

ÉVOLUTION DE L'OCCUPATION DU SOL DANS LE BASSIN VERSANT DE KOROLA (RÉGION DE SIKASSO, MALI) À PARTIR DES IMAGES SATELLITAIRES LANDSAT

Habibatou SANGARE*, Ibrahima DAOU et Issiaka KEITA

*Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée de
Katibougou (IPR/IFRA), BP 224, Koulikoro, Mali*

(reçu le 18 Novembre 2020 ; accepté le 26 Décembre 2020)

* Correspondance, e-mail : sangarehabi@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Les écosystèmes des régions soudano sahéliennes d'Afrique de l'Ouest ont connu au cours des dernières décennies, des modifications importantes dans l'occupation et l'usage des sols. Le bassin versant de Korola qui couvre une superficie de 1245,3 km² n'est pas épargné de cette dynamique. Le territoire de ce bassin se dégrade à un rythme croissant due à des activités induites par l'homme exacerbées par les effets du changement climatique. L'objectif de ce travail est d'étudier l'évolution de l'occupation du sol dans le bassin versant de Korola en vue d'une meilleure gestion des terres. La méthodologie utilisée est basée sur le traitement des images satellitaires Landsat et le système d'information géographique pour l'analyse de la dynamique d'occupation du sol sur une période de 30 ans. Les cartes d'occupation du sol ont été élaborées avec la méthode de comparaison de classification. Les images ont été traitées à l'aide du logiciel ENVI. Les résultats montrent que la cartographie à partir images satellitaires Landsat a permis de distinguer cinq classes ou unités d'occupation du sol qui sont : zone cultivée (champs), savane arbustive, savane arborée, savane arborée dégradée, sol nu. L'évolution de ces unités d'occupation du sol de 1984 à 2014 ont été les suivantes : une augmentation des superficies cultivées de (19,7 %); de la savane arbustive (17 %); des surfaces nues (4,8 %). Ces évolutions ont été faites au détriment de la savane arborée et de la savane arborée dégradée avec une diminution respective de 4,9 % et 22,9 %.

Mots-clés : *bassin versant de Korola, usage des terres, occupation du sol, zone soudanienne, image Landsat.*

ABSTRACT**Evolution of land use system in Korola watershed (Sikasso region, Mali) using satellite Landsat images**

The ecosystems in the Sudano Sahelian regions of West Africa have undergone significant changes in land cover and land use in recent decades. The Korola watershed, which covers an area of 1245.3 km², is not immune to this dynamic. The territory of this basin is deteriorating at an increasing rate due to human induced activities exacerbated by the effects of climate change. The aim of this work is to study the evolution of land use in the Korola watershed for better land management. The method of study is based on the processing of Landsat satellite imagery and the geographic information system for the analysis of land-use dynamics over a period of 30-year. Land occupancy maps have been developed using the classification comparison method. The images are processed using ENVI software. The results show that mapping from Landsat satellite images has distinguished five classes or units of land use that are: cultivated area (fields), shrub savannah, tree savannah, degraded tree savannah, bare soil. The dominant features of the evolution of these land-use units from 1984 to 2014 are: an increase in cultivated areas of 19.7 %; in the shrub savannah (17 %); in bare surfaces (4.8 %). These developments were made at the expense of the tree savannah and the degraded tree savannah with a decrease of 4.9 % and 22.9 % respectively.

Keywords : *Korola watershed, land use, land cover, sudanian zone, Landsat imagery.*

I - PROBLÉMATIQUE ET PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE**I-1. Problématique**

L'occupation et l'usage des terres ont des répercussions importantes sur la dynamique qui affecte le système terrestre à l'échelle mondiale et locale [1, 2]. Dans ce contexte, le programme international Land Use and Land Cover Changes (LULCC) vise à améliorer la compréhension de la dynamique de l'utilisation des terres et des changements à l'utilisation des terres à l'échelle mondiale, dans le but de prévoir ces changements [3]. En Afrique de l'Ouest, les écosystèmes des régions soudano sahéliennes ont connu au cours des dernières décennies, des modifications importantes dans l'occupation et l'usage des sols. Les raisons évoquées sont d'une part l'évolution démographique avec une nette augmentation des populations, des pratiques de gestion inappropriées des ressources naturelles, la saturation de nombreux terroirs et d'autre part les variabilités et changements climatiques. Les conséquences les plus notables des récents développements anthropiques et

