SUIVI DIACHRONIQUE PAR TÉLÉDÉTECTION SPATIALE DE LA COUVERTURE LIGNEUSE EN MILIEU DE SAVANE SOUDANIENNE EN CÔTE D'IVOIRE

Moussa KONÉ[1], Angora AMAN[2], Constant Yves ADOU YAO [3,4], Lacina COULIBALY[5] et Kouakou Édouard N'GUESSAN[3]

[1] UFR Sciences de la Nature (SN), Université d'Abobo-Adjamé, 02 B.P. 801, Abidjan 02, Côte d'Ivoire.
Téléphone : (225) 05 62 05 89 ; courriel : pelfo_kone@yahoo.fr ; kone-moussa@uabobo.ci
[2] UFR Sciences de la Structure de la Matière et de la Technologie (SSMT),
Université de Cocody, 22 B.P. 582, Abidjan 22, Côte d'Ivoire. Courriel : aman_angora@hotmail.com
[3] UFR Biosciences, Université de Cocody 22 B.P. 582, Abidjan 22, Côte d'Ivoire. Courriel : adouyaocy@gmail.com
[4] UFR Centre Suisse de Recherches Scientifiques (CSRS) en Côte d'Ivoire, 01 B.P. 1303, Abidjan 01, Côte d'Ivoire.
[5] Faculté de foresterie, Université de Moncton, Campus d'Edmundston, 165, boulevard Hébert, Edmundston, Nouveau-Brunswick, Canada E3V 2S8
Téléphone : 1(506) 737-5246 ; courriel : lcouliba@umce.ca

Soumis le 19 février 2007 ; révisé le 7 mai 2007 ; accepté le 8 juin 2007 - © *Revue Télédétection*, 2007, vol. 7, n° 1-2-3-4, p. 433-446

Résumé

La région de Korhogo, au nord de la Côte d'Ivoire est caractérisée par une végétation savanicole de type soudanien. La forêt classée du mont Korhogo, située à proximité de la ville de Korhogo, est soumise à une forte pression anthropique. Dans cette étude, on vise à déterminer l'impact des actions de l'humain sur la transformation de la couverture ligneuse naturelle et cultivée entre 1986 et 2000. La méthode de classification dirigée à l'aide de l'algorithme du maximum de vraisemblance a permis de réaliser les cartes de la végétation à partir d'images TM (1986) et ETM+ (2000) de Landsat avec un taux de classification global respectif de 97 % et 98 %. De ces cartes, est extraite la couverture ligneuse. Ainsi, au niveau du site de la forêt classée du mont Korhogo, la couverture ligneuse a augmenté de près de 19 %. La couverture ligneuse dans les sites autour de la forêt classée s'est également accrue. Le plus fort taux (38 %), celui de la zone périurbaine, est dû aux cultures de l'anacarde, du manguier et du teck. L'introduction de la culture de ligneux dans la zone autour de la forêt classée a permis de la préserver des actions anthropiques néfastes. Ceci pourrait à long terme contribuer à la stabilisation du climat local.

Mots-clés : déforestation, télédétection, couverture ligneuse, savane.

DIACHRONIC MONITORING OF THE WOODY SPECIES COVER IN THE SUDANIAN SAVANNAH ZONE OF CÔTE D'IVOIRE USING SATELLITE REMOTE SENSING

Abstract

The Korhogo region, in northern Côte d'Ivoire is covered by Sudanian savannah type vegetation. The mount Korhogo protected area, located near the city of Korhogo, is subjected to strong anthropogenic pressures. This study aims to determine the impact of human actions on the transformation of the natural and cultivated woody cover between 1986 and 2000. We performed a supervised classification based on the maximum likelihood algorithm on Landsat TM (1986) and ETM+ (2000) images to derive vegetation maps with a respective rate of total classification of 97 % and 98 %. From these maps, we extracted the wood cover. Thus, concerning the site of the Korhogo protected area, the woody species cover increased by 19 %. Sites in the vicinity of the area were also characterized by an increase in woody species cover. The highest rate (38 %), corresponding to the suburban area, is due to the culture of the cashew nut, the

mango tree and teak. The introduction of woody species culture in the zone around the protected area allowed preserving it against harmful anthropogenic actions. This could contribute in the long run to the stabilization of the local climate.

Key words : deforestation, remote sensing, woody species cover, savannah.

1. INTRODUCTION

La surface forestière de la Côte d'Ivoire, estimée à environ 14 millions d'hectares en 1912 (Chevalier, 1920) est passée à près de 9 millions d'hectares en 1955 (Guillaumet et Adjanohoun, 1969). En 1993, il restait environ 2 millions d'hectares de surface forestière (Dao, 1999). Cette forte déforestation a conduit les pouvoirs publics à créer des forêts classées dans le but de conserver et de renforcer la présence des arbres. Ainsi, la forêt classée du mont Korhogo fut délimitée par arrêté ministériel du 22 janvier 1953 et couvre une superficie de 1 600 ha. Sa localisation, à proximité de la ville de Korhogo, fait qu'elle est soumise à une forte pression anthropique. Cette pression s'exerce au travers de défrichements agricoles, de l'exploitation du bois de chauffe, de l'extension de la ville et d'activités diverses, telles que l'artisanat et la construction. Cette forte pression anthropique a entraîné des modifications au niveau des limites de la forêt classée, dues surtout aux défrichements clandestins d'après N'Guessan *et al.* (1989). Peu avant, la Direction de contrôle des grands travaux (DGTX) a procédé à la cartographie de cette forêt classée (Anonyme, 1988). Les actions anthropiques contribuent ici comme ailleurs à dégrader les surfaces forestières (Adou Yao, 2005 ; Adou Yao et N'Guessan, 2006), entraînant une diminution de la couverture ligneuse. Afin de faire le bilan de la dégradation et de la régénération, dans cette étude, on vise, d'une part, de faire la cartographie de la forêt en 1986 et en 2000 et, d'autre part, d'analyser la dynamique des zones environnantes (périurbaines et agricoles) et celle de la forêt classée grâce une carte de dynamique de la couverture ligneuse et ce, dans le but de déterminer l'impact des actions anthropiques.

Les effets de la sécheresse en milieu de savane sont observés à travers les variations de la couverture ligneuse qui sont très indicatrices des changements climatiques à l'échelle locale. La région de Korhogo (représentative des savanes soudaniennes) est caractérisée par un climat de type soudanien, qui représente la transition entre le climat de type guinéen (ombrophile, montagnard et mésophile des zones forestières et préforestières) plus humide au sud et le climat de type sahélien, plus sec dans les hautes latitudes des pays situés au nord de la Côte d'Ivoire (Eldin, 1971 ; Guinko, 1984). Ainsi, la connaissance de la dynamique de la couverture ligneuse dans cette zone est un indicateur de la dégradation.

2. DESCRIPTION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Les forêts classées sont des formations végétales limitées dans l'espace, protégées par des lois, gérées exclusivement par la Société de développement des forêts (Sodefor) et ayant, entre autres, pour objectif de satisfaire les besoins du pays en bois à usages industriel et traditionnel. La forêt classée du mont Korhogo est située à la sortie nord-ouest de Korhogo, précisément entre les latitudes 9°48' et 9°16' nord et les longitudes 5°40' et 6°10' ouest (figure 1). Cette région est caractérisée par un climat tropical sec avec une saison de pluie de juin à octobre et une longue saison sèche de novembre à mai. La pluviométrie annuelle varie entre de 1 000 à 1 200 mm en moyenne. Son relief est faiblement ondulé avec la présence d'inselberg de 400 à 600 m d'altitude, dont le plus remarquable est le mont Korhogo (567 m). La forêt classée de Korhogo est drainée par les petites rivières Lofiné et Nangounaloho. La végétation de la région de Korhogo est essentiellement savanicole : il s'agit de savanes herbeuses, arbustives ou arborées, de forêt galeries et de forêts claires. Ces formations couvrent respectivement 10 %, 30 %, 2 % et 10 % du paysage, dont le reste est occupé par les sols nus et les cultures (Poilecot, 1995).

