

Analyse du processus de savanisation du nord de la Côte d'Ivoire par télédétection: Cas du département de Ferkessédougou

[Analysis of the savannization process by remote sensing method of northern Côte d'Ivoire: Case study of Ferkessedougou County]

Lereyaha COULIBALY¹, Kouakou Hervé KOUASSI², Gneneyougo Emile SORO¹, and Issiaka SAVANE¹

¹Laboratoire Géosciences et Environnement-UFR SGE-Université Nangui Abrogoua,
02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

²UFR SGE-Université Jean Lorougnon Guédé, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

Copyright © 2016 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Vegetation cover degradation is accelerating in Ferkessédougou county. Thus, the objective of this study is to assess changes in land use between 1986 and 2006. The methodology is based on an analysis of satellite images landsat TM (1986) and Landsat ETM + (2006). This has shown that the landscape matrix, initially (1986) woodlands (about 57.18% of the landscape), has deteriorated in favour of savannah (expanding at about 25.21% of the woodlands), fallow and crops. The study particularly showed the savannization of Ferkessédougou county with an evolution of +0.72% of the savannah area between 1986 and 2006. Also the increase of crops and habitats was found. So there is generally a slip of natural areas to the entropic areas, largely due to the increasing of human pressure.

KEYWORDS: land use, savannization, satellite image, entropic areas, Ferkessédougou.

RÉSUMÉ: La dégradation du couvert végétal connaît une accélération dans le département de Ferkessédougou. L'objectif de cette étude est d'évaluer les changements de l'occupation du sol entre 1986 et 2006. La méthodologie est basée sur une analyse des images satellites landsat TM(1986) et landsat ETM+(2006). Elle a permis de montrer que La matrice du paysage, initialement constituée par les forêts claires (57,18% du paysage), s'est dégradée au profit des savanes (qui ont conquis 25,21 % des forêts claires), des jachères et cultures. L'étude a surtout montré la savanisation du département de Ferkessédougou avec un taux d'évolution de +0,72 de la classe savane entre 1986 et 2006. Aussi, l'augmentation des cultures et habitats a été constatée. Il y a donc globalement un glissement des zones naturelles vers les zones anthropisées dû en grande partie à l'augmentation de la pression humaine.

MOTS-CLEFS: occupation du sol, savanisation, image satellite, zones anthropisées, Ferkessédougou.

1 INTRODUCTION

La sévère sécheresse qui a marquée l'Afrique de l'Ouest et Centrale pendant les décennies 70-80 et 80-90 a considérablement affecté de façon négative le cycle hydrologique, l'environnement et les activités socio-économiques [1]. Aussi, les ressources naturelles subissent des pressions anthropiques croissantes qui entraînent des dysfonctionnements des écosystèmes terrestres et des pertes de la biodiversité [2].

La Côte d'Ivoire connaît depuis les années 1960 un net recul des surfaces forestières au profit des espaces cultivés, essentiellement à des fins commerciales, par l'implantation de parcelles de café ou de cacao. Les superficies forestières sont passées de 8 à 2 millions d'hectares entre 1960 et 2000 [3]. Au cours de ces dernières décennies, la dégradation du couvert végétal s'est largement intensifiée et constitue l'un des premiers facteurs de la régression de la superficie des aires protégées dans les pays ouest-africains [4]. En Côte d'Ivoire, l'économie repose en grande partie sur l'agriculture et l'élevage et occupe près de 80% de la population [5]. Par contre, de par sa position géographique, elle a ressenti fortement les effets de la sécheresse au niveau agricole, sur le plan économique et sur le plan social surtout dans la partie Nord du pays. Cette zone qui est à la porte des régions arides et semi-arides est la plus touchée par le phénomène de la variabilité climatique. Dans les années 1970, une politique de développement et de rééquilibrage économique du Nord de la Côte d'Ivoire a été entreprise. Après la révolution agricole « cotonnière », a succédé dans le Nord une deuxième révolution que l'on peut qualifier d'agro-pastorale. Cette région Nord, traditionnellement pastorale, puis cotonnière, devient de plus en plus productrice de produits maraîchers depuis la construction des retenues d'eau [6]. Le Nord du pays est donc une zone favorable aux activités agro-pastorales. Cependant, les populations du département sont vulnérables à la baisse de la production agricole à cause du déplacement des saisons culturales, des pénuries d'eau, et de la disparition des forêts claires. Face à cette situation, il est donc indispensable de mettre en place une politique de recherche qui aborde l'impact du phénomène de savanisation sur les ressources naturelles et sur les activités de la population. L'objectif de cette étude est de ressortir les causes et les effets de la savanisation afin de mettre en place un outil d'aide à la décision pour ce département.

