

SUIVI DE LA DYNAMIQUE ENVIRONNEMENTALE DE 1985 A 2018 EN ZONE SOUDANO-SAHÉLIENNE PAR TÉLÉDETECTION : CAS DE LA COMMUNE RURALE DE NYAMINA

**Ibrahima DAOU^{1*}, Alou COULIBALY¹, Amadou SIDIBE¹,
Habibatou SANGARE¹, Issiaka KEITA¹, Youssouf BOLOZOGOLA¹,
Adama TOURE² et Adama MARIKO²**

¹*Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée de
Katibougou (IPR / IFRA), BP 224 Koulikoro, Mali*

²*Ecole Nationale d'Ingénieurs Abderrahmane Baba Touré (ENI-ABT),
BP 242 Bamako, Mali*

* Correspondance, e-mail : ibrada2@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Le Mali, plus particulièrement la commune rurale de Nyamina, à l'instar des autres pays de la zone soudano-sahélienne, connaît depuis la fin des années 1970 une forte variabilité et changement climatique dont les conséquences sur les ressources naturelles et les populations sont signalées par plusieurs auteurs. Pour faire face à ses multiples défis, les communautés ont développé plusieurs stratégies et techniques, notamment des pratiques culturelles conservatrices d'eau et des sols, les reboisements, les mise en défend de certains domaines du terroir. Dans la commune de Nyamina, l'amélioration de la productivité des écosystèmes (cultivés et autres) et des conditions de vie des populations est une préoccupation majeure, d'où la nécessité de coupler à ses stratégies et techniques d'autres moyens nouveaux, pour soulager les communautés. Dans le but de contribuer à relever ces défis, cette étude a été initiée. La méthodologie utilisée pour l'étude est l'utilisation des technologies d'observation de la terre (télédétection) pour suivre la dynamique de l'occupation des sols à l'échelle de la commune de Nyamina sur une période de 33 ans. Les résultats montrent une forte dégradation de la savane arborée et savane arborée dégradée au profit de la savane arbuste et sols nus et cultures.

Mots-clés : *occupation des sols, télédétection, variabilité climatique, commune de Nyamina.*

ABSTRACT**Monitoring of the environmental dynamics from 1985 to 2018 in the Sudano-Sahelian zone by remote sensing : case of the rural commune of Nyamina**

Mali, more particularly the rural commune of Nyamina, like the other countries of the Sudano-Sahelian zone, knows since the end of the 1970s a strong variability and climate change whose consequences on the natural resources and the populations are reported by several authors. To cope with its multiple challenges, the communities have developed several strategies and techniques, including conservative farming practices and soil, reforestation, defending certain areas of the soil. In the commune of Nyamina, the improvement of the productivity of the ecosystems (cultivated and other) and the living conditions of the populations is a major concern, hence the need to couple to its strategies and techniques other new means, for relieve communities. In order to help meet these challenges, this study was initiated. The methodology used for the study is the use of earth observation technologies (remote sensing) to monitor the dynamics of land use at the Nyamina commune scale over a period of 33 years. The results show a strong degradation of the shrubby savannah and degraded savannah trees in favor of herbaceous savannah and bare soils and crops.

Keywords : *land use, remote sensing, climate variability, commune of Nyamina.*

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

Dans les régions soudano-sahéliennes d'Afrique occidentale, les dernières décennies ont été caractérisées par une forte variabilité climatique se manifestant par la fréquence accrue des événements climatiques extrêmes, la récurrence et l'allongement des poches de sécheresse et la forte incertitude concernant la date de démarrage et la durée de la saison culturale [1]. Le couplage des aléas climatiques avec la croissance démographique et la pression anthropique a des conséquences multiples parmi lesquelles la dégradation des écosystèmes et la baisse conséquente de leur productivité, la multiplication des conflits d'utilisation des ressources naturelles [2]. La grande vulnérabilité des systèmes de production agropastorale est désormais affichée de façon claire. Les défis du développement de façon générale et de résilience des communautés et des systèmes en particulier sont dès lors analysés au prisme de "l'urgence environnementale" liée à ces changements environnementaux récurrents dans cette région [3]. Aujourd'hui, l'amélioration de la productivité des écosystèmes (cultivés et autres) et des conditions de vie des populations