climatiques sont la dégradation de l'environnement et la baisse de la productivité des écosystèmes [4, 5], la malnutrition, une situation sanitaire précaire (touchant particulièrement les enfants) et le stress psychologique [6]. Au niveau des écosystèmes des bassins versants, les utilisateurs et les gestionnaires se plaignent le plus souvent de la dégradation de la couverture végétale et de la perte de biodiversité, de l'érosion des sols, des berges et de la sédimentation dans les cours d'eau et les structures hydrauliques [7, 8]. Dans le bassin versant de Korola comme dans le reste de la zone Mali-sud, la pression exercée sur les terres agricoles par l'extension des superficies consacrées à la culture du coton et des céréales, la généralisation de la culture attelée et l'augmentation du cheptel bovin ont été des faits marquants dans l'évolution de l'occupation et de l'usage des sols. Tous ces facteurs ont entraîné la saturation de l'espace agricole avec l'extension considérable des superficies cultivées jusqu'aux terres marginales donnant de faibles rendements et une réduction de la durée des jachères menaçant le renouvellement de la fertilité des sols, [9]. A cela il faut ajouter le surpâturage et le morcellement de l'espace pastorale entraînant la raréfaction des pâturages [10]. Les modes de défrichements de nouveaux champs ainsi que leur ampleur à travers la réduction ou l'élimination de l'espace jachère apparaissent comme des indicateurs pertinents.

Des études dans le petit bassin versant agricole de Korokoro (74 km²), en région CMDT de Fana, ont montré que les jachères occupent seulement 22 % de sa surface [11]. Ce même auteur a mené des recherches sur un autre petit bassin versant, situé dans la zone CMDT de Koutiala, (le bassin versant de Welenguena : 20 km²) et les résultats ont montré l'absence totale de jachère. Afin d'aider les producteurs du bassin versant de Korola à relever les différents défis qui se posent à eux, il est impératif d'être en mesure d'évaluer l'ampleur de la dégradation environnementale pour apporter des réponses appropriées. Les systèmes de détection et d'information géographique (SIG) sont des outils adéquats pour comprendre ces différents changements, en particulier dans l'occupation des terres et des couvertures végétales [12, 13]. L'utilisation conjointe de la télédétection à plusieurs échelles et des observations in situ multidisciplinaires selon des protocoles rigoureux est un outil unique pour atteindre ces objectifs. L'objectif de ce travail est d'étudier l'évolution de l'occupation du sol dans le bassin versant de Korola en vue d'une meilleure gestion des terres. De façon spécifique, il s'agit de :

- Produire des cartes d'occupation des sols aux quatre dates.
- Analyser diachroniquement l'évolution de la dynamique d'occupation des sols de 1984 à 2014.

I-2. Présentation de la zone d'étude

Le bassin versant de Korola est un sous-bassin du moyen Bagoé. Les coordonnées à l'exutoire sont 6°23'45"W et 11°42'54"N; l'altitude est de 304 m. Il couvre une superficie de 1245,3 km² dans la région de Sikasso, où 3 communes rurales (Blendio, Dembele, Koufan) y sont pleinement inscrites, ainsi que les villages des communes de Miria, Niéna, Tiankadi et Kapolondougou (*Figure 1*). Ce bassin versant est situé dans la ceinture soudano-sahélienne occidentale, une région semi-aride. Il est occupé par 43 villages et hameaux de culture, avec une population estimée à 42 700 habitants d'après les données collectées auprès des mairies des différentes communes dans les programmes de Développement Social, Economique et Culturel [14]. La pluviométrie moyenne annuelle est de 1000 mm/an. Le relief du bassin versant est dominé par les massifs rocheux avec sommet cuirassé, atteignant 405 à 455 m d'altitude. L'Atlas des Ressources Terrestres du Mali [15] montre la présence de 3 unités sol- végétation dans le bassin versant qui sont TC5, PL9, PL11. Le bassin versant de Korola est principalement drainé par une rivière à écoulement généralement permanent appelé « Koba » dont le plus important affluent est la rivière de Sinani.