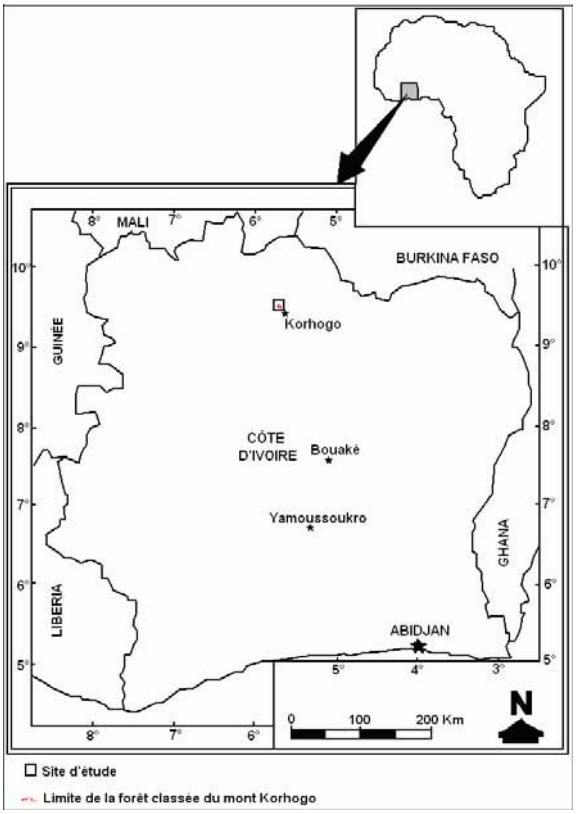


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude. *Location of the study area*.

3. MATÉRIEL ET MÉTHODES

3.1. Matériel

Sur le terrain, nous avons utilisé un appareil photographique pour illustrer les unités de végétation et un GPS (*Global Positioning System*) pour localiser la position des différents points d'échantillonnage et des points d'amers. La mission sur le terrain a exigé l'utilisation de documents cartographiques : la carte topographique au 1/200 000 de la région de Korhogo, établie par l'Institut géographique national (IGN) de France en 1979 et les cartes d'occupation du sol au 1/50 000. Sur ces dernières cartes, le site d'étude est représenté sur les feuilles NC-30-VII-3b et NC-30-VII-1d de 1975, établies par l'Institut géographique de Côte d'Ivoire (IGCI). Ces cartes ont permis de localiser la forêt classée du mont Korhogo sur les images satellitaires afin d'y extraire la fenêtre d'étude (512 sur 512 pixels). Les images utilisées sont celles de TM 197-53-Q3 de Landsat-5 du 16 janvier 1986 et de ETM+ 197-53 de Landsat-7 du 31 janvier 2000. Le choix de ces images est lié à leur qualité acceptable, compte tenu de la couverture nuageuse de la région. Le traitement de ces images a été effectué à l'aide des logiciels IDRISI et MapInfo. Pour interpréter la dynamique de la couverture ligneuse, nous avons utilisé les données pluviométriques mensuelles de la station de Korhogo sur la période de 1944 à 1999.

3.2. Méthodes

3.2.1. Caractérisation des formations végétales

La caractérisation des formations végétales est basée sur un travail bibliographique (Dotia, 1999 ; Koulibaly, 2000 ; Aké Assi, 2001 et 2002) et sur un relevé itinérant réalisé en avril 2001. Nous admettons qu'un an et quatre mois après l'enregistrement des images ETM+, les transformations de la couverture ligneuse sont peu importantes. Les relevés ont été réalisés en saison sèche, pour être proche de la phénologie de la végétation présente sur les images ETM+. La méthode itinérante utilisée comprend les trois étapes suivantes :

- l'identification des parcelles homogènes sur les compositions colorées de l'image de 2000 et leur localisation sur le terrain ;

- la description des différentes strates, c'est-à-dire leur continuité ou leur discontinuité, leur densité et leur hauteur relative ;

- la récolte d'échantillons de plantes de chaque strate, pour leur identification.

Cette méthode permet de décrire la végétation et d'avoir une liste des principales espèces ; les noms des espèces sont transcrits suivant Lebrun et Stork (1991, 1993, 1995 et 1997) (voir annexe).

3.2.2. Cartographie de la végétation

L'interprétation visuelle des images brutes ETM+ de 2000 rehaussées ou combinées facilite la cartographie de la végétation. Cette méthode permet de caractériser les différentes plages de niveau de gris ou de couleur des images, dont la qualité visuelle est améliorée par étalement linéaire.

Trois images sont utilisées. La première image est celle réalisée à l'aide de la bande ETM+3, qui est la bande d'absorption des pigments chlorophylliens et dont l'image rehaussée en niveaux de gris présente la végétation verte et dense en sombre. La deuxième est celle de l'image de NDVI (en niveaux de gris) qui, d'après Rouse *et al.* (1973), traduit l'activité photosynthétique du couvert végétal à l'instant de la mesure ; quant au NDVI, il se calcule de la façon suivante :

$$NDVI = (PIR - R)/(PIR + R) \quad (1)$$

où PIR est la réflectance dans le proche infrarouge et R celle dans le rouge ; ainsi, le NDVI se calcule, respectivement, à partir des bandes TM et ETM+ de la façon suivante :

$$NDVI = (TM4 – TM3)/(TM4 + TM3) \quad (2)$$

$$NDVI = (ETM+4 – ETM+3)/(ETM+4 + ETM+3) \quad (3)$$

La troisième, qui est celle de la composition colorée à l'aide des bandes ETM+3, ETM+4 et ETM+5, permet d'interpréter l'image de 1986, réalisée à l'aide des bandes TM3, TM4 et TM5. Ces bandes ayant les mêmes propriétés spectrales, on obtient les mêmes plages de couleurs sur ces deux images.

Le choix des parcelles d'entraînement est réalisé grâce au travail de terrain, aux documents cartographiques et à l'interprétation visuelle des images en composition colorée. L'algorithme du maximum de vraisemblance est utilisé pour transformer les données des bandes brutes ETM+3 et ETM+4 en carte thématique. Ces bandes, faiblement corrélées (19,75 %) sont utilisées dans cette classification car elles caractérisent mieux la couverture végétale. De même, les bandes TM3 et TM4 sont utilisées pour l'image de 1986.

3.2.3. Analyse de la dynamique de la couverture ligneuse

Comme couverture ligneuse ou zones forestières, nous avons considéré les formations forestières et les savanes arborées (Koné, 2004 ; Koné *et al.*, 2006). La couverture ligneuse s'obtient avec la création d'une nouvelle palette de couleurs, qui affecte la tonalité noire à l'ensemble « formations forestières et savanes arborées » et la tonalité blanche aux autres thèmes. Appliquée aux images classifiées, cette palette fait uniquement ressortir la couverture ligneuse. En superposant les cartes de la couverture ligneuse de 1986 et de 2000, on obtient la carte de la dynamique de la couverture ligneuse (Koné *et al.*, 2006). Cette carte fait ressortir les zones forestières dégradées ou disparues, les zones stables et les surfaces en régénération. Les zones forestières disparues s'obtiennent en superposant les zones extraites de l'image de 2000 à celles de l'image de 1986. Les surfaces non couvertes par les zones récentes ont disparu. Les surfaces en régénération s'obtiennent en superposant les zones anciennes aux zones récentes. Les surfaces non couvertes par les zones anciennes sont des secteurs en régénération. Pour obtenir les zones stables, la même couleur est affectée tant aux zones forestières anciennes que récentes. Une couleur unique est également affectée aux surfaces en mutation (surfaces disparues et en régénération). Les zones stables s'obtiennent en superposant les surfaces en mutation aux zones forestières anciennes et récentes. Les surfaces non couvertes par les zones en mutation sont donc stables.

3.2.4. Calcul de l'indice pluviométrique annuel ou indice de Nicholson

Le climat est l'un des facteurs essentiels dont dépend la couverture végétale dans la zone soudano-sahelienne. La pluviométrie représente un facteur écologique déterminant car elle permet de différencier les climats de cette zone. Le développement des formations végétales dépend non seulement de la quantité de pluie tombée, mais aussi de sa répartition temporelle. L'analyse de l'indice de Nicholson permet d'interpréter la dynamique de la couverture ligneuse en relation avec l'évolution de la pluviométrie. Les données de la station de Korhogo ont servi à calculer cet indice, exprimé par la formule suivante (Nicholson, 1983) :

$X_i = (T_i - M) / \sigma$ (4)

où :

X_i est l'indice de Nicholson ou indice pluviométrique de l'année i ;

T_i est la hauteur de pluie totale d'une année ;

M est la moyenne des hauteurs de pluie annuelle de la série d'années utilisées ;

σ est l'écart type des hauteurs de pluviométrie annuelle de la série d'années.