2 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Le département de Ferkessédougou d'une superficie totale d'environ 3220 Km² (fig. 1) se situe entre les latitudes 9°20' et 10° Nord et les longitudes 4°50' et 5°40' Ouest. Il fait partie de la région du Tchologo (région du district administratif des Savanes) située au Nord de la Côte d'Ivoire. Elle est limitée au Nord par le Mali, le Burkina Faso et la ville de Ouangolodougou, au Sud par Katiola, à l'Est par Bouna et à l'ouest par Korhogo. Selon le dernier recensement (2014) de la population et de l'habitat le département de Ferkessédougou compte 143 263 habitants soit une densité de 29,36 habitants au km².

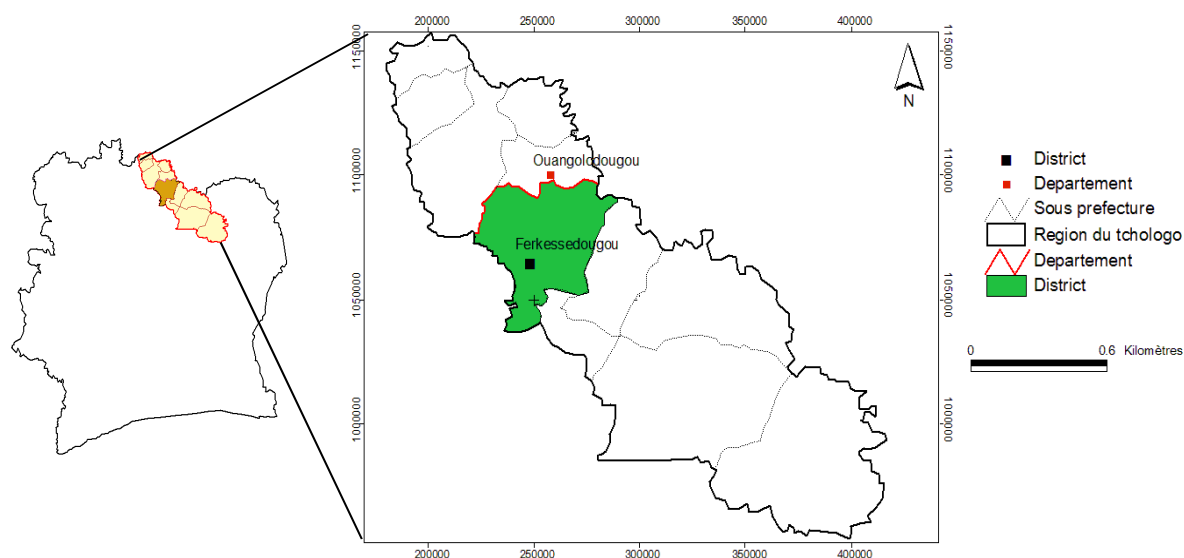


Figure 1 : Présentation de la zone d'étude

Le réseau hydrographique principal du département de Ferkessédougou est constitué par les fleuves Comoé à l'extrême Est et Bandama à l'Ouest. Seule la frange orientale est drainée par les affluents de la Volta Noire, rivière frontalière entre la Côte d'Ivoire et le Ghana. Le département de Ferkessédougou appartient à la région géophysique des « plateaux du nord », vaste pénéplaine d'une altitude moyenne de 300 mètres. Cet ensemble de plateaux aplanis et mollement ondulés est localement dominé par quelques collines et barres de roches granitiques d'orientation nord-sud dont l'altitude est comprise entre 500 et 600 m. Ce département est caractérisé par la présence de plaines dont les altitudes s'élèvent imperceptiblement dans un paysage sans ligne directrice. Les principaux accidents de terrain proviennent des reliefs qui surmontent par endroits

