'exploitation des ressources, avec l'extension des zones agricoles, le surpâturage, la coupe abusive de bois et l'expansion des zones d'habitation destinées à répondre aux besoins d'une population en augmentation. Les formations végétales, qui occupaient 236 964 ha en 1990, sont passées à 142 579 ha en 2024, soit une perte d'environ 94 385 ha, tandis que les zones agricoles sont passées de 37 600 ha en 1990 à 134 124 ha en 2024, soit une augmentation de 96 524 ha. Ces résultats confirment une influence déterminante des activités anthropiques sur la reconfiguration spatiale de la couverture végétale dans le bassin versant. L'enquête socioéconomique révèle une dégradation généralisée des sols, de la végétation et du plan d'eau, attribuée principalement à la pression foncière exercée par l'expansion des zones agricoles. Face à cette dynamique, il apparaît nécessaire de renforcer des mesures de gestion durable, notamment par la mise en place de brigades de surveillance, la pratique périodique du reboisement, le respect strict des codes forestiers et la conduite de campagnes de sensibilisation. Ces résultats soulignent enfin l'importance d'analyser d'autres paramètres majeurs des changements d'occupation du sol, notamment la croissance démographique et la variabilité climatique, afin de mieux appréhender les trajectoires socio-écologiques dans le bassin versant de Tiendaga.

Remerciements

ENABEL pour le financement de la collecte des données de terrain.

Contribution des auteurs

Rôle du contributeur	Noms des auteurs
Conceptualisation	Bouramadié COULIBALY et Souleymane Sidi TRAORE
Gestion des données	Bouramadié COULIBALY
Analyse formelle	Bouramadié COULIBALY
Enquête et investigation	Bouramadié COULIBALY
Méthodologie	Bouramadié COULIBALY et Souleymane Sidi TRAORE
Supervision Validation	Souleymane Sidi TRAORE
Écriture – Préparation	Bouramadié COULIBALY
Écriture – Révision	Souleymane Sidi TRAORE

Conflit d'Intérêt

Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit.