rurales est une préoccupation majeure dans les pays sahéliens. Elle exige le développement de stratégies d'adaptation innovantes et appropriées. Ces stratégies doivent largement prendre en compte les variabilités climatiques et leurs conséquences observées. Ce travail, pour être efficace, ne doit pas être conçu pour les seules échelles globale et régionale. Il doit être également pensé et mis en œuvre aux échelles locales (commune, petit bassin versant agricole, etc.) où l'implication des populations peut être forte pour garantir les améliorations souhaitées. Ces considérations ont conduit au choix d'une commune rurale du Mali, celle de Nyamina (1 297,4 km² ; 46 495 habitants ; 50 villages) pour la présente étude. Dans cette commune, il existe un problème apparent d'utilisation des ressources naturelles, susceptible de compliquer l'application de techniques modernes de production. En effet, cette commune s'inscrit dans un ensemble où 70 % des ressources en terre montrent des sols de granulométrie grossière ou un horizon cuirassé à faible profondeur (PIRT, 1983). Les terrains cuirassés ici et dans d'autres zones maliennes, sont jugés marginaux pour l'agriculture [4]. D'autre part, l'analyse du rapport du plan de développement social économique et culturel (PDSEC), période 2018-2022 de la commune de Nyamina [5] montre, au-delà du problème hydroclimatique (irrégularités et insuffisance des pluies et des crues), l'existence de nombreux autres problèmes et contraintes de développement agricole : pauvreté des sols, ensablement du réseau hydrographique, augmentation incontrôlée des parcelles cultivées,

non disponibilité d'intrants agricoles, dégradation des pâturages et obstruction des pistes et gîtes d'étapes de transhumance, conflits entre agriculteurs et éleveurs, exode rural des bras valides, etc. La résolution de ces multiples contraintes et problèmes n'est pas envisageable sans une bonne connaissance des ressources naturelles de la commune et la mise en œuvre de stratégies et techniques mieux indiquées. En raison de toutes ces considérations, il urge aujourd'hui d'entreprendre des études poussées sur l'utilisation des nouvelles technologies couplées aux mesures sur terrain pour comprendre les dynamiques en cours et proposer des pistes de solutions pouvant servir d'outils d'aide à la décision. Dans, notre étude (phrase incomplète), l'accent a été mis sur l'utilisation des données satellitaires pour suivre l'évolution environnementale au cours des trois dernières décennies dans la commune rurale de Nyamina. Son objectif est de contribuer à l'étude de l'évolution environnementale (au cours des 30 dernières années) en rapport avec les changements climatiques et la croissance démographique, par apport de la télédétection, à travers l'utilisation des images satellitaires bases résolution (Landsat TM et OLI/TIRS).

De façon spécifique, il s'agira :

- Analyser diachroniquement la dynamique d'occupation des sols de 1985 et 2018 de la commune rurale de Nyamina.
- Déterminer les facteurs responsables des changements intervenus
- Etablir la relation entre les changements intervenus et les facteurs à l'origine de ces changements.
- Produire des cartes d'occupation des sols aux deux dates (1985, 2018)

I-2. Présentation de la zone étude

Nyamina est le chef-lieu d'une vaste commune de 50 villages officiels, couvrant une superficie de 1 431 km². La commune de Nyamina est située sur la rive gauche du fleuve Niger et à une distance d'à peu près de 130 km par route du chef-lieu de cercle (Koulikoro). Elle est égale distance de Ségou et de Koulikoro par voie fluviale (90 km). Elle est limitée au Nord par la commune de Toukoroba (Banamba), à l'Est par la commune de Souba, à l'Ouest par la commune de Tougouni, au sud par la limite naturelle du fleuve Niger (*Figure 1*). Le Relief est essentiellement constitué de quelques plateaux s'élevant au-dessus d'une vaste plaine. Sur le plan hydrographique, la commune est arrosée par le fleuve Niger et quelques mares qui servent de lieux de pêche ou de points d'abreuvement des animaux. Situé à la porte du Sahel, la commune de Nyamina connaît un climat de type sahélien. La pluviométrie moyenne annuelle est inférieure à 800 mm/an, avec un régime unimodal de juin à octobre. L'harmattan souffle toute la saison sèche. C'est le domaine de la steppe avec une prédominance d'arbres épineux.