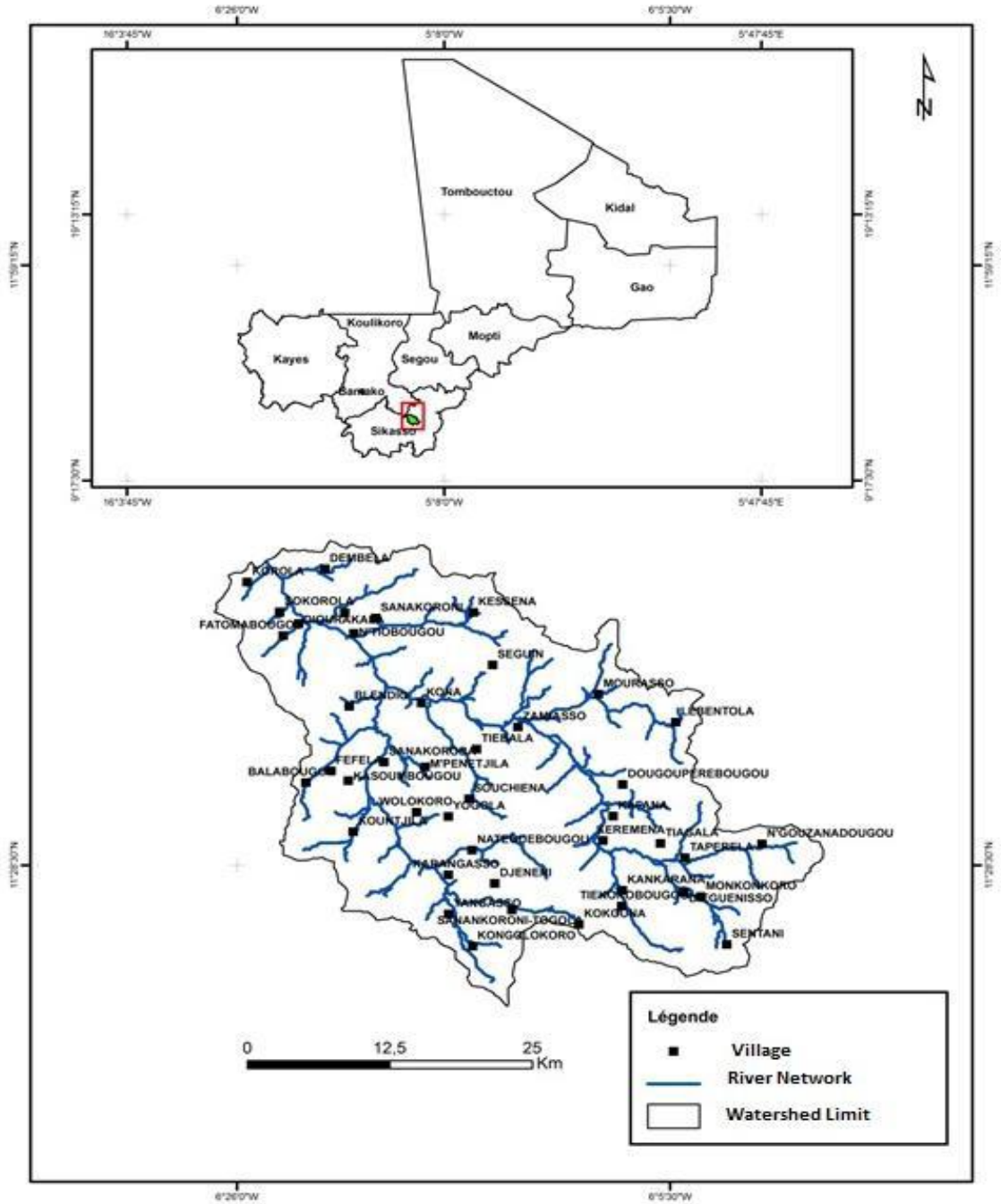


Figure 1 : Présentation du bassin versant de Korola

II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

II-1. Matériel

a) *Données images*

Dans cette étude, les images satellitaires Landsat de différentes dates (1984, 1994, 2006, 2014) ont été utilisées. Le choix porté sur ces images se justifie par leur large couverture zonale (scène de 180 x 180 km), résolution spatiale et gratuité. Elles ont été téléchargées sur le site (<http://glovis.usgs.gov/>) au format Geotiff. Il est à signaler que ces images sont déjà géo référencées sous le système de projection (UTM, WGS 1984), avec les différentes corrections radiométriques nécessaires. Les limites du bassin versant ont été extraites d'une image du SRTM de février 2000. Il s'agit d'une image acquise par la navette spatiale Endeavour (STS-99) à une altitude de 233 km, au cours d'une mission de 11 jours. Sa résolution spatiale est de 90 m.

b) *Logiciels*

Deux logiciels ont permis de faire ce travail : ENVI 4.8 (un logiciel de télédétection) et Arc GIS 10.3 (un logiciel de Système d'Information Géographique, SIG). Les traitements d'images ont été faits à l'aide du logiciel ENVI, tandis que le logiciel ArcGIS a servi à produire les cartes d'occupation des sols.

II-2. Méthodes

II-2-1. *Cartographie de l'occupation des sols*

Dans cette étude, l'occupation du sol a été cartographiée à l'aide de la méthode de comparaison de classification décrite par différents auteurs. Cette technique est basée sur la classification des images en composition colorée avec l'affectation de la bande 5 (milieu infrarouge) au rouge, de la bande 4 (proche infrarouge) au vert, et de la bande 3 (rouge) au bleu. Cette méthode a permis de produire les cartes d'occupation en passant par trois étapes clés, qui sont :

II-2-1-1. *Prétraitement des images satellites*

Le prétraitement des images satellitaires est un ensemble d'opérations qui consistent à rendre des données brutes aptes à une analyse thématique. Tout en effectuant des importations d'images, il permet la combinaison des bandes, les corrections géométriques, et radiométriques des images, la mosaïque, l'extraction du contour de la zone d'étude. Dans ce travail, nous avons appliqué l'amélioration du contraste par la méthode des histogrammes pour faciliter l'interprétation visuelle et la compréhension des images. L'amélioration du contraste est effectuée en modifiant les valeurs initiales pour utiliser toutes les valeurs de pixel pour améliorer le rapport de signal sonore.