Références

- Abalo-Esso, M., Agossou, G.-T., Didier, B., Edmond, H., & Jean Luc, C. (2021). Dégradation de la fertilité des sols et de l'environnement dans la région des savanes au Nord-Togo : Analyse des perceptions et stratégies d'adaptation Indigènes. *European Scientific Journal ESJ*, 17(25), 40–65. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n25p40>
- Abdi, O. A., Glover, E. K., & Luukkanen, O. (2013). Causes and impacts of Land degradation and desertification : Case Study of the Sudan. *International Journal of Agriculture and Forestry*, 3(2), 40–51. <https://doi.org/10.5923/j.ijaf.20130302.03>
- Adamou, S. N., Daoudi, L., & Toure, A. A. (2024). Dynamique d'occupation des sols et perception paysanne au Sud-ouest du Niger : Cas du bassin versant du Kori Ouallam. *European Scientific Journal, ESJ*, 20(35), pp.163-189. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n35p163>
- Ballo, A., Traoré, S. S., Coulibaly, B., Diakité, C. H., Diawara, M., Traoré, A., & Dembélé, S. (2016). Pressions anthropiques et dynamique d'occupation des terres dans le terroir de Ziguéna, zone cotonnière du Mali. *European Scientific Journal, ESJ*, ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431, 12(5), pp.90-99. <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n5p90>
- Bodjrenou, R., & Comandan, F. (2023). Influence de la dynamique de l'occupation des terres sur les ressources en eau au Benin (Afrique de l'Ouest). *LHB: Hydrosience Journal*, 109(1), 14 p. <https://doi.org/10.1080/27678490.2023.2233482>
- Dao, A., Bamory, K., Adama, M., Albert, G. B. T., Luc, S., Bokar, M. H., & Issiaka, S. (2010). Variabilité climatique et réponse hydrologique du bassin versant transfrontalier de Kolondiéba au sud du Mali. *European Journal of Scientific Research*, 43(4), 435–444. <http://www.eurojournals.com/ejsr.htm>
- Dembélé, A. B. (2019). Détection des zones à potentiel agricole dans la commune rurale de Bougaribaya (Cercle de Kita). In *Master en Géomatique à la FHG/USSGB*.
- Dembele, A. B., Traore, S. S., & Omobowale, M. (2025). Analysis and monitoring of land use and land cover (LULC) changes from 1990 to 2023 in Faragouaran Municipality, Southern Mali. *GeoJournal*, 90(203), 18. <https://doi.org/10.1007/s10708-025-11451-0>
- Dembele, B., Gomgnimbou, A. P. K., Yameogo, J. T., Ouedraogo, O. W., & Tankoano, B. (2023). Dynamique spatiale et temporelle de la couverture ligneuse du bassin versant du Kou au Burkina Faso. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 41(1), pp.289-299. <http://www.ijias.issr-journals.org>
- Digvesh, K. P., Thakur, T. K., Thakur, A., Pandey, A., Kumar, A., Kumar, R., & Husain, M. (2024). Quantifying Land Degradation in Upper Catchment of Narmada River in Central India: Evaluation Study Utilizing Landsat Imagery. *Journal Water*, 2440(16), 21 p, <https://doi.org/10.3390/w16172440>
- DNP. (2020). Estimations de la population du Mali par région, cercle et commune selon le sexe en 2020. In *Direction Nationale de la Planification, Ministère de l'Économie et des Finances du Mali*. <https://dnp-mali.ml/rapports/>
- Doso Jnr, S. (2014). Land degradation and agriculture in the Sahel of Africa : causes, impacts and recommendations. *Journal of Agricultural Science and Applications*, 3(3), 67–73. <https://doi.org/10.14511/jasa.2014.030303>
- GSARS. (2017). Manuel sur l'application de la télédétection aux statistiques agricoles. In *Manuel de la Stratégie mondiale : Rome*, 287 p. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ca6394fr>
- Hubert, O., Zoungrana, B. J.-B., Jérémie, R., & Gérard, Z. (2024). Influence de la dynamique de l'utilisation des terres sur le fleuve Mouhoun au Burkina. *Revue Internationale Du Chercheur*, 5(2024), pp.849-867. <https://revuechercheur.com/index.php/home/article/view/902/766>
- Kakani, G. K., Belesi, H. K., & Makanzu, I. (2023). Occupation du sol dans le sous-bassin versant de la rivière Ndrigi (Lac Albert , Ituri , RDC) de 1999 à 2021. *Afrique SCIENCE*, 23(5), pp.122-135. <https://www.afriquescience.net/admin/postpdfs/>
- Karembé, Y. dit Y. (2014). Dynamique spatiale des formations végétales du bassin versant de la rivière Sankarani dans la Région de Sikasso (Mali). In *Master en Science de la Géo-Information* 106 p.
- Konkobo, J., Yameogo, A., Some, J. N., Yélézouomin, S., Konkobo, J., Yameogo, A., Some, J. N., & Yélézouomin, S. C. S. (2023). Modélisation de la dynamique des unités d'occupation des terres dans la commune rurale de Kouka (Burkina Faso). *International Journal of Development Research*, 13, 10 p. <https://doi.org/10.37118/ijdr.27031.08>
- Kpedenou, K. D., Boukpepsi, T., Tchamie, T. T. K., Kpedenou, K. D., Boukpepsi, T., Tanzidani, T., & Quantification, K. T. (2016). Quantification des changements de l'occupation du sol dans la préfecture de Yoto (sud-est Togo) à l'aide de l'imagerie satellitaire Landsat. *Sciences de l'Environnement*, 13, 137–156. <https://doi.org/10.1007/s10708-025-11451-0>