Pour être représentatif, l'indice de Nicholson exige des données sur au moins 30 ans, d'après l'Organisation mondiale de la météorologie (OMM). L'indice de Nicholson permet de mettre en évidence les périodes de déficit hydrique surtout à long terme.

4. RÉSULTATS

4.1. Description des unités thématiques utilisées dans la cartographie

Le paysage de Korhogo présente des unités de végétation allant de la savane herbeuse aux forêts claires. Le parcours du site en se référant à l'analyse des images ETM+3 rehaussée, du NDVI et la composition colorée ETM+3, ETM+4 et ETM+5 a permis de retenir sept thèmes.

4.1.1. Formations forestières

Les formations forestières sont des forêts naturelles ou des plantations forestières. Les formations naturelles forestières sont des forêts claires et des galeries forestières.

Dans la forêt classée du mont Korhogo, le long des cours d'eau de Lofiné et de Nangounaloho, nous avons observé une végétation forestière pluristratifiée, constituée essentiellement d'espèces spontanées telles que : *Khaya senegalensis* et *Uapaca somon*. Il s'agit des galeries forestières. Loin des cours d'eau, nous avons aussi observé des formations forestières présentant une strate arborée, une strate arbustive et une strate herbacée. La strate arborée a une taille qui varie de 8 à 20 m, constituée par *Isoberlinia doka* et *Daniellia oliveri*. Il s'agit de forêts claires à *Isoberlinia doka*. La strate arbustive donne un aspect dense à ces formations. Elle est constituée d'arbustes le plus souvent rabougris. On y rencontre les espèces suivantes : *Combretum glutinosum, Combretum molle, Detarium microcarpum, Diospyros mespiliformis, Parkia biglobosa, Saba senegalensis, Sarcocephalus latifolius, Terminalia schimperiana et Uapaca somon*. Le tapis graminéen est plus ou moins continu. Il est dominé par les herbes : *Andropogon gayanus* et *Imperata cylindrica*. On y rencontre d'autres espèces telles que *Sansevieria liberica* et *Mitracarpus scaber*. Des lianes sont également présentes dans ces formations. C'est le cas de *Periploca nigrescens* et de *Strophanthus spp*. En saison sèche, surtout en avril, la strate herbacée est presque inexistante. Elle est très souvent brûlée ou très desséchée. L'effet du sol est moins important dans la réponse spectrale de ces formations végétales à cause de la présence de feuilles sur la plupart des arbres en janvier. Les images utilisées dans notre étude se situent à peu près dans ces conditions phénologiques.

Dans le cadre de l'aménagement de la forêt classée du mont Korhogo, en 1989, la Sodefor (Société de développement des forêts) a procédé à l'introduction de nouvelles espèces. C'est ainsi que nous avons des plantations forestières de *Tectona grandis*, de *Gmelina arborea* et d'*Eucalyptus citriodora. Anacardium occidentale* et *Gmelina arborea* ont un effet de bordure, car ils sont plus résistants aux feux de brousse (pyrophytes). Les plantations de *Gmelina arborea* tiennent une grande place dans la forêt classée du mont Korhogo. *Gmelina arborea* est une plante caducifoliée, c'est-à-dire qui perd ses feuilles en saison sèche. En avril, on observe une reprise de la masse foliaire de *Gmelina arborea*. En saison sèche, ces plantations ont donc un aspect de forêt claire. Quelques espèces spontanées constituent la strate arbustive qui est claire. La strate herbacée est presque inexistante. L'effet du sol est donc important dans la réponse spectrale de ces parcelles pour des images prises en saison sèche. Les plantations de *Tectona grandis* présentent aussi un aspect clair. Le sous-bois est très pauvre en arbustes. La strate herbacée plus ou moins continue est en début de reconstitution. L'effet du sol est également important, dans la réponse spectrale de ces formations. Les plantations d'*Eucalyptus citriodora* occupent une petite parcelle en bordure de l'axe bitumé qui traverse la forêt classée. C'est un amas de grands arbres d'*Eucalyptus citriodora* ayant l'aspect d'une forêt claire.

4.1.2. Savanes arborées

Nous avons observé des formations végétales où arbres et arbustes sont disséminés au-dessus de la strate herbacée qui est dominante. La densité ligneuse varie de 30 à 60 %. Il s'agit des savanes arborées, peu importantes dans la forêt classée de Korhogo où, elles se limitent à quelques parcelles de plantation de *Tectona grandis.*

4.1.3. Savanes arbustives

Très peu présentes dans la forêt classée, les savanes arbustives dominent le paysage environnant. Ce sont très souvent des jachères arbustives. Les jachères sont des surfaces cultivées puis abandonnées. On y rencontre des espèces ligneuses telles que *Bridelia ferruginea, Cassia sieberiana, Combretum molle, Lannea acida, Piliostigma thonningii, Sarcocephalus latifolius* et *Vitellaria paradoxa.*

4.1.4. Cultures

Les cultures présentes sont des cultures non ligneuses. Il s'agit essentiellement du maïs (*Zea mays*), de l'arachide (*Arachis hypogaea*), du riz (*Oryza* spp.), du mil (*Pennisetum* spp.), de l'igname (*Dioscorea* spp.), du cotonnier (*Gossypium hirsutum*) et du tabac (*Nicotiana tabacum*).

4.1.5. Sols nus, habitations et routes

Les sols nus, les habitations et les routes sont tous caractérisés par l'absence de végétation. Ce thème peut aussi caractériser des savanes herbeuses brûlées, des affleurements rocheux et des surfaces de culture récoltée (coton, maïs, mil, etc.). D'une manière générale, ce thème désigne les surfaces où la réflectance du sol prédomine.

4.1.6. Retenue d'eau

Ce thème ne caractérise pas les cours d'eau, mais désigne de grands réservoirs où seules les propriétés spectrales de l'eau sont exprimées. Il s'agit des lacs de barrage et des lacs environnants.

4.1.7. Zones brûlées

Les zones brûlées concernent essentiellement les savanes herbeuses et arbustives. Les premières sont rares dans la forêt classée, mais elles sont plus importantes dans le paysage environnant. En saison sèche, nous ne nous sommes pas attardés sur ce type de formation végétale, car la savane est soit brûlée soit très desséchée. Mais, nous avons pu observer la présence d'espèces telles que *Andropogon gayanus* et *Imperata cylindrica.*

4.2. Cartographie de la végétation

4.2.1. Interprétation visuelle

Sur le tableau 1, on présente les résultats de l'interprétation visuelle de quelques images de 2000. La composition colorée ETM+3, ETM+4 et ETM+5 présente toutes les surfaces boisées en vert. De même, l'image NDVI en niveaux de gris permet de bien discerner ces surfaces. La composition colorée et l'image du NDVI corrigent la confusion observée sur l'image ETM+3, qui présente les formations forestières, les zones brûlées et les retenues d'eau en noir. La reconnaissance des différentes unités thématiques nous a permis de faire le choix des parcelles d'entraînement pour la classification dirigée. Aussi, a-t-elle facilité l'interprétation visuelle et le choix des parcelles d'entraînement sur les images de 1986.

Tableau 1 : Interprétation visuelle de quelques images de 2000. *Visual interpretation of a few 2000 images*.