ces plates-formes avec une succession de petites collines. Dans cette région nord de la Côte d'Ivoire, on trouve des sols ferrallitiques (ferrisols). Le climat du Département est celui de la savane sèche qui concerne principalement l'ancienne région des savanes. Les amplitudes thermiques quotidiennes et annuelles y sont relativement importantes, de l'ordre de 20°C, le taux d'humidité, inférieur à celui du sud du pays, varie de 40% à 50%. La zone considérée est caractérisée par la présence intermittente, entre les mois de décembre et février, d'un vent frais et sec : l'harmattan. On y relève deux saisons : l'une sèche, de novembre à juin, ponctuée par quelques pluies au mois d'avril, et l'autre pluvieuse, couvrant la période de juillet à octobre (fig. 2).

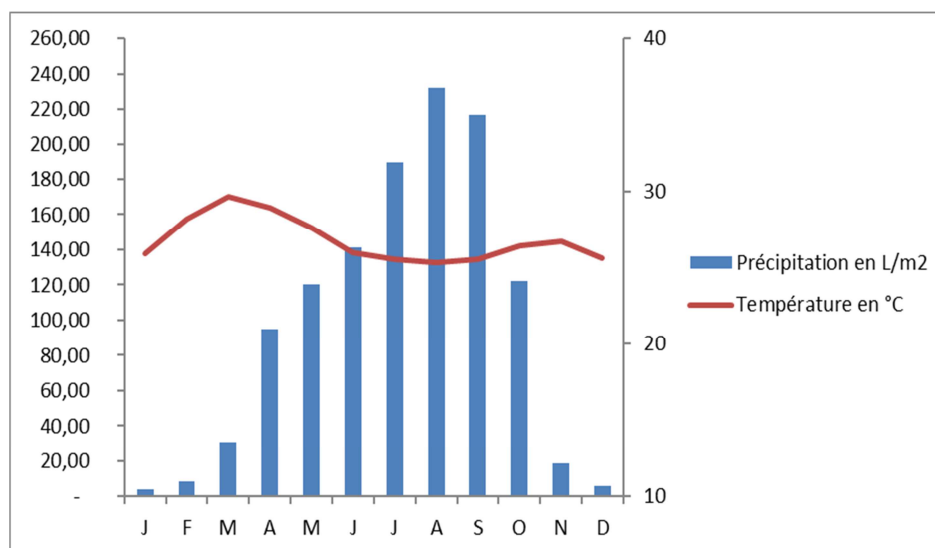


Figure 2 : Diagramme ombrothermique du département de Ferkessédougou

3 DONNEES ET METHODES

3.1 DONNÉES

Les données utilisées pour mettre en œuvre la présente étude se composent d'images satellitaires, de données cartographiques et de données de terrain. Les images satellitaires utilisées sont des images optiques de haute résolution des capteurs TM (Thematic Mapper) et ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) de LANDSAT. Ces images, de la scène 197-053, sont fournies gratuitement par le site américain: <http://glcfapp.umiacs.emd.edu:8080/esdi>. Les images satellitaires se composent de deux scènes multi-dates (TM 1986 et ETM+ 2006). Les deux dates 16 Novembre 1986 et 15 Novembre 2006 se justifient également par l'intervalle de temps qui les sépare (20 années) permettant de bien apprécier les évolutions des unités paysagères. Selon [7] et [8] plus la résolution temporelle est grande et plus la perception temporelle du changement est précise. La bonne résolution spatiale donne une meilleure souplesse dans le choix des échelles de sortie.