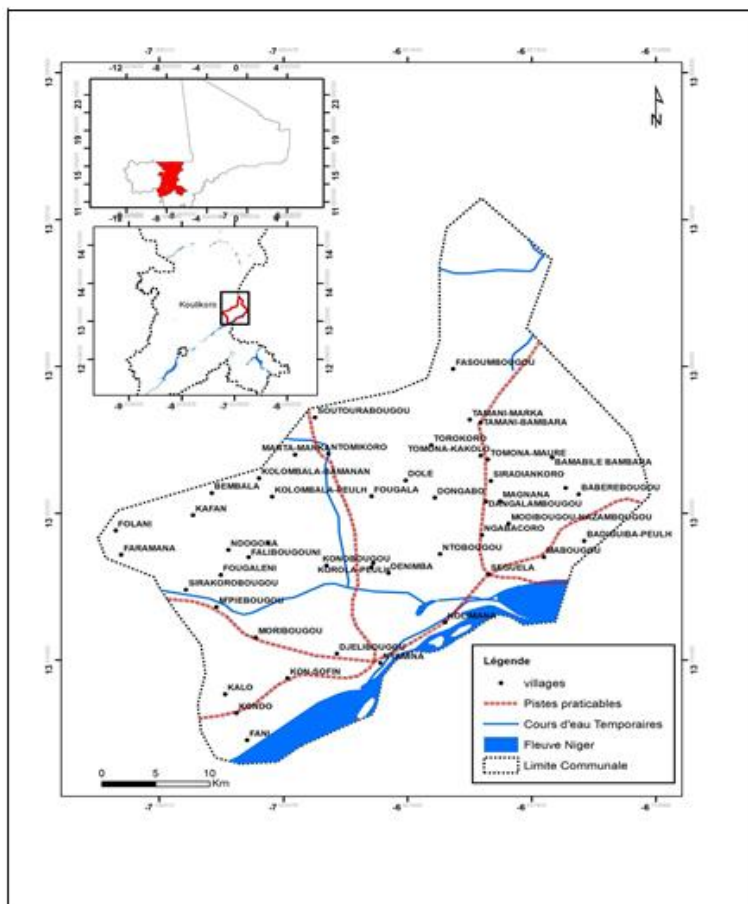


Figure 1 : Présentation de la commune de Nyamina

II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

II-1. Matériel

a) Données Images

Dans cette étude, les images Landsat 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. Les images satellitaires Landsat de différentes dates (1985, 2018) ont été utilisées dans ce travail. 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. La commune rurale de Nyamina qui constitue la zone d'étude est couverte par une seule scène Landsat pour les images de 2018 dont les caractéristiques (path and row) sont 199 - 051 et deux scènes pour les images de 1985 (199 - 050, 199 - 051).

b) Données Vecteurs

Les fichiers vecteurs (limites de la commune, le réseau de pistes, les villages, le réseau hydrographique, etc.) ont été utilisés pour l'étude. Ils ont été obtenus auprès de l'Institut Géographique du Mali.

c) 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

La démarche cartographique retenue dans cette étude, est la classification supervisée, avec l'algorithme « maximum de vraisemblance ». Elle a permis de produire les cartes d'occupation en passant par trois étapes clés, qui sont