	Images		
Unités thématiques	**ETM+3 (en niveau de gris)**	**NDVI (en niveau de gris)**	**Composition colorée, RVB (ETM+3, ETM+4, ETM+5)**
Formations forestières : forte activité photosynthétique	Noir	Blanc	Vert
Savanes arborées et bas-fond boisés : activité photosynthétique moyenne	Gris légèrement sombre	Blanc et gris clair	Vert
Mosaïques savane arbustive-jachère : activité photosynthétique faible	Gris clair	Gris sombre	Marron
Sols nus, habitations, cultures (surfaces récoltées) : activité photosynthétique nulle	Blanc	Noir	Bleu
Zones brûlées	Noir	Noir	Noir
Retenues d'eau	Noir	Noir	Noir

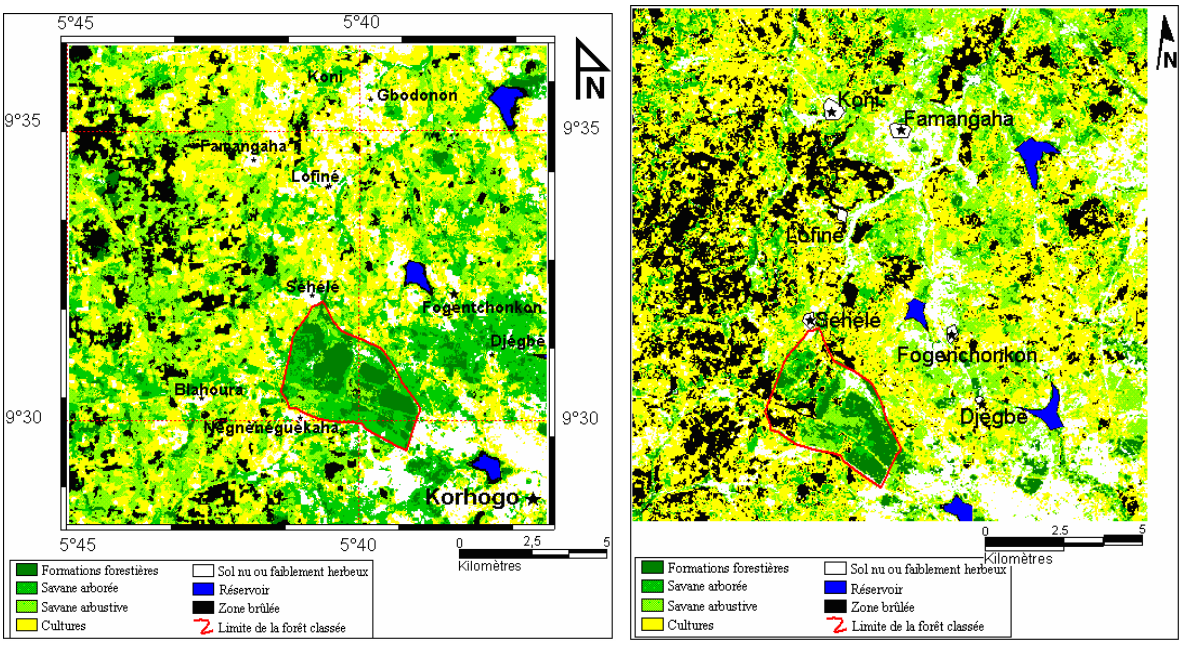
4.2.2. Classification dirigée

L'évaluation de la classification dirigée par maximum de vraisemblance des bandes brutes ETM+3 et ETM+4 de 2000 du site de Korhogo est présentée par la matrice de confusion (tableau 2). Les valeurs en diagonale indiquent le nombre de pixels bien classés pour chaque thème. Le rapport de la somme des pixels bien classés sur le total des pixels utilisés dans la classification nous donne le pourcentage de classification global qui est de l'ordre de 98 %. L'observation de la carte de la végétation de 2000 (figure 2a) montre une faible présence de formations forestières. Outre, les formations forestières, sur cette carte de végétation, nous avons : la savane arborée, la savane arbustive, les jachères et cultures, les sols nus ou dénudés (faiblement herbeux), le barrage (retenue d'eau) et les zones brûlées.

Tableau 2 : Matrice de confusion de la classification par maximum de vraisemblance de l'image de 2000. *Confusion matrix of the classification by maximum likelihood of the 2000 image.*

	Formations forestières	Savanes arborées	Savanes arbustives	Cultures	Sols nus	Retenues d'eau	Zones brûlées	Total	Erreur A (%)
Formations forestières	**349**	0	0	0	0	0	0	349	0,0000
Savanes arborées	2	**139**	7	0	0	0	0	148	0,0608
Savanes arbustives	0	5	**127**	4	0	0	0	136	0,0662
Cultures	0	0	1	**267**	5	0	0	273	0,0220
Sols nus	0	0	0	1	**124**	0	0	125	0,0080
Retenues d'eau	0	0	0	0	0	**959**	0	959	0,0000
Zones brûlées	0	0	0	1	0	5	**440**	446	0,0135
Total	351	144	135	273	129	964	440	**2436**	-
Erreur O (%)	0,0057	0,0347	0,0593	0,0220	0,0388	0,0052	0	-	0,0127

Erreur O = erreur d'omission ; erreur A = erreur d'affectation



a) En 2000 b) En 1986

Figure 2 : Carte de la végétation en 1986 et 2000. *Vegetation map of 1986 and 2000.*

Les jachères et les cultures sont fortement représentées du fait des activités agricoles sur de grandes surfaces. Les savanes arbustives et arborées montrent bien le caractère savanicole du paysage du site de Korhogo. Les sols nus sont des surfaces où la proportion de sol nu est importante, malgré la présence de quelques ligneux ou d'herbacées. La forêt classée du mont Korhogo est très boisée. Les formations forestières occupent environ le tiers de sa surface. Les forêts naturelles y sont faiblement représentées. Les savanes arbustives sont très peu présentes. Le reste de l'aire protégée est constitué par les plantations forestières, surtout de tecks, de gmelines avec une poche d'eucalyptus. Ces plantations se présentent sous l'aspect d'une savane arborée dense.

L'image TM de 1986 a fait l'objet d'une classification à l'aide de la même méthodologie que celle de 2000. Elle correspond à une végétation très dégradée à l'intérieur et hors de la forêt classée (figure 2b). La matrice de confusion de cette carte indique que 97 % des pixels de l'image sont bien classés (tableau 3). Ce résultat acceptable est dû à l'interprétation visuelle des images de l'année 2000, surtout la composition colorée ETM+3, ETM+4 et ETM+5. Les bandes ETM+3, ETM+4 et ETM+5 ont, respectivement, les mêmes propriétés spectrales que celles de TM3, TM4 et TM5. Les compositions colorées avec la même combinaison, pour les bandes ETM+ et TM, présentent les mêmes plages de couleur. L'interprétation des plages de couleur de la composition colorée de 2000 facilite celles de 1986. Ainsi, la cartographie à partir d'images satellitaires anciennes peut être réalisée avec précision grâce à une bonne interprétation visuelle d'images récentes du même type.

Tableau 3 : Matrice de confusion de la classification par maximum de vraisemblance de l'image de 1986. *Confusion matrix of the classification by maximum likelihood of the 1986 image*.

	Formations forestières	Savanes arborées	Savanes arbustives	Cultures	Sols nus	Retenues d'eau	Zones brûlées	Total	Erreur A (%)
Formations forestières	**234**	0	3	0	0	0	0	237	0,0127
Savanes arborées	0	**162**	2	16	0	0	0	180	0,1000
Savanes arbustives	1	0	**202**	9	1	0	0	213	0,0516
Cultures	0	3	2	**284**	4	0	1	294	0,0340
Sols nus	0	0	0	5	**351**	0	0	356	0,0140
Retenues d'eau	0	0	0	0	0	**918**	0	918	0,0000
Zones brûlées	0	0	0	2	0	1	**292**	295	0,0102
Total	235	165	209	316	356	919	993	**2436**	-
Erreur O (%)	0,0043	0,0182	0,0335	0,1013	0,0140	0,0011	0,0034	-	0,0201