Les données cartographiques sont composées de la carte topographique de la feuille du degré carré de Korhogo et de Kong au 1/50 000, publiée par l'Institut Géographique National-Paris en 1966 et d'une carte administrative de la Côte d'Ivoire à l'échelle 1/1000 000 (nouveau découpage du décret n° 2011-263 du 28 septembre 2011). Les données de terrain, collectées sont saisies dans un logiciel tableur et organisées en bases de données. Lors des missions de terrain, la localisation des unités paysagères, les voiries et les habitats est réalisée au moyen d'un GPS (Global Positioning System) de type Garmin Etrex Vista Hcx. Les prises de vues ont été faites par un appareil photo numérique.

3.2 MÉTHODES

La méthodologie consiste à faire une analyse de l'occupation du sol à partir de données de télédétection et des travaux de terrain. Le pré-traitement des images Landsat TM et ETM+ de 1986 de 2006 a consisté à effectuer une succession d'opérations indispensables qui précèdent l'analyse principale et l'extraction des informations. Il s'agit des corrections géométriques des images et de l'amélioration de leur qualité par l'application de filtres. Ensuite, La composition colorée des bandes 4, 5 et 7 des données TM et ETM+ est réalisée pour faciliter l'identification et la différenciation des types

d'occupation du sol. Les données collectées sur le terrain ont permis de comprendre la signature spectrale des différents types d'occupation du sol.

La classification supervisée par maximum de vraisemblance a été appliquée pour classifier les images. Cet algorithme est très utilisé dans les classifications supervisées et est considéré comme le plus performant des algorithmes dans la production des cartes thématiques dans le domaine de l'occupation du sol [9], [10] et [11].

La validation des classifications a été réalisée à l'aide d'outils statistiques que sont la matrice de confusion et l'indice Kappa. Selon [12], l'indice Kappa s'étend de 0 à 1 et se divise en cinq catégories : accord très faible de 0 à 0,20 ; accord faible de 0,21 à 0,40 ; accord modéré de 0,41 à 0,60 ; accord substantiel de 0,61 à 0,80 ; accord presque parfait de 0,81 à 1. Par ailleurs, une mission d'une semaine a été organisée sur le terrain. La zone d'étude a été parcourue et une description de celle-ci a été faite sur la base des parcelles sélectionnées.

Le taux d'évolution des classes d'occupation du sol a été utilisé pour exprimer la variation de l'occupation du sol entre 1986 et 2006. Il est calculé à partir des statistiques de l'occupation du sol par la relation suivante :

$$T = \frac{(V_1 - V_0)}{V_0}$$

V_0 : proportion des classes d'occupation du sol en 1986; V_1 : proportion des classes d'occupation du sol 2006.

4 RÉSULTATS

4.1 EVALUATION DE LA PRECISION DES CLASSIFICATIONS

Les tableaux 1 et 2 représentant les matrices de confusions des traitements indiquent que les précisions globales de classification sont respectivement de 78,02% et de 90,74% pour les images de 1986 et de 2006. Ces tableaux affichent dans la diagonale le pourcentage de pixels bien classés et hors diagonale le pourcentage de pixels mal classés. Ces derniers résultent en général des confusions spectrales entre les différentes classes. Ainsi, dans le tableau 2, on observe une forte confusion spectrale entre les classes forêt et culture (31,27 %). Les autres classes de ce tableau sont en général bien discriminées.

Au niveau du tableau 2, les classes sont en général bien discriminées. Par ailleurs, dans les deux tableaux, les meilleurs taux de précision cartographique sont les classes cultures (100%), Sol nu-Habitat (97,44% à 99,19%), Eau (97% à 98,62%) et Savane (90,37% à 97%).

Tableau 1. Matrice de confusion de la classification de l'image Landsat TM de 1986 (Kappa Coefficient = 0,781)

Classe	Forêt	Savane	Eau	Habitat/Sol nu	Culture
Forêt	68,26	0,74	1,38	0	0,83
Savane	0	90,37	0	1,97	0
Eau	0	0	98,62	0	0
Habitat/Sol nu	0	0	0	97,44	0
Culture	31,27	0	0	0,58	100
Total	100	100	100	100	100

Tableau 2. Matrice de confusion de la classification de l'image Landsat ETM+ de 2006 (Kappa Coefficient = 0,907)