II-2-1-2. Traitement des images satellites

Dans le bassin versant de Korola, une première œuvre a porté sur une étude diachronique de quatre images landsat (1984, 1994, 2006, 2014) pour produire 4 cartes d'occupation pour ces dates. La classification supervisée des images satellites est basée sur une connaissance préalable du domaine. Les classes sont définies en fonction des objectifs de l'étude et correspondent aux unités sémantiques de l'image, ce qui nécessite une étape d'apprentissage pré-classification. Il consiste à déterminer les classes en apprenant qui peuvent être faites, soit à chaque étape traitée, pour chaque type d'application ou pour chaque type de capteur utilisé. Afin de mieux séparer les classes d'occupation des sols, des indices de végétation (NDVI et Tasseled cap, SAVI) ont été appliqués aux images multitemporales à l'aide du logiciel de traitement d'images ENVI. Dans ce travail, le système de référence géographique est (UTM 29, WGS 84).

II-2-1-3. Interprétation visuelle et numérisation

Pour l'établissement de cartes d'occupation des sols, la méthode de classification supervisée, avec l'algorithme de maximum de vraisemblance est appliquée sur les images satellitaires Landsat, et la sortie des dites cartes d'occupation des sols est faite à l'aide du logiciel Arc GIS 10.3. Tous les résultats obtenus ont fait l'objet d'interprétation afin de préciser les changements de superficies connus par les différentes classes d'occupation du sol.

III - RÉSULTATS ET DISCUSSION

III-1. Présentation des résultats

III-1-1. Occupation du sol dans le bassin versant de Korola

La cartographie, à partir des images Landsat a permis de bien caractériser l'occupation du sol aux quatre dates (1984, 1994, 2006, 2014) en distinguant cinq classes ou unités d'occupation du sol : surfaces cultivées, savane arborée, savane arbustive, savane arborée dégradée et sols nus. Les **Figures 2 à 5** présentent les cartes d'occupation du sol dans le bassin versant respectivement en 1984, 1994, 2006 et 2014 et le tableau 1 donne l'évolution de l'occupation du sol à ces dates.

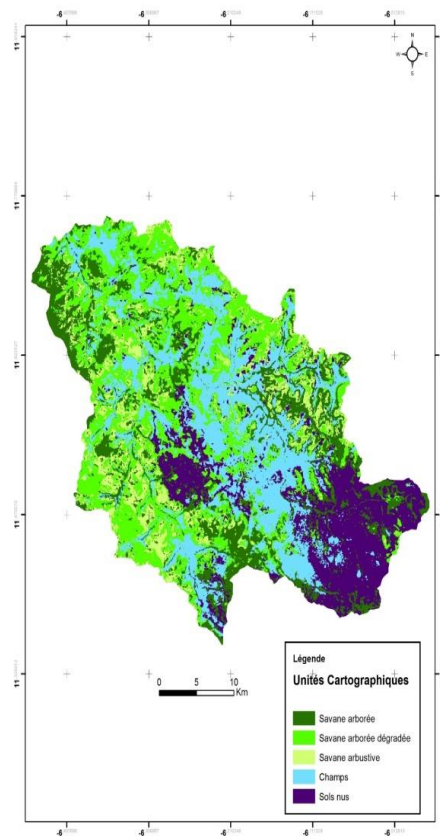
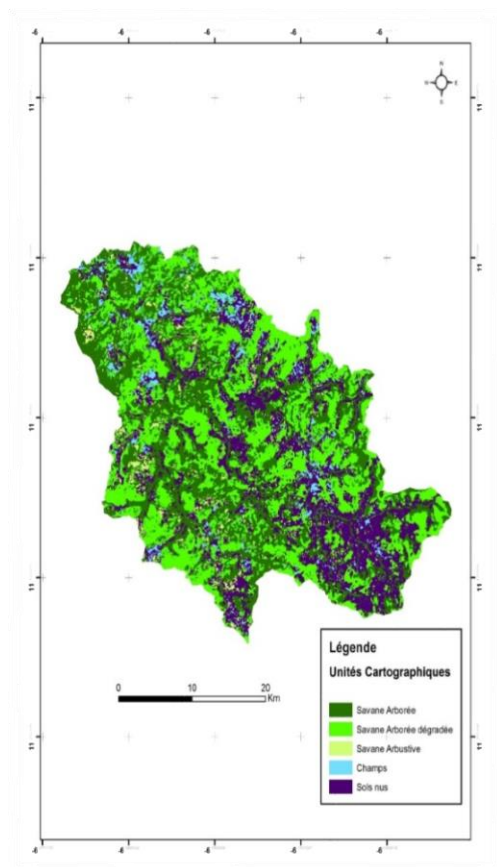