Erreur O = erreur d'omission ; erreur A = erreur d'affectation

4.2.3. Variation de la couverture ligneuse

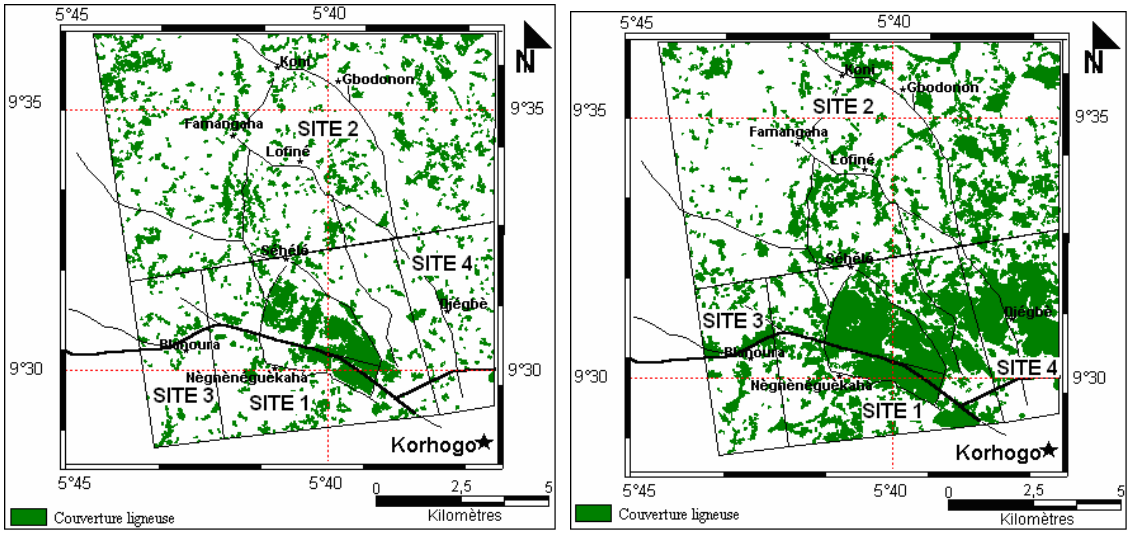
L'analyse diachronique du site de Korhogo (la forêt classée et l'espace non protégé environnant) a pour but de déterminer la tendance de l'évolution globale de la couverture ligneuse.

L'image de 1986, extraite d'une base de données réalisée à partir du logiciel PCI, a subi un ré-échantillonnage des pixels lors de son géopositionnement, d'où la non conformité des images 1986 et 2000 (figure 2). Pour résoudre ce problème, nous avons choisi une partie commune sur les deux images. Cette zone couvre une superficie totale de 18 581 ha. Dans le but de mieux apprécier l'évolution de la couverture végétale sur le site de Korhogo, cette zone a été subdivisée en quatre sites en fonction de l'effet des actions anthropiques. Ces quatre sites couvrent à la fois la diversité des composantes du paysage et leur représentativité à l'échelle de la zone d'étude.

Le site 1 est concentré autour de la forêt classée du mont Korhogo et couvre 4 564 ha soit 25 % de la zone étudiée. Le site 2, avec une surface de 10 650 ha, couvre plus de la moitié (57 %) de cette zone. C'est une zone essentiellement agricole située immédiatement au nord du site 1. Il englobe les localités de Koni, Famangaha, Lofiné et Gbodonon. Le site 3 (1 528 ha) correspond à une zone agricole autour de la localité de Blahoura. Il couvre 8 % de la zone d'étude. Enfin, le site 4 a une superficie de 1 839 ha, soit 10 % de cette zone. C'est une zone en partie agricole et urbaine.

Sur la figure 3, on montre les zones forestières numérisées. Sur le tableau 4, on présente les effectifs des objets numérisés, les surfaces et les surfaces moyennes des objets par site. En ce qui concerne l'image de 1986, 828 objets sont identifiés comme des zones forestières pour une surface totale de 2 001 ha. Sur l'image récente (2000), 735 objets sont

identifiés pour une superficie de 4 411 ha. Avec 93 objets en moins, nous avons, en 2000, une régénération qui couvre 2 410 ha. Cela montre, qu'en 2000, la couverture végétale est moins hétérogène qu'en 1986, avec une augmentation de la surface moyenne de zones forestières de 2 à 8 ha. Le taux d'accroissement général de la couverture ligneuse du site de Korhogo est d'environ 13 % (tableau 4). C'est dans les secteurs périurbains (site 4) que les zones forestières se sont le plus accrues (39 %). Ce fort taux est lié au renfort ligneux des plantations d'*Anacardium occidentale*, de *Mangifera indica* et de *Tectona grandis* qui, du point de vue structural, présentent les caractéristiques d'une forêt claire ou d'une savane arborée. Ces caractéristiques structurales leur donnent des propriétés spectrales semblables à celles des formations forestières naturelles, d'où leur identification sur les images satellitaires comme des zones forestières. Les alentours de la ville de Korhogo ont donc surtout servi à l'implantation de cultures ligneuses. Ce n'est pas le cas des zones agricoles où les taux d'accroissement des zones forestières des sites 2 et 3 sont respectivement de 6 % et de 10 %. La faible reprise de la couverture ligneuse sur ces sites serait due à une reprise naturelle de la couverture ligneuse. Le site 1 a un taux d'accroissement de 19 %, dû essentiellement à l'aménagement de la forêt classée du mont Korhogo.



a) En 1986 b) En 2000

Figure 3 : Taches forestières numérisées à partir des cartes de la végétation de 1986 et de 2000. *Forest areas digitized from the 1986 and 2000 vegetation maps.*

Tableau 4 : Effectifs des objets numérisés avec leur surface totale, leur surface moyenne par sites (en 1986 et 2000) et taux d'accroissement de la couverture ligneuse. *Number of digitized objects with their total area, their mean area by site (in 1986 and 2000) and rate of increase of woody species cover.*

	Effectif		Surface (ha)		Surface moyenne (ha)		Taux d'accroissement
	1886	2000	1986	2000	1986	2000	(%)
Site 1	172	164	839	1717	5	10	19
Site 2	502	447	956	1629	2	4	6
Site 3	65	68	95	243	1	4	10
Site 4	89	56	111	822	1	15	39
Total	828	735	2 001	4411	2	8	13

Ainsi, la carte de la dynamique (figure 4) indique une couverture ligneuse régénérée de 410 ha. La couverture ligneuse stable est de 517 ha et celle qui est dégradée est de 28 ha. La tendance de la forêt classée du mont Korhogo est à la régénération de la couverture ligneuse naturelle et des plantations.

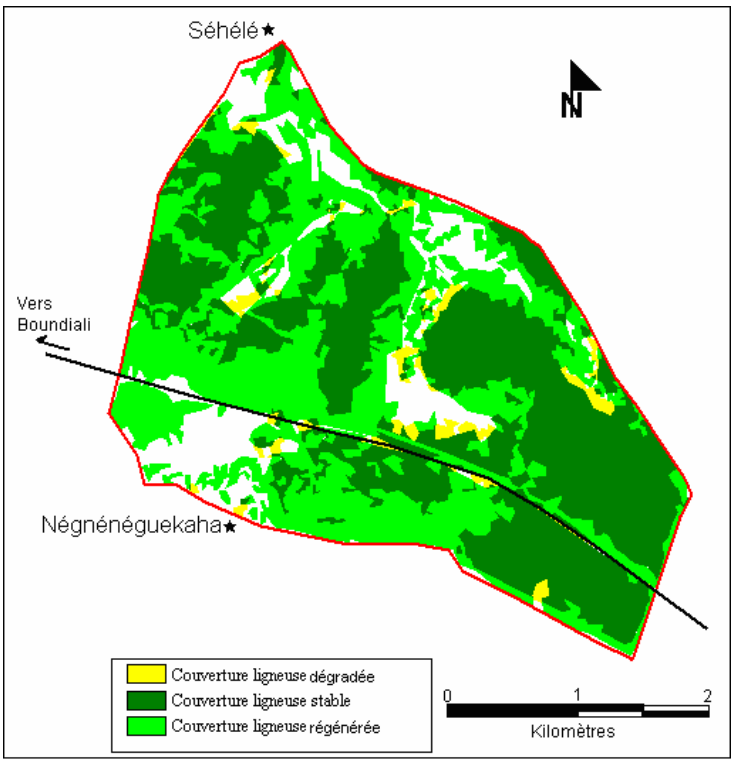


Figure 4 : Carte de la dynamique des surfaces forestières de la forêt classée du mont Korhogo. *Forest area change map of the mount Korhogo protected area.*

5. DISCUSSION

5.1. Cartographie de la savane soudanienne

La précision cartographique de la végétation en zone soudanienne dépend du nombre de classes utilisées. La cartographie de la végétation de la région d'Ouango-fitini, dans le parc national de la Comoé, au nord de la Côte d'Ivoire, avec 10 classes par la méthode du maximum de vraisemblance, donne 87 % de pixels bien classés (Achard, 1989). Le problème ici réside dans la définition de parcelles homogènes lors du choix des sites d'entraînement. Cela est lié à la confusion entre certaines classes de végétation, à cause de leur physionomie. C'est le cas entre les forêts claires et les forêts galeries (N'Guessan *et al.*, 1989). Nous avons donc procédé au regroupement des formations forestières sous une seule classe, sans que cela ne gène nos objectifs. Les grandes précisions cartographiques obtenues pourraient être liées à cela. Mais aussi, il faut noter que les matrices de confusion ont été calculées à l'aide d'IDRISI, en utilisant des parcelles différentes des parcelles d'entraînement. La méthode de classification dirigée utilisée, avec deux bandes brutes dans le rouge (ETM+3 et TM3) et le proche infrarouge (ETM+4 et TM4), permet d'obtenir des résultats acceptables. Ces bandes permettent de mieux caractériser la couverture végétale. Elles ont été utilisées sans aucune transformation dans la classification pour coller à la réalité lors du passage des satellites.

