APPORT DE LA TÉLÉDETECTION AU SUIVI DE LA DÉFORESTATION DANS LE PARC NATIONAL DE LA MARAHOUÉ (CÔTE D'IVOIRE)

Hyppolite DIBI N'DA [1]*, Edouard KOUAKOU N'GUESSAN [2] , Mathieu EGNANKOU WADJA [3] et Kouadio AFFIAN [4]

1 Département de Botanique et Biologie Végétale, Faculté des Sciences et Techniques,Université Nationale d'Abidjan, 22 B.P. 582, Abidjan, Côte d'Ivoire. Téléphone : 225 22 44 98 60 ; télécopie : (225) 22 44 03 07, Courriel : n_dibihyppolited@yahoo.fr
2 Département de Botanique et Biologie Végétale, Faculté des Sciences et Techniques, Université Nationale d'Abidjan, 22 B.P. 582, Abidjan, Côte d'Ivoire. Téléphone : 225 22 44 98 60 ; télécopie : (225) 22 44 03 07, Courriel : k_nguessan@yahoo.fr
3 Département de Botanique et Biologie Végétale, Faculté des Sciences et Techniques, Université Nationale d'Abidjan, 22 B.P. 582, Abidjan, Côte d'Ivoire. Téléphone : 225 22 44 98 60 ; télécopie : (225) 22 44 03 07, Courriel : wadjaegnankou@hotmail.com
4 Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection CURAT, Unité de Formation et de Recherche des Sciences de la terre et des ressources minières, Université Nationale d'Abidjan, 22 B.P. 801, Abidjan, Côte d'Ivoire. Téléphone : (225) 22 44 52 70/22 90 42 21 ; télécopie : (225) 22 44 35 00/22 44 52 84, Courriel : k_affian@yahoo.fr

Soumis le 5 juin 2007 ; révisé le 27 janvier 2008 ; accepté le 17 avril 2008 - © *Revue Télédétection*, 2008, vol. 8, n° 1, p. 17-34

Resumé

Sous les pressions anthropiques, plusieurs hectares de forêts disparaissent chaque année en Côte d'Ivoire et particulièrement dans les Parcs Nationaux. Cette déforestation présente de nombreuses conséquences dont la baisse de la biodiversité. Pour mieux comprendre cette réduction des surfaces forestières, la présente étude a été initiée. Elle se propose de caractériser et de cartographier la couverture végétale du Parc de la Marahoué, puis d'évaluer sa dynamique forestière de 1986 à 2003, à partir de l'imagerie spatiale.

Ces travaux se sont appuyés sur les images satellitaires Landsat ETM+ de 2003 et TM de 1986. Ainsi, les compositions colorées ETM4-5-3 et ACP1-2-3 ayant une bonne discrimination des types d'occupation du sol, ont servi de base à la collecte de données de terrain sur la végétation (structure) et la flore à partir de 100 sites d'échantillonnage. Les surfaces autres que la végétation (sol nu, localité, plan d'eau) ont également été décrites. En s'appuyant sur les données de terrain, les classifications dirigées par la méthode de maximum de vraisemblance sur les images satellitaires (ETM+, TM) a permis d'élaborer les cartes de végétation du Parc de 1986 et 2003.

Ainsi, il a été possible de discriminer les forêts, les savanes et les cultures avec des précisions variables. En effet, dans les formations forestières la confusion spectrale entre deux classes voisines est fortement corrélée à la structure des ligneux (densité d'aire basale). Cette corrélation entre structure ligneuse et confusion spectrale entre classes de végétation n'est pas vérifiée dans les formations à densité ligneuse faible.

Au niveau de la dynamique végétale, on note que les défrichements agricoles ont entraîné la disparition de 16378 ha (21,70%) de forêts en l'espace de 17 ans (1986-2003). Cette déforestation est plus marquée dans la Sous Préfecture de Bonon (sud-ouest) qui a enregistré la plus forte croissance démographique (58%) entre 1988 et 1998. Les forêts du Parc de la Marahoué disparaîtront dans un avenir très proche si aucune action de protection n'est entreprise.

Mots clés : Déforestation, Image satellitaire, Pression anthropique, Agriculture. Parc National.