II-2-1. Classification numérique des images

En vue de faciliter le choix des sites d'entraînement, des compositions colorées (bandes 6, 5,4), des indices de végétation (NDVI) et le Tasseled cap, SAVI, NDWI ont été produits. Ces compositions colorées et indices de végétation sont interprétés de façon visuelle pour l'identification des zones d'entraînements. A partir des réalités de terrain, la méthode de classification supervisée ou dirigée, avec l'algorithme de « maximum de Vraisemblance » est utilisée. Cette méthode de classification consiste à définir des règles permettant de classer des objets dans des classes à partir de variables qualitatives ou quantitatives caractérisant ces objets. Dans notre étude, des sites d'entraînement ou zone d'intérêt (ROI) sont choisis en fonction des différentes unités cartographiques. Ce choix se base sur les caractéristiques radiométriques des pixels à travers la composition colorée produite, les indices de végétation (NDVI) et le Tasseled cap élaboré. Ces sites d'entraînement doivent couvrir toute l'image de sorte qu'aucune section ne soit épargnée. A partir de ces sites d'entraînement, le reste des pixels de l'image est classé. Avec la méthode du maximum de vraisemblance, les résultats sont validés à travers une vérification des résultats obtenus sur le terrain.

II-2-2. Restitution cartographique des classifications

Les images classées ont été filtrées à l'aide du filtre Majority et Minority, de taille 3 x 3. Le processus de classification permet de générer des statistiques descriptives sur les superficies des différentes unités cartographiques et de la qualité de la classification à travers le coefficient Kappa (supérieur à 0,80 %). Les résultats issus des différentes étapes de la classification sont fusionnés afin de retenir les unités cartographiques appropriées.

II-2-3. Interprétation des résultats obtenus

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

Pour le suivi de la dynamique environnementale de la commune rurale de Nyamina, deux images satellitaires landsat ont été retenues. Il s'agit d'une image de 1985 (LM51990511985043AAA03) qui est issue du capteur TM et la deuxième obtenue du capteur OLI/TIRS 2018 (LC08_L1TP_199051_20180122_01_RT). Toutes les deux images utilisées dans cette étude ont subi des corrections radiométriques et géographiques de la part de la NASA. Une fois téléchargées, ces images sont traitées sous le logiciel ENVI pour extraire les différentes unités cartographiques. En fin, ces résultats ont l'objet de validation sur le terrain

III-1. Présentation des résultats

III-1-1. Résultats des images satellitaires landsat

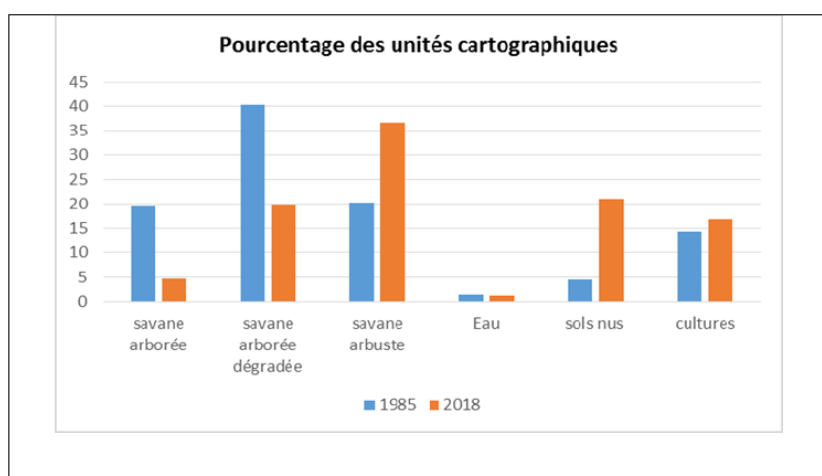
Dans cette étude, six unités cartographiques sont identifiées. Il s'agit de :

- 1 : Savane arborée (recouvrement ligneux compris entre 5 et 25 %)
- 2 : Savane arborée dégradée (les zones de végétation dense en état ou ayant connues une dégradation)
- 3 : Savane arbuste (recouvrement ligneux dépassant rarement moins 15 %)
- 4: Eau (surface d'eau)
- 5 : Sols nus (les zones dont le couvert végétal est enlevé en partie ou totalement par suite d'activités anthropiques ou naturelles)
- 6 : Cultures (zones agricoles ou champs de cultures)

La dynamique d'occupation des sols entre 1985 et 2018 est perceptible sur les **Figures 2 et 3**, et par les données dans le **Tableau 1**. En effet, les résultats de l'analyse de performance pour chacune des images classifiées ont donné des coefficients Kappa de 93, et 96 %. Le **Tableau 1** montre la statistique des six unités entre les deux dates.