Classe	Forêt	Savane	Eau	Habitat/Sol nu	Culture
Forêt	99.37	0	3	0	1,90
Savane	0	100	0	0.81	0
Eau	0	0	97	0	0
Habitat/Sol nu	0	0	0	99.19	0
Culture	0.63	0	0	0	100
Total	100	100	100	100	100

4.2 ANALYSE DE L'OCCUPATION DU SOL DE 1986 A 2006

Les cartes de l'occupation du sol issues de la classification supervisée (fig. 4) mettent en évidence les forêts, les savanes, les plans d'eau, les habitats et sols nus et les cultures. L'analyse des cartes montre l'évolution des classes d'occupation du sol entre les deux dates d'observation (16 Novembre 1986 et 15 Novembre 2006). Cette classification, effectuée avec une précision globale de plus de 90%, a permis l'étude de la dynamique entre 1986 et 2006. Les thèmes sont bien discriminés par la méthode de classification utilisée (maximum de vraisemblance).

Les modifications spatio-temporelles qui ont lieu au cours de ces vingt années s'observent clairement. Le fait notable est la disparition de la forêt au profit de la savane, des cultures et des sols nus ou habitat. Ces modifications s'apprécient quantitativement par les superficies et les taux d'expansion spatiale moyens annuels de chaque classe d'occupation du sol (tableau 3).

Le pourcentage des retenues d'eau est passé de 1,20% en 1986 (saison sèche) à 0,58 % en 2006 (saison sèche) soit une réduction de 0,52 %. La classe habitats enregistre une augmentation de 1,66 % passant ainsi de 2,09 % en 1986 à 5,56 % en 2006. Les cultures passent respectivement de 4,65 % à 9,69 % entre 1986 et 2006. Le taux d'évolution est de +1,08 pour les cultures. Quant à la savane, son taux d'occupation est passé de 34,88 % en 1986 à 60,09 % en 2006 (presque le double de la superficie initiale (1986)), ce qui correspond à un taux d'évolution de +0,72. Les forêts enregistrent une baisse très importante car en 1986 elles représentaient 57,2% du territoire et en 2006 elles ne représentent que 24,08%.

De façon générale, on constate que les taux d'occupation des classes habitats ou sols nus, cultures et savane ont augmenté entre 1986 et 2006 (pendant les saisons sèches des deux dates). Cette augmentation s'est opérée principalement au détriment des plans d'eau et des forêts.

La visite de terrain a permis de constater la destruction de la forêt pour l'obtention du bois de chauffe et du charbon (fig.4c) et aussi l'assèchement de certains barrages (fig.4b). Elle a, par ailleurs, permis d'observer l'évolution des surfaces agricoles entraînant une avancée des zones savaniques (fig.4d).