Followed of the deforestation in Marahoué national Parc (Côte d'Ivoire) using remote sensing

Abstract

With anthropogenic pressures, several hectares of forests disappear every year in Ivory Coast, particularly in National Park. This degradation of forest cover creates the biodiversity decreasing. For a best understanding of forest disappearance phenomenon in the protected areas, this study has been initiated. It aims to characterize and map the plant cover of Marahoué National Park, then to value its forest dynamics from 1986 to 2003 by spatial imagery. We used Landsat images ETM+ of 2003 and TM of 1986. Thus, ETM4-5-3 and ACP1-2-3 colour composites with a best dis-

crimination of land use helped to collect land datas on vegetation and flora from 100 test-sites. The other types of land use have been described also. The maximum likelihood classification method on satellite images permitted to map Marahoué Park vegetation of 1986 and 2003. Thus, it was possible to discriminate forests, savannas and cultures with various accuracy. Indeed, spectral confusion between two neighbouring classes is related with the structure (basal area) of the woody layers in forest formations. This interrelationship does not exist in formations with lower tree densities. From 1986 to 2003 (17 years), 16378 hectares (21,70%) of forests disappeared with the agricultural activities. This deforestation is more important in the West South (Bonon), where the demographic growth was strongest (58%) from 1988 to 1998. The forest of the Marahoué National Park will disappear very soon with agricultural activities if no management plan is applied.

***Key words** : Deforestation, satellite image, anthropogenic pressure, Agriculture, National Park.*

INTRODUCTION

Les problèmes liés à la gestion de l'environnement et des ressources naturelles constituent des défis majeurs qui se posent à l'homme aujourd'hui. La dégradation des écosystèmes forestiers en constitue un des éléments. En effet, les forêts tropicales ont fortement diminué sous diverses pressions anthropiques. Pour la période 1976-1980, le taux de dégradation annuelle des forêts tropicales humides se chiffrait à environ 6,113 millions d'hectares (Lanly, 1982). Des données plus globales indiquent que le rythme de la déforestation annuelle mondiale qui se chiffrait à 8,868 millions hectares entre 1990 à 2000, est aujourd'hui (2000-2005) estimé à 7,317 millions d'hectares par an. Ainsi, les surfaces des forêts mondiales sont passées de 4,077 milliards d'hectares en 1990 à 3,952 milliards d'hectares en 2005 (Achard *et al*., 2002; FAO, 2007).

Les forêts ivoiriennes, bien connues pour leur richesse floristique n'échappent pas à ce phénomène de déforestation (Aké Assi, 1984; Chatelain, 1996; N'guessan, 2004; 2006). En effet, le développement des cultures de spéculations que sont le cacaoyer, *Theobroma cacao* (Sterculiaceae); le caféier, *Coffea arabusca* et *Coffea canephora* (Rubiaceae) et l'exploitation des grumes, ont conduit à une dégradation de plus de 83% des surfaces forestières. Ainsi, de 15 millions d'hectares au début du siècle dernier, il ne restait plus que 2,5 millions d'hectares de forêt en 1996 (Lanly, 1982; SODEFOR, 1996; Païvinen *et al*., 1992). La déforestation a ainsi entraîné la disparition ou la raréfaction d'un nombre important d'espèces végétales, parmi lesquelles figurent des plantes intéressantes, soit par leur rareté, soit par leur endémisme (Aké Assi et Dian Boni, 1990; Aké Assi, 1988, 1998). Cette rapide dégradation des forêts représente également une menace pour les animaux qui en dépendent. Aujourd'hui, les forêts non encore exploitées sont estimées à quelques milliers d'hectares confinés dans les réserves forestières et les parcs nationaux, sur lesquelles la Côte d'Ivoire a basé la conservation de sa flore et de sa faune. Malheureusement, nombreuses sont les aires protégées qui n'existent que de nom, car elles ont été infiltrées pour la mise en place de grandes exploitations agricoles. C'est le cas du Parc National de la Marahoué (PNM), qui a enregistré un taux d'occupation agricole évaluée à 13746 ha en 1999 (CI et MINEFOR, 2001). Face à l'ampleur de la déforestation dans ces réserves de biodiversité, la préoccupation principale des structures gouvernementales ayant en charge la gestion des ressources naturelles, est de savoir l'état exact des surfaces de forêts ivoiriennes. Ainsi, la présente étude centrée sur le PNM a été initiée par le Centre Universitaire de Recherches et d'Application en Télédétection (CURAT), en collaboration avec le Centre National de Floristique (CNF) et l'Office Ivoirien des Parcs et Réserves (OIPR). Ces travaux ont pour objectif général d'améliorer les connaissances sur le phénomène de la déforestation dans le PNM et donner aux gestionnaires des éléments indispensables à la mise en place d'une politique de gestion durable des forêts. Il a s'agit plus spécifiquement de caractériser et de cartographier les différents types de végétation du Parc, puis d'évaluer la dynamique forestière sous les pressions anthropiques entre 1986 et 2003.