Figure 2 : Occupation du sol en 1984

Figure 3 : Carte d'occupation du sol en 1994

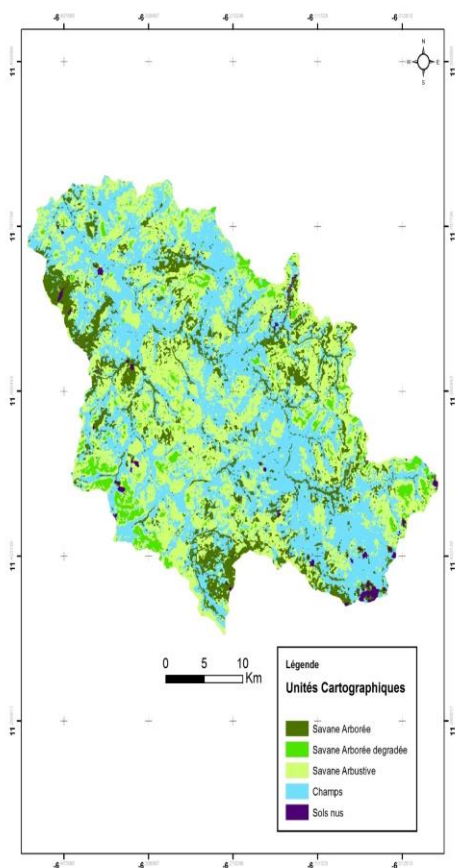


Figure 4 : Occupation du sol dans le Bassin versant de Korola en 2006

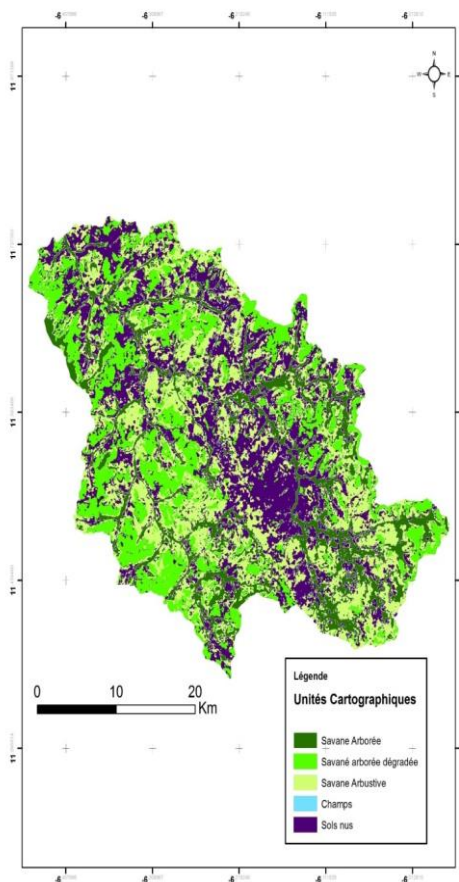


Figure 5 : Occupation du sol dans le Bassin versant de Korola en 2014

III-1-2. Évolution de l'occupation du sol dans le bassin versant de Korola de (1984 à 2014)

La superficie occupée par chaque classe et sa proportion dans le bassin versant de 1245,3 km² sont indiquées dans le **Tableau 1**.

Tableau 1 : Proportion des unités d'occupation du sol et leur évolution dans le bassin versant de Korola (période 1984 à 2014)

Occupation	Symbole	Superficie occupée							
		1984		1994		2006		2014	
		Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Surfaces cultivées	Scu	50,7	4,1	296,5	23,8	314,4	25,2	296,0	23,8
Savane arborée	SA	431,3	34,6	230,0	18,5	179,6	14,4	60,8	4,9
Savane arbustive	Sarb	46,2	3,7	133,2	10,7	111,0	8,9	257,8	20,7
Savane arborée dégradée	SAd	430,6	34,6	370,7	29,8	351,4	28,2	285,3	22,9
Sol nu	SN	286,7	23,0	215,0	17,3	288,9	23,2	345,6	27,8