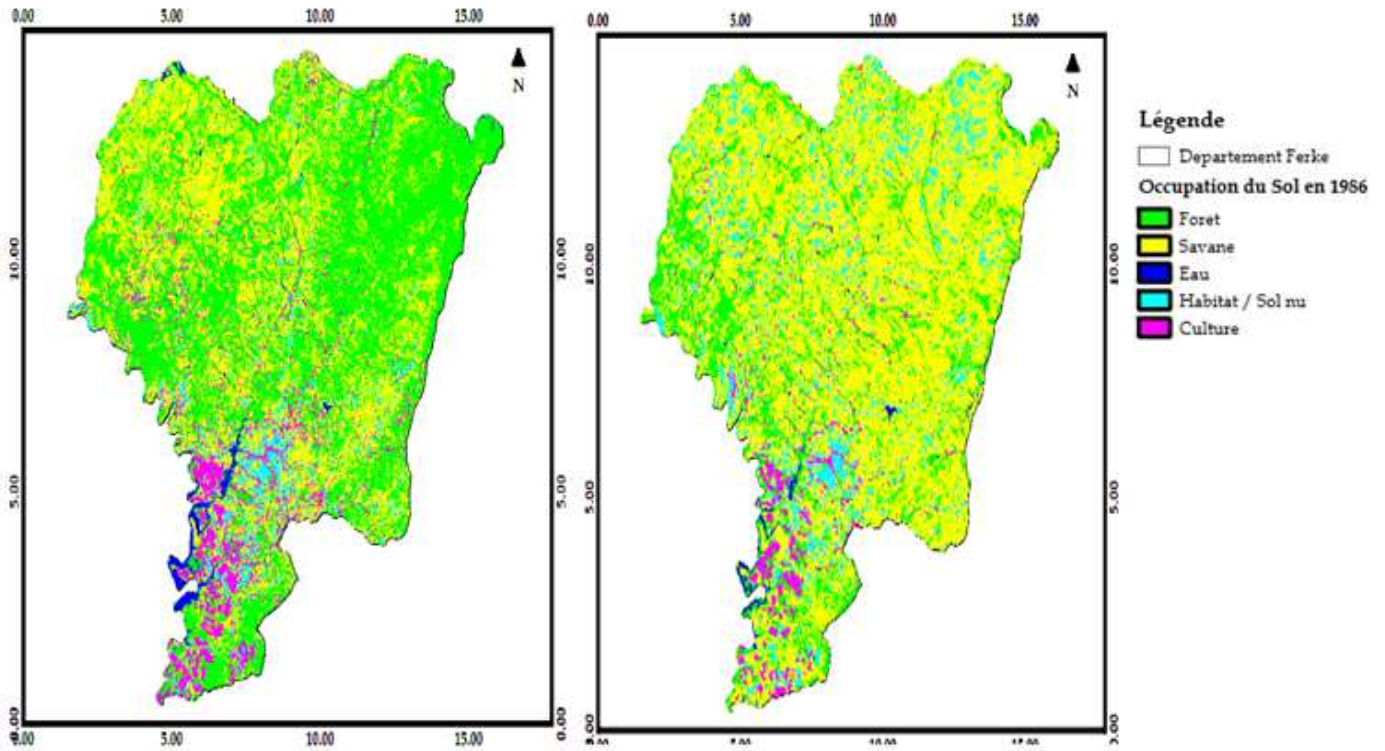


Figure 3 : carte d'occupation du sol du département de Ferkessédougou en 1986 et 2006

Tableau 3. Taux d'évolution de l'occupation du sol entre 1986 et 2006

Classe	1986	2006	Taux d'évolution
FORET	57.18	24.08	-0.58
SAVANE	34.88	60.09	+0.72
EAU	1.20	0.58	-0.52
HABITAT/SOL NU	2.09	5.56	+1.66
CULTURE	4.65	9.69	+1.08