Tableau 1 : Évolution des superficies des unités cartographiques (1985 et 2018)

Unités cartographiques	Surface (km ²)				Evolution des superficies (33ans)	Taux annuel
	1985	%	2018	%		
savane arborée	251,84	19,42	60,14	4,64	-191,70	-5,81
savane arborée dégradée	523,27	40,36	256,67	19,79	-266,60	-8,08
savane arbuste	261,47	20,16	474,3	36,57	212,83	6,45
Eau	16,78	1,29	15,38	1,18	-1,4	-0,04
sols nus	58,252	4,49	272,13	20,98	213,88	6,48
Cultures	185,05	14,27	218,26	16,83	33,21	1,01

**Figure 2** : Évolution des unités cartographiques entre 1985 et 2018

De l'analyse des données dans le **Tableau 1**, il apparaît clairement qu'en 1985, la classe de savane arborée dégradée occupe la plus grande surface avec (40,36 %). Cette classe est suivie respectivement par la savane arbuste (20,16 %), la savane arborée (19,42 %), les cultures (14,27 %), les sols nus (4,49 %) et l'eau (1,29 %). Contrairement à l'année 1985, l'année 2018 a été marquée par la dominance de la savane arbuste avec 36,57 %, suivie dans l'ordre par les sols nus 20,98 %, la savane arborée dégradée 19,79 %, les cultures 16,83 %, la savane arborée 4,64 % et l'eau 1,18 %. Toujours selon le **Tableau 1**, les unités sols nus et savane arbuste connaissent les fortes augmentations sur la durée de l'étude. En effet, l'unité sols nus connaît une augmentation de superficie de 213,88 km² et celle de la savane arbuste est 212,83 km² en 33 ans, soit respectivement 6,48 km² et 6,45 km² en une année. Dans la même veine, l'analyse des **Figures 2 et 3** corrobore les informations

contenues dans le **Tableau 1**. Une analyse approfondie des deux cartes d'occupation (**Figure 3**) permet de se rendre compte qu'en 1985 la partie Nord de la commune était occupée par des formations végétales denses (savane arborée) qui ont subi une dégradation, d'où, l'apparition des formations végétales moins denses (savane arborée dégradée, et savane arbuste) plus quelques zones de cultures, en 2018. Cette régression des formations végétales denses au profit de formations moins denses et cultures témoigne de l'impact anthropique qu'a connu la commune au cours des trois dernières décennies. Ces problèmes de dégradation du couvert végétal a été signalé par plusieurs auteurs [6, 7] au Mali et [8, 9] au Benin, [10] au Sénégal. Les conséquences qui en ont découlé sont nombreuses variées et ont fragilisé nos écosystèmes cultivés.