1. CADRE DE L'ETUDE

Le PNM, classé comme une zone protégée depuis le 9 février 1968, couvre une superficie de 101 000 ha. Il est situé au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire, à environ 387 kilomètres au nord-ouest d'Abidjan, sur l'axe routier Bouaflé-Daloa. Il est délimité par les longitudes 5°45' et 6°13' Ouest et les latitudes 6°51' et 7°17' Nord (Figure 1). Le PNM est situé dans le secteur mésophile guinéen, dans une zone de transition climatique avec une partie sud plus humide que le nord. Quant aux températures moyennes annuelles, elles varient entre 25 et 28 °C (Eldin, 1971). La végétation est une mosaïque de forêts et de savanes (Adjanohoun et Guillaumet, 1971). On note également de grandes exploitations agricoles suite à l'infiltration du Parc par les populations. Cette zone est le siège d'un véritable brassage culturel entre les Gouro, les Bété (peuples autochtones), les Baoulé, les Sénoufo, les Tagbana et une importante communauté étrangère, venue s'installer dans la région à la recherche de terres forestières. La population de la zone d'étude qui est passée de 332561 à 440259 entre 1988 et 1998, est essentiellement rurale avec l'agriculture traditionnelle comme activité principale (CI et MINEFOR 2001). L'augmentation de la demande en terre fertile pour les cultures de spéculation (café, cacao), a entraîné une saturation foncière et l'infiltration de plus en plus importante du Parc. Cette situation a eu pour conséquence, de nombreux conflits, d'une part entre les populations autochtones et les allochtones qui se sentaient propriétaires des

terres achetées, et d'autre part, entre les autorités forestières et les populations infiltrées, qui étaient estimées à 1397 en 1989 (SODEFOR, 1989).

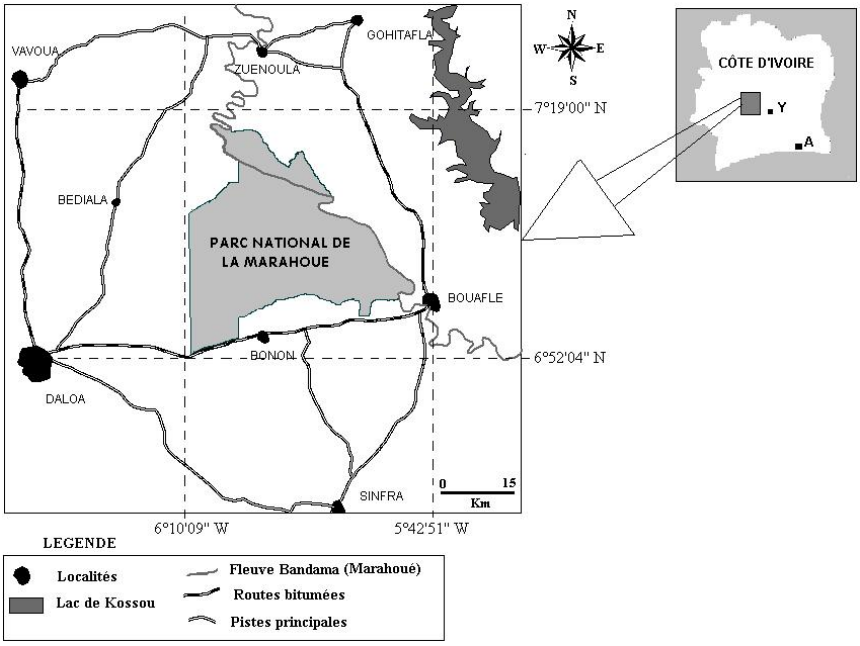


Figure 1. Situation géographique de la zone d'étude

2. MATERIELS ET METHODES

2 . 1. Matériels

Les données utilisées dans cette étude peuvent se scinder en matériels biologiques et techniques. Le matériel biologique est constitué d'espèces végétales in vivo ou sous forme d'herbier. Le matériel technique est composé de matériel de terrain, de données spatiales et cartographiques, et de logiciels.