L'analyse de ce **Tableau** montre qu'en 1984, les classes de savane arborée et savane arborée dégradée occupent la plus grande surface avec (34,6 %) du bassin versant. Ces classes sont suivies par les sols nus (23,0 %), les cultures (4,1 %) et la savane arbustive (3,7 %). Entre 1984 et 1994, la savane arborée dégradée occupe la plus grande surface avec (29,8 %) suivie par les cultures (23,8 %), la savane arborée (18,5%), le sol nu (17,3 %) et la savane arbustive (10,7 %). Entre 1994 et 2006, les surfaces occupées par les différentes classes sont respectivement (28,2 %) pour savane arborée dégradée, (25,2 %) pour les surfaces cultivées, (23,2 %) pour le sol nu, (14,4 %) pour la savane arborée et (8,9 %) pour la savane arbustive. Entre 2006 et 2014, les sols nus occupent la plus grande surface (27,8 %), suivie des surfaces cultivées (23,8 %), savane arborée dégradée (22,9 %), savane arbustive (20,7 %) et savane arborée 4,9 %. Les caractéristiques dominantes de l'évolution de l'occupation du sol entre les deux dates extrêmes 1984 et 2014 sont présentées ci-dessous :

- Une augmentation des surfaces occupées par les cultures de (4,1 %) à (23,8 %) soit une augmentation de 19,7 % ;
- Une augmentation des surfaces occupées par la savane arbustive de (3,7 % à 20,7 %) soit une augmentation de 17 %.
- Une augmentation des surfaces occupées par les sols nus de 23 % à 27,8 % soit une augmentation de 4,8 %.
- Une diminution des surfaces occupées par les savanes arborées dégradées (34,6 %) à 22,9 %) soit une diminution de 11,4 % ;
- Une diminution notable des surfaces occupées par la savane arborée de (34,6 %) à 4,9 %) soit une diminution de 29,7 %).

III-2. Discussion

La répartition de l'espace entre formations naturelles ou faiblement anthropisées et zones de culture est une caractéristique classique des bassins versants agricoles. La dynamique d'occupation des sols observée dans le bassin

versant de Korola entre 1984 et 2014 est perceptible sur les *Figures 2 à, 5* et l'évolution de cette occupation par les données dans le *Tableau 1*. L'analyse diachronique des images satellitaires Landsat aux quatre dates (1984, 1994, 2006 et 2014) a permis de produire quatre cartes d'occupation ou unités cartographiques à savoir les zones occupées par les cultures, la savane arbustive, les sols nus, la savane arborée et la savane arborée dégradée. L'analyse de ces cartes montre que le bassin versant de Korola a subi une évolution profonde dans l'occupation des sols. En effet, les surfaces occupées par les cultures, la savane arbustive, les sols nus ont connus une forte augmentation durant la période de l'étude avec respectivement 19,7 %; 23,8 % et 27,8 %. Par contre, la savane arborée et la savane arborée dégradée ont subi une diminution de superficies de 11,4 % et 29,7 % au profit des trois premières unités d'occupation. Cette dynamique se traduit par une augmentation des superficies cultivées, de la savane arbustive et des sols nus au détriment de la diminution des superficies de la savane arborée et savane arborée dégradée avec un total d'occupation de 75,8 %. Des résultats similaires ont été notés par [16] qui a fait ressortir un taux d'occupation de l'espace compris entre 50 et 75 % dans le Yatenga au Burkina Faso. Cependant, un des faits marquants dans la dynamique de l'occupation est l'augmentation des superficies occupées par les cultures avec une occupation de 19,7 % en 30 ans. Ce résultat corrobore celui de [17] qui a mis en évidence une perte de surfaces cultivables atteignant 20 à 30 % sur une période de trente années au Burkina Faso. L'augmentation importante des surfaces cultivées dans le bassin versant peut s'expliquer par :

- l'accroissement de la population locale ; les autorités villageoises signalent un doublement de la population au cours des 40 à 50 dernières années et la saturation de nombreux terroirs ;
- l'introduction de la culture cotonnière, accompagnée du développement de la traction animale, un moyen mécanique d'extension des surfaces labourées ainsi que l'adoption des techniques culturelles inadaptées.
- La variabilité et changement climatique en cours dans les régions ouest africaine depuis les années 1970.

Un aspect positif mis en exergue dans cette étude est la reconstitution de surfaces de la savane arbustive. La progression des surfaces occupées par la savane arbustive de 17 % pourrait s'expliquer par : l'adoption des techniques de conservation de l'eau et des sols avec la plantation d'arbres et de haies vives, les pratiques d'agroforestières, les activités de reboisement et de protection de certaines zones, depuis les années 80. En effet, du fait de la protection délibérée et sélective de quelques espèces arborées considérées comme utiles, les terrains les plus fréquemment cultivés présentent aujourd'hui des parcs arborés à peuplement relativement homogène, dans lesquels prédominent très largement

le karité (*Vitalleria paradoxa*) et le néré (*parkia Biglobosa*). Ce résultat est confirmé également par travaux réalisés en Côte d'Ivoire et particulièrement dans le bassin versant du N'Zi-Bandama par [18] qui ont montré un renforcement des superficies des forêts. La réduction des superficies de la savane arborée et de la savane arborée dégradée de 11,4 % et de 29,7 %) peut s'expliquer par deux principaux facteurs :