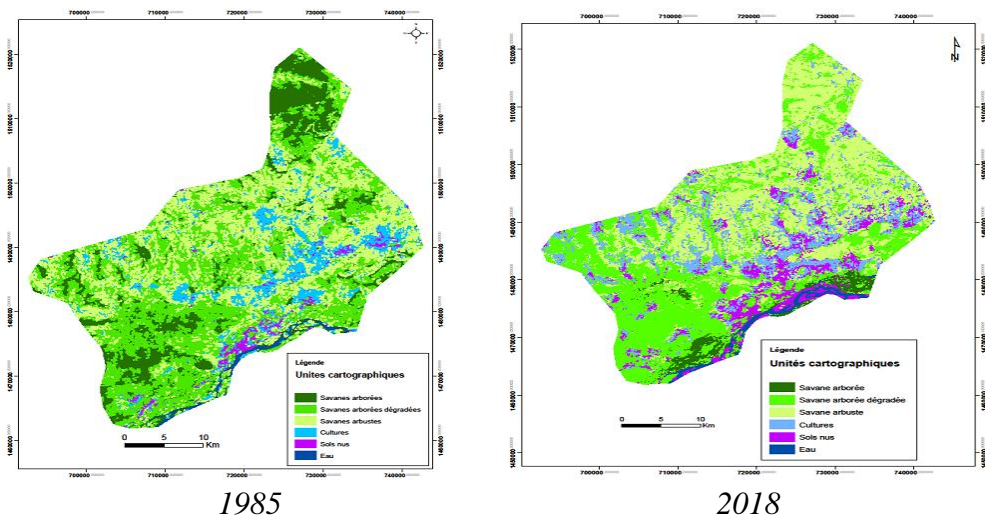


Figure 3 : Cartes d'occupation des sols de la commune rurale de Nyamina entre 1985 et 2018

III-1-2. Résultats de validation des images satellitaires landsat

Les résultats obtenus des images satellitaires ont été validés sur terrain. Sur 18 points préalablement identifiés sur les 6 classes d'occupation de sols de l'image de 2018, 15 correspondent aux unités identifiées sur le terrain (**Tableau 2**). Cette validation nous donne une précision de 83 %.

Tableau 2 : Points de validation sur terrain

Point	Long	Latu	Observations
1	-6,92578	13,35022	sols nus
2	-6,94486	13,34311	savane arborée
3	-6,95151	13,35044	savane arborée dégradée
4	-6,97493	13,36001	Cultures
5	-7,15143	13,38609	Cultures
6	-7,11431	13,36058	savane arborée dégradée
7	-7,08456	13,37516	savane arborée
8	-6,97946	13,39259	sols nus
9	-6,98324	13,43723	cultures
10	-6,95477	13,43320	sols nus
11	-6,91443	13,49388	savane arbuste
12	-6,87487	13,59338	Cultures
13	-6,86781	13,57290	Cultures
14	-6,92963	13,59529	sols nus
15	-6,99416	13,53588	savane arborée dégradée
16	-7,03909	13,49404	cultures
17	-7,09547	13,31031	savane arborée dégradée
18	-7,09547	13,31031	sols nus

III-2. Discussion

La dynamique d'occupation des sols entre 1985 et 2018 est perceptible sur les *Figures 2 et 3*, et par les données dans le *Tableau 1*. En effet, de l'analyse de ces différents éléments, il apparaît clairement que les unités savane arborée et savane arborée dégradée, et l'eau ont connu une évolution régressive. Au même moment, les formations de savane arbuste, les cultures et les sols nus subissent une évolution contraire, en d'autre terme progressent. Deux facteurs majeurs seraient à l'origine de ces changements intervenus dans la commune rurale de Nyamina. D'une part, nous avons les facteurs naturels (variabilité et changement climatique en cours dans les régions ouest africaine depuis les années 1970) et d'autre part les facteurs anthropiques (augmentation de la population, mauvaises pratiques culturales, réduction de la durée jachère, érosion des sols, augmentation du nombre des troupeaux et l'élevage extensif, etc.). En effet les populations pour satisfaire leurs besoins énergétiques ont recours au bois énergie, plus particulièrement, le charbon de bois. L'utilisation de ces ressources crée des auréoles de déboisement au tour des villes et le long des