5.2. Dynamique de la couverture ligneuse en zone soudanienne

L'analyse de l'évolution de la couverture ligneuse dans la région de Korhogo montre une tendance à la régénération. Cette reprise des surfaces à forte densité ligneuse serait influencée par les facteurs climatiques et les actions anthropiques.

Du point de vue climatique, la région de Korhogo présente les tendances suivantes :

- après la période humide de 1940 à 1969, nous observons une diminution de la pluviométrie pendant la décade 1970-1979 (figure 5), qui marque le début du stress hydrique pour la végétation (Savané *et al.*, 2001) ; mais, la couverture végétale y est moins hétérogène avec une surface moyenne des zones forestières de 35 ha (Koné *et al.*, 2006) ;

- la décade 1980-1989 est caractérisée par un fort déficit hydrique (figure 5) ; elle présente des épisodes de sécheresse très accentués en 1981-1984, 1986-1987 et 1989 (figure 6), coïncidant avec ceux observés en Afrique de l'Ouest par Nicholson (1983), Biémi (1992), Paturel *et al.* (1995) et Savané *et al.* (2001) ; ces périodes de déficit hydrique favorisent l'action des feux de brousse ; ainsi pendant cette décade, la couverture ligneuse a été très dégradée, rendant le paysage très hétérogène avec une surface moyenne des zones forestières de 2 ha ;

- la dernière décade 1990-1999 est caractérisée par une légère reprise de la pluviométrie (figure 5), accompagnée également d'une reprise de la couverture ligneuse ; cette reprise, bien que non analysée ici, a probablement eu un impact favorable sur le développement de la végétation.

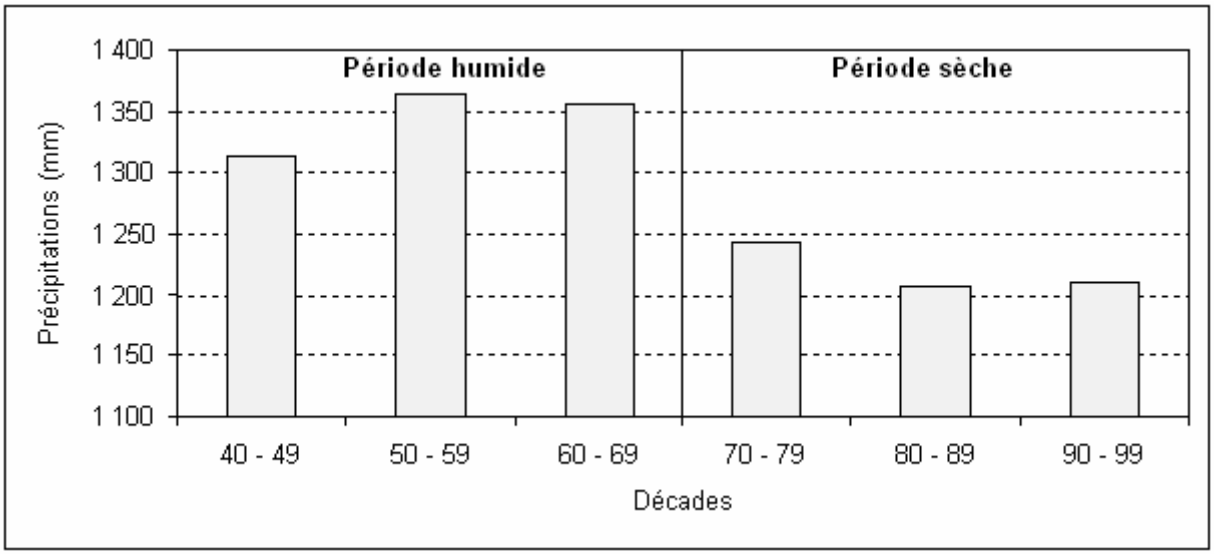


Figure 5 : Totaux annuels des précipitations à Korhogo, de 1940 à 1999. *Annual total precipitation at Korhogo from 1940 to 1999.*

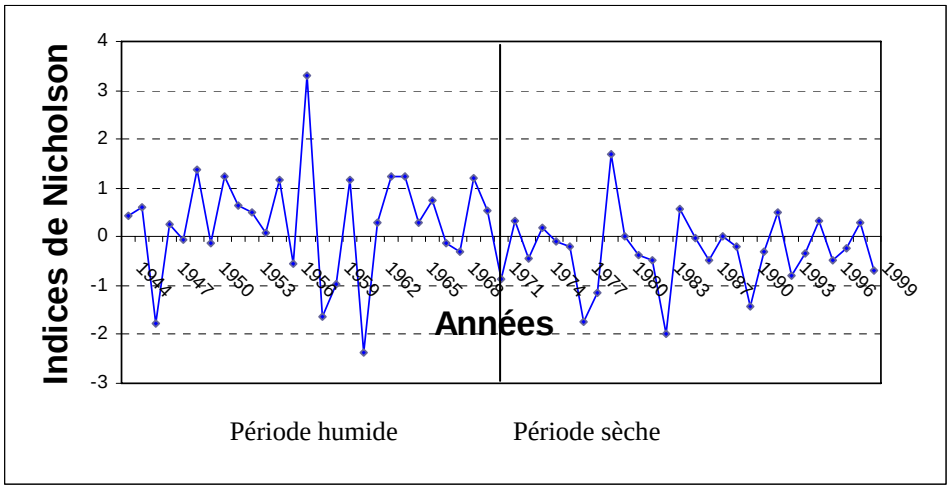


Figure 6 : Indices pluviométriques de Korhogo de 1940 à 1999. *Pluviometric index of Korhogo from 1940 to 1999.*

Le paysage de la région de Korhogo est également soumis à une forte anthropisation. Ainsi, l'image de 1986 indique une couverture végétale très dégradée, avec une faible présence de ligneux. Cet état est essentiellement lié aux activités agricoles. La très faible présence de zones forestières sur les sites agricoles 2 et 3 confirme l'intensité de cette activité. La densité de la population autour de la ville de Korhogo ainsi que le rapprochement des villages et des campements augmentent les surfaces utilisées pour l'agriculture. Le manque de terre et la recherche continuelle de terres cultivables entraînent le défrichement des surfaces forestières. La technique culturale sur brûlis appauvrit le sol, amenant les paysans à rechercher de nouvelles terres, continuant ainsi le cycle de défrichement des surfaces forestières. Les feux de brousse, essentiellement dus au fait de l'humain, sont les plus grands destructeurs des surfaces forestières. La carte de la végétation en 1986 confirme ce fait par la présence de nombreuses surfaces brûlées. Les activités artisanales, la construction et l'utilisation du bois comme source d'énergie ont aussi fortement contribué à la réduction des zones forestières. Mais, l'image de 2000 présente une couverture végétale peu dégradée avec une augmentation de la surface des zones forestières (environ 13 %). Nous constatons cela malgré la persistance de certaines actions néfastes de l'humain

sur la végétation, telles que les feux de brousse et l'exploitation du bois (bois de chauffe, artisanat et construction). D'autres actions de l'humain ont certainement contribué à renforcer la présence des ligneux.