Le matériel de terrain se compose de deux (2) rubans de 50 m pour délimiter les placettes, de rubans gradués de 1 m pour la mesure des diamètres (≥ 10 cm) à hauteur de poitrine (dhp) des ligneux, de boussole pour orienter les placettes, d'appareil photographique pour les prises de vues et de GPS ''Garmin 82'' pour l'enregistrement des coordonnées géographiques des parcelles de relevés.

Quant aux données spatiales et cartographiques, elles sont constituées d'images satellitaires (Landsat 5 TM, scène 197-55 du 16 janvier 1986 et Landsat 7 ETM+ ,scène 197-55 du 08 février 2003), d'une carte d'occupation du sol au 1/100000 SODEFOR (1986) et de six cartes topographiques au 1/50 000 éditées par l'Institut Géographique National-Paris (1956).

Nous disposions également de données sur le climat, notamment les températures et les pluviométries de 1971 à 2000 issues de la Société de Développement et d'Exploitation Aéronautique, aéroportuaire et Météorologique (SODEXAM), ainsi que de données sur la population de 1988 et 1998 fournies par l'Institut National de la Statique (INS).

Au niveau des logiciels, le Modèle 5S : Simulation du Signal Satellitaire dans le Spectre Solaire (Tanré *et al*., 1986) et le logiciel ENVI 4.1 ont été respectivement utilisés pour l'estimation des conditions atmosphériques et le traitement d'image.

2. 2. Méthode

La méthodologie adoptée dans ce travail a combiné les techniques de traitements d'images satellitaires, les techniques d'observations et de collectes de données sur le terrain.

Le prétraitement d'image a débuté par la correction géométrique des images satelitaires. Ainsi, l'image Landsat 5 TM géométriquement rectifiée a servi de base à la correction de Landsat 7 ETM par un polynôme de degré 1, avec une erreur résiduelle d'environ 7 m (largement inférieure au ½ pixel qui est de 15 m). Sept (7) points de calage ont servi de points d'amers. La méthode de reéchantillonnage du plus proche voisin qui conserve les valeurs radiométriques origina-

les de l'image (Caloz *et al*., 1993) a été le paramètre retenu. Nous avons par la suite réalisé la correction radiométrique pour réduire les effets perturbateurs de l'atmosphère, qui est particulièrement chargée de nuage de poussière en période de l'harmattan (Song *and al*., 2001; Foody *et al*., 1996). Les données techniques des images satellitaires et les visibilités horizontales de janvier (6,52 Km) et février (7,63 Km) ont permis au modèle 5S d'estimer les conditions atmosphériques. Ces dernières ont servi à la correction atmosphérique des images selon l'équation suivante.

$R_s = (Rea - Ratm) / I_g$ (1)

Rs : Réflectance au sol

Ratm : Réflectance propre de l'atmosphère

Ig : Transmission gazeuse totale pour le canal considéré

Pour finaliser le prétraitement, la fenêtre d'étude de 1710 pixels sur 1615 lignes centrée sur le PNM est découpée puis un masque est appliqué pour extraire l'image du Parc National de la Marahoué. Le traitement numérique proprement dit, a commencé par la production de classes d'occupation du sol non dirigées devant servir de base aux missions de visites de terrain. Ainsi, divers indices fournissant des informations sur les caractéristiques physiques et biologiques de la végétation ont été calculés :

- le Normalized Difference Vegetation Index ou indice de végétation normalisé

NDVI = (TM4 – TM3) / (TM4 + TM3) (2)

- le Brightness Index ou indice de Brillance des sols

BI = 0,3037TM1 + 0,2793TM2 + 0,4743TM3 + 0,5585TM4 + 0,5082TM5 + 0,1863TM7 (3)

- le Wetness Index (Tasseled Cap Transformation) ou indice d'humidité

WI = 0,1509TM1 + 0,1973TM2 + 0,3279TM3 + 0,3406TM4 – 0,7112TM5 – 0,4572TM7 (4)

Ces trois indices ont respectivement permis de caractériser les différents types de végétation par rapport à l'intensité de leur activité photosynthétique, leur recouvrement au sol et leur humidité ou niveau de stress hydrique pendant la saison sèche. Il a été ainsi possible de discriminer les forêts, les savanes et les zones agricoles.