- Lakew, M., Carletti, A., Altea, L., Rizzu, M., Migheli, Q., & Seddaiu, G. (2024). Land degradation and the upper hand of sustainable agricultural intensification in sub-Saharan Africa - A systematic review. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, 125(1), 63–83. <https://doi.org/10.17170/kobra-202403129757>
- Magassa, M. (2024). Évolution de l'occupation du sol de la zone humide du lac Wégna au Mali : facteurs et portée sociale. *GEOTROP*, 2(January), pp.115-125. <https://www.researchgate.net/profile/Modibo-Magassa/publication/377358823>
- OSS. (2013). *Atlas des cartes d'occupation du sol du Mali* 115 p. <https://www.oss-online.org/index.php/fr/publications/OSS-ILWAC-Atlas-Mali>
- Patrick, H. A., & Kambiré, B. (2024). Effets environnementaux des émissions atmosphériques industrielles dans le district autonome d'Abidjan : cas de la zone de pk 24 (Akoupé - Zeudji). *Revue de Géographie Tropical et d'Environnement*, ISSN 1817-5589, 1(1), pp.7-21. <https://www.revuegeotrope.com/wp-content/uploads/2024/07/>
- Sidibé, M., Aoudji, A. K. N., Moumouni, Y. I., Sacko, I., Salio, I., Koné, B., Assogbadjo, A. E., & Zannou, A. (2024). Dynamiques Spatio-Temporelles de l'Occupation des Terres dans les Zones de Production Cotonnière et Céréalière au Mali. *Revue Internationale de Géomatique*, 33(1), pp.51-76. <https://doi.org/10.32604/rig.2024.045505>
- Soro, G., Ahoussi, E. K., Kouadio, E. K., Soro, T. D., Oulare, S., Saley, M. B., Soro, N., & Biemi, J. (2014). Apport de la télédétection à la cartographie de l'évolution spatio-temporelle de la dynamique de l'occupation du sol dans la région des Lacs (Centre de la Côte d'Ivoire). *Afrique SCIENCE*, 10(3), pp.146-160. <https://doi.org/10.4314/afsci.v10i3>
- Tanina, D. S., Louan Odile, B., Tanoh Jean-jacques, K., Adjiri, A. O., Kouassi Ernest, A., Gbombe, S., Yei Marie-solange, O., & Nagnin, S. (2022). Suivi de la dynamique de l'occupation et de l'utilisation du sol dans le bassin versant du Haut Bandama à Tortiya (Nord de la Côte d'Ivoire) et de son impact sur les écoulements. *Public Health & Territorial Intelligence Env.Wat. Sci. Pub. H. Ter. Int. J. EWASH & TI Journal*, 6(1), pp.754-760. <https://shs.cairn.info/publications-de-louan-odile-ble--854623?lang=fr>
- Toure, A., & Dieckkrüger, B. (2017). Assessment of Groundwater Resources in the Context of Climate Change and Population Growth: Case of the Klela Basin in Southern Mali. *Climate*, 5(45), 1–15. <https://doi.org/10.3390/cli5030045>
- Traore, L. (2016). Caractérisation des formations de galeries forestières des rivières au Sud du Mali. In *Thèse de doctorat en Ecologie Végétale à la FST/l'USTTB*, 211 p.
- Traore, S. S., Dembele, S., Dembele, D., Diakite, N., & Diakite, C. H. (2022). Dynamique de l'occupation du sol et trajectoire du couvert végétal autour de trois sites miniers du Sud Mali entre 1988 et 2019. *Physio-Géo [En Ligne]*, Volume 17 | 2022, mis en ligne le 18 Septembre 2022, Consulté le 30 Novembre 2022. URL : <http://journals.Openedition.Org/Physio-Geo/14565>, 17, 151–166. <https://doi.org/10.4000/physio-geo>
- Wangbé, P. D., Azinaha, D., Djiangoue, B., & Ombolo, A. (2022). Perceptions des agriculteurs de la dégradation des sols et stratégies d'adaptation dans le Bassin versant du lac de Lagdo (Nord-Cameroun). *Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture*, 5(2), 11–20. <http://www.rafea-congo.com/>
- Yameogo, A., Some, Y. S. C., Sirima, A., & Da, D. E. C. (2020). Occupation des terres et érosion des sols dans le bassin versant supérieur de la Sissili, Burkina Faso. *Afrique Sciences*, 1(3), pp.43-56. <https://www.researchgate.net/profile/Yameogo-Augustin/publication/348277322>
- Yusifova, M. ., & Togola, A. (2022). Preservation of woody forest resources through energy alternation in Mali : Methods and avantages. *Advances in Biology & Earth Sciences*, 7(1), 19–28. <https://www.researchgate.net/publication/370057182>
- Zakariae, A., & Abdellatif, T. (2021). Cartographie de l'utilisation des sols et de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'Oued Lahdar (Prérif oriental-Maroc) : Utilisation des données de la télédétection et du modèle RUSLE. *Bollettino Dellla Associazione Italiana Di Cartografia*, 171(4–20), pp.4-20. <https://doi.org/10.13137/2282-572X/33429>