L'aménagement de la forêt classée du mont Korhogo a favorisé l'accroissement des surfaces forestières d'environ 19 % pour le site 1, alors que celui des zones agricoles (sites 2 et 3) est inférieur ou égal à 10 %. Les techniques culturales dégradant et appauvrissant le sol ont amené les paysans, en quête de terres fertiles, à émigrer. Ainsi, de nombreux paysans se sont installés dans les nouvelles zones cotonnières, que sont les secteurs de Dianra, Mankono, Séguéla, Bouaflé et même Zuénoula, abandonnant les terres précédemment utilisées. Cela expliquerait l'évolution des superficies de coton cultivées dans les régions de Korhogo et de Séguéla-Mankono (Anonyme, 1984, 1985, 1998 et 2000). C'est ainsi que de nombreuses surfaces se sont reconstituées spontanément jusqu'à présenter des caractéristiques forestières (Perraud, 1971). Ces actions sont de faible ampleur surtout que, dans certains cas, les feux de brousse tendent à limiter le développement des ligneux. Le faible taux d'accroissement des zones forestières en secteur agricole l'atteste (sites 2 et 3). L'accroissement des surfaces cultivées en ligneux, tels que *Anacardium occidentale*, *Mangifera indica* et *Tectona grandis*, a fortement contribué à l'augmentation de la couverture ligneuse. Cette présence de cultures pérennes est forte dans le secteur périurbain (site 4), caractérisé par le plus fort taux d'accroissement de zones forestières. Le faible taux d'accroissement dans les secteurs essentiellement agricoles montre que la part de l'immigration et de la pluviométrie dans la régénération est faible. Par contre, le fort taux d'accroissement sur les sites 1 et 4, où il y a plus de cultures ligneuses, montre que l'humain est à la base de régénération de la couverture ligneuse. Les actions de l'humain sur la végétation du site de Korhogo ont donc contribué à renforcer la couverture ligneuse. La tendance à la régénération de la couverture ligneuse en milieu de savane soudanienne dans la région de Korhogo a été démontrée par Sylla (2002). Il a constaté un accroissement de 56 % de la superficie des forêts claires entre les années 1980 et 2000. Coulibaly (2002) confirme cette tendance en milieu de savane soudanienne à Bouna, au nord-est de la Côte d'Ivoire, avec une augmentation des espaces naturels (forêts claires, savanes arborées et arbustives). Koné *et al.* (2006) confirment cette tendance à la régénération avec un accroissement de 5 % de la couverture ligneuse dans la forêt classée de la Silué, dans la région de Korhogo entre 1975 et 2000. Cette forêt non aménagée a un taux d'accroissement comparable à celui des sites 2 et 3, des secteurs agricoles. La régénération de la végétation est aussi prouvée par N'Guessan *et al.* (2006) dans la région de Korhogo.

5.3. Suivi de la végétation en zone soudano-sahélienne

Au-delà de la Côte d'Ivoire, le domaine soudanien se retrouve dans de nombreux pays tels le Mali, le Burkina Faso, le Ghana, la Guinée, etc. Dans les savanes de ces pays, la végétation présente la même phénologie. Pendant la saison sèche, la plupart des ligneux perdent leurs feuilles et les herbacés se dessèchent. Les feux de brousse sont un facteur essentiel qui influence la phénologie de ces végétaux pendant cette saison. Durant la saison pluvieuse, nous assistons à la reprise du tapis graminéen et à la feuillaison des ligneux. Cette végétation très hétérogène, surtout en saison sèche, se prête mieux à l'étude de la couverture ligneuse avec des capteurs à haute résolution, tels que TM et ETM+ de Landsat ainsi que HRV(XS) de SPOT. À juste titre, Achard (1989) a montré une forte intégration des objets au sol de natures différentes, pour le capteur AVHRR du satellite NOAA. De nombreux chercheurs se sont ainsi intéressés à la résolution spatiale optimale pour le suivi régulier de la végétation en milieu de savane. Aman (1991) a montré à l'aide de la méthode de la variance locale, qu'en zone soudanienne, le paysage reste organisé en objets dont la taille caractéristique varie entre 120 et 150 m en mars et entre 180 et 240 m en mai. En utilisant la fonction de structure appelée variogramme sur des images TM de Landsat, Koné (1998) a montré que la taille moyenne des objets au sol du paysage de ce milieu varie de 150 à 210 m à 80 % et que la taille des structures dominant le paysage évolue en fonction de la saison. Nous constatons donc que, pour un meilleur suivi de la végétation et au-delà de la couverture ligneuse en milieu de savane soudanienne, il faut des capteurs à haute résolution car ce milieu est très hétérogène et son fonctionnement reste très complexe.

L'évolution de la végétation dans cette zone sensible exige un suivi régulier. Seuls les capteurs de type AVHRR de NOAA peuvent permettre de mener une telle étude (Aman *et al.*, 2001). Si de telles images sont utilisées, alors il faut rechercher une nomenclature adaptée à cette résolution spatiale (de l'ordre du kilomètre), car celle adoptée par les botanistes à l'échelle de l'œil humain ne serait pas appropriée pour une description correcte de la végétation de ce milieu. La détermination d'une nomenclature en milieu de savane devient alors urgente, compte tenu de l'utilisation massive de données images de type AVHRR du satellite NOAA, pour répondre aux questions cruciales liées à l'environnement dans la zone soudano-sahelienne.

6. CONCLUSION

Le suivi diachronique de la couverture ligneuse à Korhogo a conduit à réaliser la cartographie de la végétation à l'aide d'images satellitaires TM et ETM+ de Landsat. L'interprétation visuelle de l'image de 1986 a été réalisée grâce à celle plus récente de 2000. Ainsi, ces images ont été classifiées avec une précision de 97 % en 1986 et de 98 % en 2000. La couverture ligneuse extraite de ces cartes montre un taux d'accroissement général d'environ 13 %. Le site englobant la forêt classée du mont Korhogo et celui de la zone périurbaine présente les plus forts taux d'accroissement avec, respectivement, 19 % et 38 %, et cet accroissement est essentiellement lié aux actions anthropiques. Dans notre étude, nous

montrons donc une régénération de la couverture ligneuse due à des actions anthropiques favorables telles que l'aménagement de la forêt classée du mont Korhogo et l'introduction de cultures pérennes de ligneux. Cette étude, bien que locale, met en évidence la nécessité de réaliser des études à l'échelle régionale sur la dynamique de la végétation soudano-sahélienne en général car elle peut représenter un bon indicateur des changements climatiques et de l'action de l'humain sur ce type de milieu. Cela ne peut se faire que par une approche multicapteur et multidate pour une bonne description de ce type de savane. Cependant, des efforts restent à faire pour trouver une nomenclature adaptée à ces échelles d'observation, compte tenu de la complexité de fonctionnement de cet écosystème.

RÉFÉRENCES

Achard, F. (1989) Étude des rythmes saisonniers de la végétation en Afrique de l'Ouest par télédétection spatiale. Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse, 246 p.

Adou Yao, C.Y. (2005) Pratiques paysannes et dynamiques de la biodiversité dans la forêt classée de Monogaga (Côte d'Ivoire). Thèse de doctorat, Département Hommes Natures Sociétés, Muséum national d'histoire naturelle, Paris, 233 p.

Adou Yao, C.Y. et N'Guessan, E. K. (2006) Diversité floristique spontanée des plantations de café et de cacao dans la forêt classée de Monogaga, Côte d'Ivoire. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, vol. 157, n° 2, p. 31-36.

Aké Assi, L. (2001) Flore de la Côte d'Ivoire 1, catalogue systématique, biogéographique et écologie. Conservatoire et Jardin botanique, Genève, Biosseria n° 57, 396 p.

Aké Assi, L. (2002) Flore de la Côte d'Ivoire 2, catalogue systématique, biogéographique et écologie. Conservatoire et Jardin botanique, Genève, Biosseria n° 58, 401 p.

Aman, A. (1991) Analyse des changements d'échelle spatiale à partir de données satellitaire : cas des savanes d'Afrique de l'ouest. Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse, 187 p.

Aman, A., Fofana, S. et Keita, M. (2001) Télédétection en milieu de savane : problème lié au changement d'échelle spatiale. Télédétection, vol. 2, n° 2, p. 91-101.

Anonyme (1984) Annuaire rétrospectif des statistiques agricoles et forestières de 1900 à 1983. Tome II. Direction des statistiques, de la documentation et de l'informatique, Ministère de l'agriculture et des ressources animales de Côte d'Ivoire, Abidjan, p. 233-248.

Anonyme, (1985) Annuaire des statistiques agricoles 1984. Direction des statistiques, de la documentation et de l'informatique, Ministère de l'agriculture et des ressources animales de Côte d'Ivoire, Abidjan, p. 162-168.