Les compositions colorées avec les bandes brutes (ETM4-5-3) et les néocanaux de l'analyse en composantes principales (ACP1-2-3) réalisées en complément des indices ont permis :

- la discrimination des différents types d'occupation du sol (végétation),
- la sélection des sites à visiter et l'orientation sur le terrain,
- le choix des parcelles d'entraînement pour la classification dirigée,
- le choix des parcelles de contrôles pour l'élaboration de la matrice de confusion.

Ainsi, il a été possible de discriminer sur les compositions colorées, 3 types de forêts (forêt 1, 2 et 3), 2 types de savanes (savane 1 et 2), 2 types de cultures (culture 1 et 2) et 2 types de jachères (jachère 1 et 2). D'autres unités cartographiques que sont le fleuve Bandama, les localités/sols nus et les brûlis qui sont en réalité des savanes ayant subi les feux ont été également notés. Une centaine de parcelles dite « vérité terrain » représentant tous les types d'occupation du sol a été identifiée et sélectionnée. Il s'agit des parcelles qui seront effectivement visitées sur le terrain. La première colonne du tableau 1 donne la répartition de ces dernières par type d'occupation du sol. Ces parcelles sont caractérisées par leur homogénéité et leur taille suffisamment grande (9000 m^2 à 27000 m^2 soit 10 à 30 pixels) pour être reconnues sur le terrain.

Quatre missions de terrain (février et juin 2004, janvier 2005 février 2006) ont permis de décrire les différents types de végétation et d'échantillonner la flore du PNM. Pour chaque peuplement, la description a consisté à estimer la hauteur et le recouvrement des différentes strates de végétation ainsi que le stade de dégradation. Le niveau de stress hydrique des peuplements pendant la saison sèche est également noté.

Pour la caractérisation de la structure ligneuse de la végétation, 40 placettes dont la distribution est représentée par la colonne 2 du tableau 1, ont été posées au hasard à l'intérieur des sites visités, dans les formations végétales naturelles que sont les forêts, les savanes et la jachère ancienne (jachère 1). Ces placettes de taille 25x25 mètres (Hawthone et Abu-Juam, 1995; Hawthone, 1996; Adou, 2001; 2005), sont respectivement au nombre de 21 pour les forêts, 12 pour les savanes et 7 pour les jachères (Tableau 1). A l'intérieur des placettes, les diamètres à hauteur de poitrine (dbh) des arbres et lianes supérieur ou égal à 10 cm sont relevés.

Aucune placette n'a été posée dans les milieux artificiels que sont les cultures. La classe jachère récente (jachère 2) n'a également pas été prise en compte dans cette caractérisation structurale, car la strate ligneuse de diamètre ≥ 10 cm y est quasi inexistante.

Le traitement des données collectées sur le terrain a permis de caractériser la structure verticale par l'estimation de la hauteur et le recouvrement des différents types de végétation. La structure horizontale des peuplements a également été analysée par le calcul de :

- la densité de ligneux ''D'' est exprimée par la formule suivante : (5) $D = N/S$

(N est le nombre de tige du milieu considéré et S la surface totale des placettes en ha),

- l'aire basale ''A'' se calcule selon l'expression suivante : (6) $A = d^2Pi/4$

(d est le diamètre de la tige et Pi = 3,14),

- la distribution des tiges par classes de diamètres ''T'' est déterminée par la formule :

(7) $T = N/I$ (N est le nombre de tiges et I l'intervalle en cm),

Ces indices ont été calculés pour les forêts 1 (forêts denses semi-décidues), les forêts 2 (galeries forestières), les forêts 3 (forêts denses sèches), les savanes 1 (savanes arbustives denses), les savanes 2 (savanes arbustives peu denses) et les jachères 1 (jachères anciennes).

Pour que les indices soient comparables, cinq (5) placettes par type de végétation, soit au total de 30 placettes ont servi de base aux différents calculs. La répartition de ces placettes est résumée par la troisième (3^e) colonne du tableau 1.