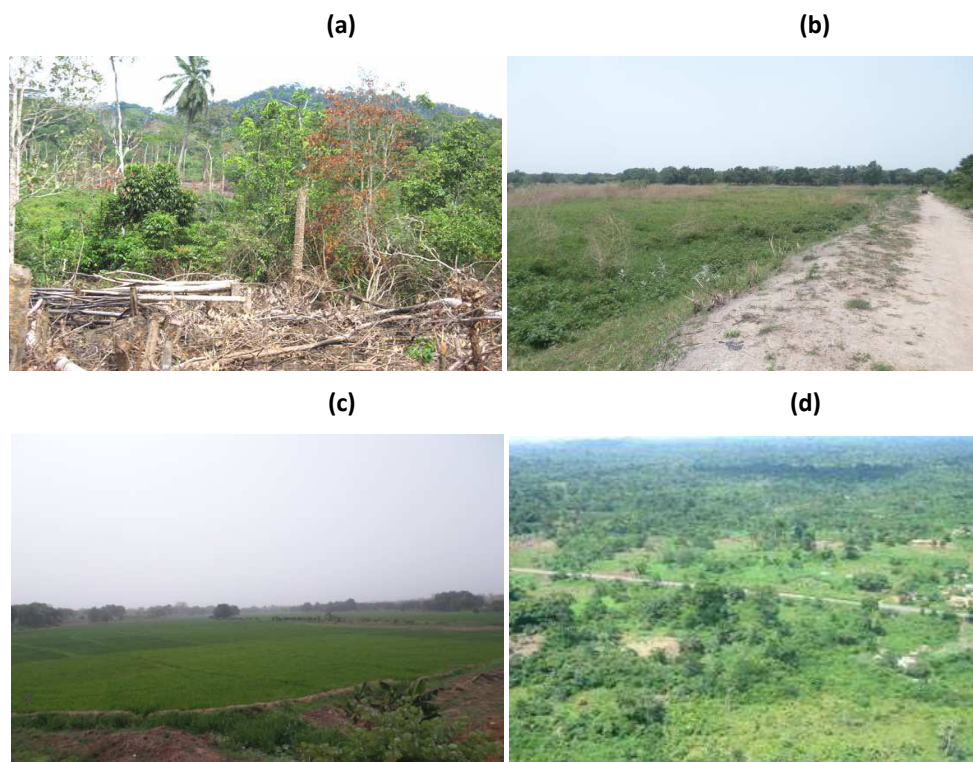


Figure 4 : (a) Zone de cultures de riz à Dekokaha (b) petit barrage asséché à proximité du lycée professionnel de Ferkessédougou (c) Exploitation abusive de bois (d) savane .

5 DISCUSSION

L'exploitation des images satellitaires et des données issues des campagnes de terrain a permis de dégager la tendance générale de la dynamique de l'occupation des sols. Cette tendance révèle l'augmentation de la savane, des cultures et des sols nus ou habitats entre 1986 et 2006. Cette augmentation s'est opérée principalement au détriment des forêts. Les forêts disparaissent à un rythme rapide (diminution de 58% entre 1986 et 2006). L'augmentation très importante de la savane et des surfaces des zones nues et habitats est dus à la combinaison de plusieurs facteurs. L'un des facteurs important est la démographie galopante. En effet, la densité de la population est passée de 5,9 Hbt/km² en 1975 à 18,4 Hbt/km² en 2006 et 29,4 Hbt/km² en 2014. A cela, s'ajoute le flux migratoire des populations des pays voisins à la recherche de terres fertiles. Cette population essentiellement agricole est le moteur de la conversion des forêts en savane et en zone de cultures. Aussi, de plus en plus, du faite de la raréfaction des terres fertiles les temps de jachère sont considérablement réduits. Selon le recensement national des agriculteurs de 2001, la superficie d'assolement du département était de 180 814 ha. Ce résultat est conforme à ceux obtenus par [13] dans une étude de la dynamique de l'occupation du sol dans la même région. Son étude avait révélé que les cultures ont fortement progressés (de 40 à 50%) entre 1986 et 1994. De vastes superficies autour des centres urbains ne comportant plus que des sols cultivés sont apparues.

D'autres facteurs tels que la fabrication du charbon de bois et du bois de chauffe et les déboisements favorisent la savanisation du département de Ferkessédougou. Plusieurs auteurs dont [14] ont montré que l'exploitation abusive de bois est un facteur déterminant de la régression des espèces végétales ligneuses et donc des modifications dans l'occupation du sol. Aussi, du fait de la crise militaro-politique qu'a connu le pays, cette exploitation (bois de chauffe et fabrication du charbon) au nord du pays n'était plus contrôlée (inexistence de l'administration de tutelle). La réduction de la superficie des plans d'eau qui est passée de 1,20% en 1986(16 Novembre) à 0,58 % en 2006(15 Novembre) est due à la baisse de la pluviométrie. Cette baisse est aussi due à l'ensablement et à l'eutrophisation de certains petits barrages de la zone d'étude (fig. 3b).

6 CONCLUSION

Au terme de cette étude basée sur l'utilisation d'images satellitaires, nous observons une généralisation de la savanisation du département de Ferkessédougou. Entre 1986 et 2006, la savanisation du département évolue à un rythme rapide. Les sols nus et les zones de cultures ont évolué et se sont accrus. Les champs se sont transformés en zones nues. La situation observée sur l'image de 2006 prise comme récente pour l'étude montre que l'évolution du couvert végétal est très accentuée, une forte érosion et une destruction massive des forêts se transformant en savane herbeuse. La matrice des changements générée par le croisement des cartes d'occupation du sol de 1986 et de 2006 montre une évolution au niveau des différentes unités d'occupation du sol. Globalement, la matrice de confusion obtenue par le croisement des cartes d'occupation du sol montre un coefficient global satisfaisant de l'ordre de 88%. Cela traduit une bonne conformité ou représentativité entre les informations traitées sur les images satellitaires et la réalité-terrain.