Anonyme (1988) Cartographie de la forêt classée de Korhogo et de Badénou par télédétection, département de Korhogo. Rapport du Service autonome de télédétection, Direction du contrôle des grands travaux de Côte d'Ivoire, Abidjan, 30 p.

Anonyme (1998) Annuaire des statistiques agricoles 1987. Direction des statistiques, de la documentation et de l'informatique, Ministère de l'agriculture et des ressources animales de Côte d'Ivoire, Abidjan, p. 61-68.

Anonyme (2000) Annuaire des statistiques agricoles 1998. Direction des statistiques, de la documentation et de l'informatique, Ministère de l'agriculture et des ressources animales de Côte d'Ivoire, Abidjan, 210 p.

Biémi, J. (1992) Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants subsahéliens du socle précambrien d'Afrique de l'ouest : hydrostructurale, hydrodynamique, hydrochimie et isotopie des aquifères discontinus, des sillons et aires granitiques de la haute Marahoué (Côte d'Ivoire). Thèse de doctorat, Université Nationale, Abidjan, 479 p.

Chevalier, A. (1920) Exploration botanique de l'Afrique occidentale française. Enumération des plantes récoltées. Tome 1, Lechevalier, Paris, 792 p.

Coulibaly, S. (2002) L'imagerie spatiale haute résolution pour l'étude de la dynamique de l'occupation du sol dans le Nord-Est de la Côte d'Ivoire : Bouna. Mémoire de DEA, Université de Cocody, Abidjan, 62 p.

Dao, H. (1999) Connaissance de l'environnement et système d'information géographique : le cas de la déforestation en Côte d'Ivoire. Thèse de doctorat, Université de Genève, Genève, 370 p.

Dotia, Y.P. (1999) Esquisse de la flore ligneuse, y compris les parasites épyphytoïdes (Loranthaceae), de la région de Kouto, dans le nord de la Côte d'Ivoire. Mémoire de DEA, Université de Cocody, Abidjan, 152 p.

Eldin, M. (1971) Le climat. P. 77-108, *in* Avenard, J.M., Eldin, M., Girard, G., Sir Coulin, J., Touchebeuf, P. et Perraud, A. (réd.) Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Mémoire de l'ORSTOM n° 50, Paris, 391 p.

Guillaumet, J.L. et Adjanohoun, E. (1969) Carte de la végétation de la Côte d'Ivoire à l'échelle 1/500 000. Feuilles Sud-Est et Sud-Ouest, ORSTOM, Bondy.

Guinko, S. (1984) Végétation de la Haute Volta. Thèse de doctorat, Université de Bordeau III, Bordeaux, 318 p + annexes.

Koné, M. (1998) Étude par télédétection des structures spatiales en milieu de savane : cas du Parc national de la Comoé. Mémoire de DEA, Université de Cocody, Abidjan, 65 p.

Koné, M. (2004) Étude de la variabilité de la couverture ligneuse en milieu de savane à partir de l'imagerie satellitale haute résolution : cas du nord de la Côte d'Ivoire (région de Korhogo). Thèse de doctorat, Université de Cocody, Abidjan, 135 p.

Koné, M., N'Guessan K.E., Bakayoko, A., Tra Bi, F. H. et Biémi, J. (2006) Étude diachronique par télédétection spatiale de la couverture ligneuse de la forêt classée de la Silué, nord de la Côte d'Ivoire. Sciences & Nature, vol. 3 n° 2, p. 153-164.

Koulibaly, A.V. (2000) Caractéristique de la végétation et de la flore de la savane soudanienne de Côte d'Ivoire : cas des alentours de la ville de Korhogo. Mémoire de DEA, Université de Cocody, Abidjan, 83 p.

Lebrun, J.P. et Stork, A.L. (1991, 1993, 1995 et 1997) Énumération des plantes à fleurs d'Afrique Tropicale. Conservatoire et Jardin Botanique, Genève, 4 volumes, 249 p., 257 p., 341 p. et 712 p.

N'Guessan, K.E., Condé, A. et Fofana, M. (1989) Utilisation des données satellitaires à haute résolution (HRV de SPOT et TM de LANDSAT) pour l'étude des pressions anthropiques sur la forêt classée de Korhogo dans le nord de la Côte d'Ivoire. Bulletin de la Société française de photogrammétrie et de télédétection, n° 116, p. 18-26.

N'Guessan, E., Dibi N'da, H., Bellan, M., Blasco, F. (2006) Pression anthropique sur une réserve forestière en Côte d'Ivoire. Télédétection, vol. 5, n° 4, p. 307-323.

Nicholson, S.E. (1983) Sub-Sahara rainfall in the year 1976-1980 : Evidence of continued drought. Monthly Weather Review, vol. 3, 1646-1654.

Paturel, J.E., Servat, E., Kouamé B. et Boyer, J.F. (1995) Manifestation de la sécheresse en Afrique de l'Ouest non sahélienne. Cas de la Côte d'Ivoire, du Togo et du Bénin. Sécheresse, vol. 6, n° 1, p. 95-102.

Perraud, A. (1971) Les Sols. P. 268-390, *in* Avenard, J.M., Eldin, M., Girard, G., Sir Coulin, J., Touchebeuf, P. et Perraud A. (réd.) Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Mémoire ORSTOM n° 50, Paris, 391 p.

Poilecot, P. (1995) Les Poaceae de Côte d'Ivoire, manuel illustré d'identification des espèces. Conservatoire et Jardin botanique, Genève, Biosseria n° 50, 734 p.

Rouse, J.W., Haas, R.H., Deering, D.W., Schell, J.A. and Harlan, J.C. (1973) Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. P. 309-317, *in* S. C. Freden, E. E Mercanti & M. A. Becker (réd.), Third Earth Resources Technology Satellite Symposium Proceedings, Washington, D.C., 10-14 december 1973, NASA Science and Technology Information Office, Washington D.C., Publication *NASA SP-351,* vol. 1.

Savané, I., Coulibaly, K. M. et Gion, P. (2001) Variabilité climatique et ressources en eaux souterraines dans la région semi-montagneuse de Man. Sécheresse, vol. 12, n° 4, p. 231-237.

Sylla, D. (2002) Dynamique de l'occupation du sol dans le nord de la Côte d'Ivoire (1980-2000) : l'exemple du département de Korhogo. Mémoire de DEA, Université de Cocody, Abidjan, 73 p.

Annexe : Liste des espèces citées

- *Anacardium occidentale* L. (Anacardiaceae)
- *Andropogon gayanus* Kunth. (Poaceae)
- *Bridelia ferruginea* Benth. (Euphorbiaceae)
- *Cassia sieberiana* DC. (Caesalpiniaceae)
- *Combretum glutinosum* Perr. Ex DC. (Combretaceae)
- *Combretum molle* R. Br. ex G. Don (Combretaceae)
- *Daniellia oliveri* (Rolfe) Huch. Dalz (Caesalpiniaceae)
- *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. (Caesalpiniaceae)
- *Diospyros mespiliformis* hochst ex A. DC. (Ebenaceae)
- *Eucalyptus citriodora* Hook (Myrtaceae)
- *Gmelina arborea* RoxB. (Verbenaceae)
- *Imperata cylindrical* L. P. beanv (Poaceae)
- *Isoberlinia doka* Craib & Stapf (Caesalpiniaceae)
- *Khaya senegalensis* (Desv.) A. Juss. (Meliaceae)
- *Lannea acida* A. Ric (Anacardiaceae)
- *Mitracarpus scaber* Zucc. (Rubiaceae)
- *Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth. (Mimosaceae)
- *Periploca nigrescens* Afzel. (Asclepiadaceae)
- *Piliostigma thonningii* (Schum.) Milne (Ceasalpiniaceae)
- *Saba senegalensis* (A. DC.). Pichon (Apocynaceae)
- *Sansevieria liberica* Gérome et Labroy (Liliaceae)
- *Sarcocephalus latifolius* (Smith) Bruce (Rubiaceae)
- *Strophanthus spp*. (Apocynaceae)
- *Tectona grandis* L. (Verbenaceae)
- *Terminalia schimperiana* Hochst (Combretaceae)
- *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertner (Sapotaceae)
- *Uapaca somon* Pax. (Euphorbiaceae)