Les informations recueillies sur le terrain, ont également permis de finaliser les traitements numériques. En effet, la classification dirigée des images Landsat par la méthode de classification par maximum de vraisemblance a permis de produire des cartes d'occupation du sol du Parc. Cette classification s'est appuyée sur 50 parcelles d'entraînement, réparties comme l'indique la colonne 4 du tableau 1. Les signatures spectrales ont été calculées sur les canaux ETM+ 2, 3, 4, 5 et 7.

La validation de la carte de végétation 2003 du Parc a été faite par l'analyse de la matrice de confusion, qui a été élaborée à partir de 50 autres parcelles dites parcelles de contrôle. La distribution de ces dernières est résumée dans la colonne cinq (5) du tableau 1. Il s'agit de parcelles visitées sur le terrain et n'ayant pas servi d'entraînement. Ce traitement à été finalisé par une visite de terrain post classification. Le rapport entre la structure des types de végétation et leur discrimination par l'image Landsat ETM+ a été évalué. Pour cela, les différences d'aires basales des peuplements, sont comparées à leurs moyennes de pixels mal classés, issus de la matrice de confusion de l'image Landsat ETM+.

La carte d'occupation du sol du Parc pour l'année 2003 produite par la classification dirigée, est par la suite simplifiée par le regroupement des classes :

- la classe forêt est la fusion des forêts denses semi-décidues, des forêts denses sèches et des galeries forestières,

- la classe savane est un regroupement des savanes arbustives denses, des savanes arbustives peu denses et des brûlis, qui sont les savanes parcourues par les feux avant la prise de vue,

- la classe zone agricole est une sommation des cultures pérennes, des cultures annuelles et des jachères anciennes et récentes, des localités et des sols dénudés pour la préparation des cultures,

- la classe eau est représentée par le fleuve Bandama.

Cette méthode est reprise à l'identique pour la production de carte de végétation du Parc de 1986, en utilisant comme réalité de terrain la carte d'occupation du sol 1986 et les données de terrain de 2003. En effet, les formations végétales identifiées dans le Parc en 2003 sont les mêmes que celles qui existaient en 1986. Seule l'occupation spatiale de ces unités cartographiques marque une différence entre les deux dates. Ainsi, les parcelles d'entraînement et de contrôle sélectionnées sur la composition colorée TM 4-5-3, respectivement pour la classification dirigée et l'élaboration de la matrice de confusion, sont validées par la carte d'occupation du sol de 1986 et des données collectées sur le terrain en 2004. Les cartes de végétation des années 1986 et 2003 du Parc de la Marahoué, permettent une analyse qualitative et quantitative de la dynamique végétale en générale. Cette dynamique forestière sera mise en rapport avec la pression anthropique analysée sur la base des données de population de 1988 et 1998.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3. 1. RESULTATS

3. 1. 1. Description de la physionomie des formations végétales

Trois types de forêts ont été notés dans le Parc. Il s'agit des forêts denses semi-décidues, des forêts galeries ou ripicoles, et des forêts denses sèches

La forêt dense semi-décidue (forêt 1) est une forêt encore bien conservée. Les essences forestières fréquemment rencontrées sont *Teclea verdoorniana* (Rutaceae), *Mansonia altissima* (Sterculiaceae), *Nesogordonia papaverifera* (Sterculiaceae), *Triplochiton scleroxylon* (Sterculiaceae) et *Celtis zenkeri* (Ulmaceae).

La galerie forestière et la forêt ripicole (forêt 2) sont établies le long des rivières et du fleuve Bandama, sur des sols humides. Ce type de forêt est également bien conservé et reste vert toute l'année. Les essences forestières caractéristiques des milieux humides telles que *Dracaena arborea* (Agavaceae), *Phoenix reclinata* (Arecaceae), *Cynometra megalophylla* (Caesalpiniaceae) et *Drypetes floribunda* (Euphorbiaceae) y sont rencontrées. On note également la présence de lianes telles que *Salacia debilis* (Hippocrateaceae), *Salacia stuhlmanniana* (Hippocrateaceae).

Tableau 1. Distribution des parcelles et placettes sélectionnées pour l'analyse de la végétation du Parc National de la Marahoué.