RÉFÉRENCES

- [1] B. T. A. Goula, I. Savané, V. Fadika, B. Konan, and G. B. Kouadio, "Impact de la variabilité climatique sur les ressources hydriques des bassins du N'Zo et N'Zi en Côte d'Ivoire (Afrique Tropicale Humide)," *VertigO*, vol. 7, no. 1, pp. 1–12, 2006.
- [2] P. Roche, "Dynamique de la biodiversité et action de l'homme," Rapport ENV-SRAE – 94233, Paris, France, 6p, 1998.
- [3] O. Johan, "Dynamique des formations agroforestières en Côte d'Ivoire (des années 1980 aux années 2000) Suivi par télédétection et développement d'une approche cartographique," Thèse de Doctorat de Géographie, Lille, France, 304p, 2005.
- [4] FAO (Food and agriculture organization), "*Evaluation des ressources forestières mondiales 2010: Rapport principal*," 348p, 2010.
- [5] I. Bamba, A. Mama, D. F. R. Neuba, K. J. Koffi, D. Traoré, M. Visser, B. Sinsin, J. Lejoly, and J. Bogaert, "Influence des actions anthropiques sur la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans la province du Bas-Congo (RD Congo)," *Sci. Nat.*, vol. 5, pp. 49–60, 2008.
- [6] T. Le Guen, "Le développement agricole et pastoral du Nord de la Côte-d'Ivoire : problèmes de coexistence," *Les Cahiers d'Outre-mer*, 226-227, pp. 259-288, 2004.
- [7] M. Robin, *Télédétection, Des satellites au SIG. Une analyse complète du processus de création d'un type essentiel d'information géographique*. 2e édition, Paris, France, Nathan Université, 318p., 2002.
- [8] M. A. Sarr, "Variabilité pluviométrique en Afrique de l'ouest : Dynamique des espaces végétaux à partir d'images satellites. Exemple du Bassin versant du Ferlo (Sénégal)," in *Journée climatologique, – Nantes, 13-14 mars*, pp. 57-76, 2008.
- [9] F. Bonn and G. Rochon, *Précis de télédétection, principe et méthode*, Volume 1. Presse Univ. du Québec, AUPELF-UREF, 485p., 1992.
- [10] D. H. N'Da, "Etude et suivi par télédétection et système d'information géographique d'une aire protégée soumise aux pressions," Thèse de Doctorat unique. Univ. Cocody-Abidjan, 174p., 2007.
- [11] Y. C. Sangne, "Dynamique du couvert forestier d'une aire protégée soumise aux pressions anthropique : cas de la forêt classée de Téné dans le département d'Oumé (Centre-ouest de la Côte d'Ivoire)," Thèse Unique. Université de Cocody. Abidjan (Côte d'Ivoire), 220p., 2009.
- [12] S. Chalifoux, M. Nastev, C. Lamontagne, and R. Latifovic, "Cartographie de l'occupation et de l'utilisation du sol par imagerie satellitaire Landsat en hydrogéologie," *Télédétection*, vol. 6, no. 1, pp. 9–17, 2006.
- [13] P. Cecchi, F. Gourdin, S. Koné, D. Corbin, J. Etienne, and A. Casenave, "Les petits barrages du nord de la Côte d'Ivoire : inventaire et potentialités hydrologiques," *Sécheresse*, vol. 20, pp. 112–122, 2009.
- [14] E. N'Guessan, N. H. Dibi, M.-F. Bellan, and F. Blasco, "Pression anthropique sur une réserve forestière en Côte d'Ivoire : Apport de la télédétection," *Télédétection*, vol. 5, no. 4, pp. 307–323, 2006.