- d'une part, les facteurs anthropiques qui sont liées aux activités agropastorales comme la coupe abusive du bois pour les besoins énergétiques et de bois d'œuvre par suite de la pression démographique, la déforestation, les feux de brousse pratiqués de manière anarchique, la pratique d'agriculture extensive entraînant l'extension des champs jusqu'aux terres marginales, les mauvaises pratiques agricoles, érosion des sols, le surpâturage, et la réduction de la pratique des jachères.
- d'autre part les facteurs climatiques, en particulier la diminution de la pluviométrie et la prolongation des périodes sèches favorisent la raréfaction ou même la disparition de certaines essences forestières.

La dégradation des formations végétales denses (savane arborée et savane arborée dégradée) en cours dans le bassin versant de Korola est semblable à celle observée dans différents terroirs à travers les régions soudanaises d'Afrique de l'Ouest particulièrement au Mali [19, 20], au Bénin [21], au Sénégal [22] et au Burkina Faso [23]. L'augmentation des superficies occupées par les sols jusqu'à (27,8 %), peut s'expliquer par l'augmentation des superficies cultivées et la dégradation des formations végétales denses (savane arborée et savane arborée dégradée) qui ont mis à nu les sols de faible épaisseur sur cuirasse où l'induration ferrugineuse et la médiocre capacité de stockage en eau s'opposent à un développement ultérieur correct de la végétation. Ce résultat est conforme à celui de [24] qui a étudié le développement des plages nues en zone soudanienne du Burkina Faso.

IV - CONCLUSION

L'étude diachronique réalisée sur les images satellitaires Landsat de 1984, 1994, 2006, 2014 a permis de produire quatre cartes d'occupation du sol. Ces cartes montrent que le bassin versant de Korola a subi une modification profonde de l'occupation du sol en distinguant cinq classes ou unités d'occupation du sol et leur évolution. Les surfaces cultivées, la savane arbustive et sols nus ont connu une augmentation de superficies durant la période de l'étude, avec respectivement un taux de progression de 19,7 % ; 17 % ; 4,8 %. Les unités savane arborée, savane arborée dégradée ont subi une régression notable de 11,4 % et 29,7 %) au profit des trois premières. Ces

modifications sont dues aux facteurs anthropiques liées aux activités agropastorales comme la coupe abusive du bois, la pression démographique, la déforestation, les feux de brousse, la pratique d'agriculture extensive, les mauvaises pratiques agricoles, érosion des sols, le surpâturage et la réduction de la pratique des jachères et à la variabilité et changement climatique en cours dans les régions ouest africaine depuis les années 1970.

RÉFÉRENCES

- [1] - E. F. LAMBIN, B. L. TURNER, H. J. GEIST, S. B. AGBOLA, A. ANGELSEN, J. W. BRUCE, O. T. CONNES et al., The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, 11 (2001) 261 - 269
- [2] - E. LEPERS, E. F. LAMBIN, C. ANTHONY, J. R. DEFRIES, F. ACHARD, N. RAMANKUTTY, R. J. SCHOLLES, A synthesis of information on rapid land-cover change for the period 1981-2000. *BioScience*, Vol. 55, N°2 (February 2005) 115 - 124
- [3] - J. P. CHERRY, (2005). Site internet : [http://www.teledetection.fr/occupation du sol.html](http://www.teledetection.fr/occupation%20du%20sol.html)
- [4] - C. MBOW, O. MERTZ, A. DIOUF, K. RASMUSSEN, A. REENBERG, The history of environmental change and adaptation in eastern Saloum-Senegal-Driving forces and perceptions. *Global and planetary change*, 64 (2008) 110 - 221
- [5] - O. MERTZ, C. MBOW, A. REENBERG, A. DIOUF, Farmer's perception of climate change and agricultural strategies in rural Sahel. *Environmental management*, 43 (2009) 804 - 816
- [6] - B. BARBIER, H. YACOUBA, H. KARAMBIRI, M. ZOROMÉ, B. SOMÉ, Human vulnerability to climate variability in the Sahel: Farmer's adaptation strategies in northern Burkina Faso. *Environmental management*, 43 (2009) 790 - 803
- [7] - OMVS/UICN, Projet de gestion de des ressources en eau et de l'environnement du bassin versant du Fleuve Sénégal-Projet GEF/BFS, (2007) 38 p.
- [8] - I. ANDERSON, O. DIONE, M. J. HOLDER, J. C. OLIVERY, The Niger River Basin. A vision for sustainable management, (2005)
- [9] - M. DUFUMIER, Etude des systèmes agraires et typologie des systèmes de production agricole dans la région cotonnière du Mali, (2005) 83 p.
- [10] - A. BA, L'intégration agriculture-élevage dans la zone cotonnière au Mali-sud : quelles sont les pratiques paysannes de gestion des biomasses? Etude de cas dans les villages de Zoumana Diassa et de Pala, (2004)