	Distribution				
Types d'occupation du sol	Vérité terrains ou sites Visités	Placettes dans les types de végétation	Analyse de la structure ligneuse	Parcelles entraînement sélectionné	Parcelles contrôle sélectionnés
Forêt dense semi décidue	15	10	5	8	8
Forêt dense sèche	8	5	5	4	4
Galerie forestière	8	6	5	4	4
Savane arbustive dense	8	5	5	4	4
Savane arbustive peu dense	8	7	5	4	4
Brûlis	6	0	0	3	3
Jachère ancienne	8	7	5	4	4
Jachère récente	8	0	0	4	4
Culture pérenne	11	0	0	5	5
Culture annuelle	8	0	0	4	4
Localité et sols nus	6	0	0	3	3
Fleuve	6	0	0	3	3
SOMME	**100**	**40**	**30**	**50**	**50**

La forêt dense sèche (forêt 3) est une forêt présentant un aspect très dégradé et qui dessèche fortement pendant la saison sèche. Les essences forestières fréquentes dans cette formation sont *Motandra guineensis (Apocynaceae), Bombax buonopozense* (Bombacaceae), *Ceiba pentandra* (Bombacaceae), *Nesogordonia papaverifera* (Sterculiaceae), *Triplochiton scleroxylon* (Streculiaceae) et *Celtis zenkeri* (Ulmaceae).

La forêt 1 est la plus haute, mais elle présente une strate ligneuse supérieure de faible recouvrement (Tableau 2) par rapport à la forêt 2. Cette dernière (forêt 2) qui affiche un fort recouvrement au niveau de sa strate ligneuse supérieure, est la plus basse. Au niveau des formations forestières, la sommation des recouvrements au sol des différentes strates ligneuses est comprise entre 80 et 100%. La différence dans la structure verticale des forêts 1 et 2 est moins perceptible au niveau des densités de tiges et des aires basales. En effet, ces deux paramètres de la structure horizontale des peuplements, indiquent que les forêts 1 et 2 restent statistiquement très proches, tant au niveau de la densité de tiges que de l'aire basale (Figure 2 A, B). Ainsi, pendant que la différence de densité de tiges entre les forêts 1/3 et 2/3 reste supérieure à 230 tiges/ha, cette valeur n'est que de 8 tiges/ha pour les forêts 1/2. Ce constat est le même au niveau de l'aire basale des peuplements. On note que le coefficient de corrélation (0,99) entre la densité de tiges et l'aire basale, est très fort dans les formations forestières. Ce résultat permet de dire que les tiges ont des diamètres voisins.

Tableau 2. Structure verticale des formations forestières telle que notée sur le terrain

végétation	strate ligneuse supérieure	*strates ligneuses inférieures*	strate herbacée
Forêt 1	35 ≤ h ≤ 45 m, recouvrement discontinu et ouvert (35 à 50%)	2 ≤ h ≤ 30 m, dense et plus ou moins fermé	0 ≤ h≤ 2m peu dense
Forêt 2	20 ≤ h ≤ 25 m, recouvrement continu et fermé (70 à 90%)	2 ≤ h ≤ 20 m, peu dense et ouvert	0 ≤ h≤ 2m peu dense
Forêt 3	20 ≤ h ≤ 30 m, recouvrement discontinu et ouvert (30 à 40%)	2 ≤ h ≤ 20 m, peu dense et ouvert	0 ≤ h ≤ 2m dense

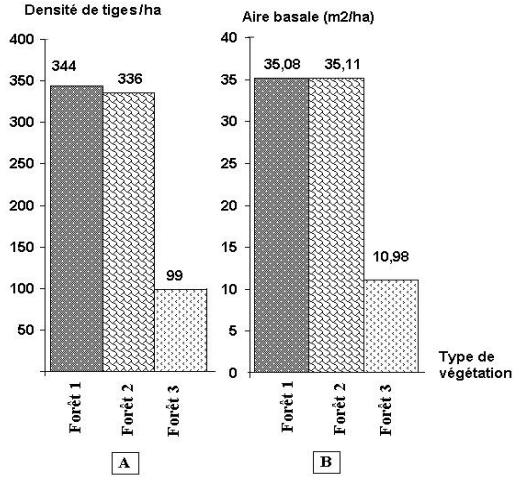


Figure 2. Histogrammes comparatifs des densités de tiges (A) et aires basales (B) des formations forestières

En fonction de la structure ligneuse, deux (2) types de savanes ont été identifiées.