axes routiers reliant les grandes agglomérations. En plus, dans la commune de Nyamina, il a été remarqué une certaine timidité des populations pour passer des systèmes traditionnels à faible utilisation des intrants des systèmes plus productifs. A cela, s'ajoute la difficulté d'accès des producteurs aux engrais, la faible subvention accordée par l'Etat. Les conséquences de ces deux problèmes ont rendu davantage plus vulnérables ces écosystèmes déjà fragiles. A la fin, la dégradation des sols et la désertification de la commune de Nyamina est aujourd'hui une réalité, à l'instar des autres zones de la région soudano sahélienne. Le couplage de ces deux facteurs a contribué significativement à la dégradation des ressources naturelles et engendré des conséquences désastreuse sur l'environnement dans la commune de Nyamina. Ces résultats ont été confirmés lors de trois focus groupes organisés dans trois villages de la commune, en 2018. Il s'agit du village de Nyamina (du chef-lieu de la commune), les villages Séguéla, et Fougala. Il ressort de l'entretien avec les autochtones de ces trois villages que les milieux sont de plus en plus sujets à une dégradation intense due à différents facteurs parmi lesquels, nous pouvons retenir les défrichements incontrôlés, l'élevage extensif, l'exploitation des zones sensibles (berges des cours d'eau), l'utilisation croissante de techniques culturales inadaptées (labour selon la pente, réduction de la durée de la jachère, etc.). Plusieurs études ont abouti aux mêmes remarques dans les régions soudano-sahélienne d'Afrique particulièrement [6, 7] au Mali et [8, 9] au Bénin, [10] au Sénégal. En effet, les travaux de [6] ont montré que la forêt de Fina en zone Mali subissait une dégradation liée aux effets anthropique et climatique, [14] lors de ses travaux de mémoire de master est arrivé également à la conclusion dans la forêt classée de M'Pessoba. Au Bénin, les études de [8] et [9] ont donné les mêmes conclusions. En fin, [10] au Sénégal, dans les travaux sa thèse est parvenue aux remarques.

IV - CONCLUSION

L'étude diachronique réalisée sur les images satellitaires Landsat TM et OLI/TIRS de 1985 et 2018 montre que la commune rurale Nyamina a subi une évolution des unités cartographiques entre les deux dates : Les sols nus, savane arbuste et cultures ont connu les plus fortes augmentations de superficies durant la période de l'étude, avec respectivement comme taux de progression de 16,49, 16,41 et 2,56 %. Les unités savane arborée, savane arborée dégradée et eau ont subi une régression au profit des trois premières. Deux facteurs majeurs ont été identifiés comme ayant contribué à ces changements d'occupation de sols, à savoir : Les facteurs naturels (variabilité et changement climatique) ; Les facteurs anthropiques (croissance démographique, mauvaises pratiques culturales, transhumance, élevage extensif, etc.)

RÉFÉRENCES

- [1] - J. PADGHAM, A. ABUBAKARI, J. AYIVOR, K. DIETRICH, B. FONSU-MENSAH, G. CHRIS, S. HABTEZION, E. LAWSON, A. MENSAH, D. NUKPEZAH, B. OFORI, S. PILTZ, A. SIDIBE, M. SISSOKO, E. TOTIN, S. TRAORE, "Vulnerability and adaptation to climate change in semi-arid regions of West Africa", Technical report; ASSAR project, (2015) 91 p.
- [2] - T. HILHORST, "Le rôle des instances locales de gouvernance dans la gestion des ressources naturelles au Mali, au Burkina Faso et au Niger. KIT Working Papers Series G1", Amsterdam: KIT, (2008)
- [3] - S. BATTERBURY, & A. WARREN, "The African Sahel 25 years after the great drought: assessing progress and moving towards new agendas and approaches", *Global Environmental Change*, 11 (2001) 1 - 8
- [4] - D. DIALLO, "Properties and management of gravelly soils developed on ferruginous cuirass in Mali", *Journal of Soil Science and Environmental Management*, 6 (3) (2014) 35 - 43
- [5] - ANONYME, "Plan de développement économique social et culturel (PDSEC) intégrant les changements climatiques et le genre 2018-2022 de la commune rurale de Nyamina, cercle de Koulikoro", (2017) 93 p.
- [6] - 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
- [7] - 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.
- [8] - H. Y. C, HOUNTONDI, "Dynamique environnementale en zones sahéenne 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)
- [9] - 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
- [10] - 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)