- [11] - ANONYME, Pratiques de gestion des écosystèmes de savane au Mali et leurs conséquences sur les sols, les eaux et la biodiversité. Rapport d'étape du projet CORUS, (2006) 21 p.
- [12] - M. DIARRA, "Apport de la télédétection dans l'étude de la dynamique spatio-temporelle du couvert végétal dans le vieux bassin cotonnier du mali (koutiala) : cas de la commune de M'pessoba", Mémoire de master, Université de Liège, Gembloux Agro-Bio-Tech, Liège, Belgique, (2016) 75 p.
- [13] - M. F. HADJADJ, Apport des SIG et des images satellites pour la cartographie numérique de la forêt du Chettabah (Wilaya de Constantine) : Modélisation climatique et classification. Mémoire de fin d'études, Université El-Hadj Lakhdar Batna, Constantine, Algérie, (2011) 178 p.
- [14] - PDSEC, Plan quinquennal de Développement Economique Social et culturel de la commune de Blédio (2005-2009). Avril 2005 et la Statistique agricole de la CMDT, (2005)
- [15] - PIRT, Les ressources terrestres. Kenner Printing Co. New York: Atlas + descriptions Annexes, (1983)
- [16] - N. P. ZOMBRE, Evolution de l'occupation des terres et localisation des sols nus dans le Centre Nord du Burkina Faso. *Télédétection*, Vol. 5, N°4 (2006) 285 - 297 p.
- [17] - N. V. DUIVENBOODEN, S. GROTEN, & A. SOHORU, (Eds.) Les systèmes d'aide à la décision basés sur les systèmes d'information géographiques et les modèles bio-économiques' Compte rendu d'atelier international ICRISAT, INERA, ITC, 6 – 14 Avril 1999, Ouahigouya, Burkina Faso, (1999)
- [18] - A. M. KOUASSI, K. F. KOUAME, K. E. AHOUSI, S. OULARE et J. BIEMI, Impacts conjugués des changements climatiques et des pressions anthropiques sur les modifications de la couverture végétale dans le bassin versant du N'Zi-Bandama (Côte d'Ivoire). *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, 20 (2012) 124 - 146
- [19] - H. DIALLO, I. BAMBA, Y. S. S. BARIMA, M. VISSER, A. BALLO, A. MAMA & J. BOGAERT, "Effets combinés du climat et des pressions anthropiques sur la dynamique évolutive de la végétation d'une zone protégée du Mali (Réserve de Fina, Boucle du Baoulé)", *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 22 (2) (2011) 97 - 107
- [20] - M. DIARRA, Apport de la télédétection dans l'étude de la dynamique spatio-temporelle du couvert végétal dans le vieux bassin cotonnier du mali (koutiala) : cas de la commune de M'pessoba", Mémoire de master, Université de Liège, Gembloux Agro-Bio-Tech, Liège, Belgique, (2016) 75 p.
- [21] - T. I. NOUROU, A. OUSEINI, T. I. ISMAILA, "Cartographie De La Dynamique Spatio-Temporelle Des Parcours Naturels Des Troupeaux Transhumants Dans Les Communes De Banikoara Et De Karimama Au Bénin (Afrique De L'ouest)", *European Scientific journal*, Vol. 12, N°32 ISSN: (2016) 1857 - 7881 (Print) e - ISSN 1857 - 7431

- [22] - M. NDAO, ‘‘Dynamiques et gestion environnementales de 1970 à 2010 des zones humides au Sénégal : étude de l’occupation du sol par télédétection des Niayes avec Djiddah Thiaroye Kao (à Dakar), Mboro (à Thiès et Saint-Louis)’’, Géographie. Université Toulouse le Mirail - Toulouse II, France, (2012)
- [23] - H. Y. C, HOUNTONDI, ‘‘Dynamique environnementale en zones sahélienne et soudanienne de l’Afrique de l’Ouest : Analyse des modifications et évaluation de la dégradation du couvert végétal’’, Thèse de Doctorat, Université de Liège, Liège, Belgique, (2008)
- [24] - S. SOULAMA, A. KADEBA, I. M. B. NACOULMA, S. TRAORE, Y. BACHMANN, A. THIOMBIANO, Impact des activités anthropiques sur la dynamique de la végétation de la réserve partielle de faune de Pama et de ses périphéries (sud-est du Burkina Faso) dans un contexte de variabilité climatique. *Journal of Applied Biosciences*, 87 (2015) 8047 - 8064