La savane arbustive dense (savane 1) est caractérisée par une strate ligneuse dense. Les espèces fréquentes dans la strate arbustive sont *Pilostigma thonningii* (Caesalpiniaceae), *Bridelia ferruginea* (Euphorbiaceae), *Pseudocedrela kotchyi* (Meliaceae), *Lophira lanceolata* (Ochnaceae), et *Crossopteryx febrifuga* (Rubiaceae). La strate herbacée est composée d'espèces telles *Imperata cylindrica* (Poaceae), *Loudetia phragmitoides* (Poaceae) et *Chromolaena odorata* (Asteraceae). La dernière espèce citée est progressivement entrain d'envahir les savanes.

La savane arbustive peu dense (savane 2), à la différence de la savane 1 présente une strate arbustive clairsemée. Les espèces fréquentes sont *Annona senegalensis* (Annonaceae) *et Borassus aethiopum* (Arecaceae), en plus de celles citées plus haut.

Deux types de jachères ont été également observés en fonction de la densité de ligneux.

La jachère ancienne (jachère 1) présente une strate ligneuse (arbres et arbustes) relativement dense par endroit. On y rencontre des espèces telles que *Holarrhena floribunda* (Apocynaceae), *Alchornea cordifolia* (Euphorbiaceae), *Antiaris toxicaria* var. *africana* (Moraceae), *Ficus exasperata* (Moraceae). La strate herbacée y est également développée.

La jachère récente (jachère 2) est plus pauvre en ligneux. Il s'agit de parcelles exploitées il y a 1 ou 2 ans pour les cultures vivrières. La strate ligneuse de diamètre ≥ 10 cm est quasiment inexistante. Le tapis herbacé est souvent envahi par *Chromolaena odorata* (Asteraceae). On note également la présence d'autres espèces telles que *Securinega virosa* (Euphorbiaceae), *Centrosema pubescens* (Papilionaceae), *Imperata cylindrica* (Poaceae) et *Rotthboelia cochinchinensis* (Poaceae).

La structure verticale de ces formations, résumée au tableau 3, indique que la savane 1 diffère de la savane 2 par une strate ligneuse plus haute avec un recouvrement au sol important. Dans les formations savanicoles, le recouvrement au sol de la végétation ligneuse est compris entre 5 et 50%. Au niveau de la structure horizontale (Figure 3 A), on note une densité de tiges plus importante dans la savane 1. La savane 2 et la jachère 1 ont des densités de tiges statistiquement très proches. Ces dernières sont mieux discriminées par la valeur de leur aire basale (Figure 3 B). En effet, la savane 2 diffère de la jachère 1 par une aire basale plus élevée. Comme au niveau de la densité de tiges, l'aire basale de la savane

1 reste supérieure à celle des autres peuplements. On note que la densité de tiges en savane 1 représente plus du quadruple de celle de la savane 2. Or, cette dernière affiche plus de la moitié de l'aire basale de la savane 1. Ce constat confirme l'existence d'une strate ligneuse dense constituée d'arbustes de petits diamètres dans la savane 1. Le coefficient de corrélation calculé entre les densités de tiges et les aires basales dans les formations savanicoles et la jachère 1 est de 0,88. Toutefois, les aires basales permettent une meilleure discrimination de ces formations végétales.

Tableau 3. Structure horizontale des formations savanicoles et de la jachère

végétation	strates ligneuses	strate herbacée
Savane 1	$2 \leq h \leq 8$ m, peut atteindre plus de 20 m avec la présence de Rôniers (*Borassus aethiopum*), recouvrement discontinu et ouvert (30 à 50%)	$0 \leq h \leq 2$m peu dense
Savane 2	$2 \leq h \leq 8$ m, peut atteindre plus de 20 m avec la présence de Rôniers (*Borassus aethiopum*), recouvrement très peu dense et ouvert (0 à 15%)	$0 \leq h \leq 2$m peu dense
Jachère	$2 \leq h \leq 25$ m, recouvrement discontinu et ouvert (30 à 40%)	$0 \leq h \leq 2$m dense

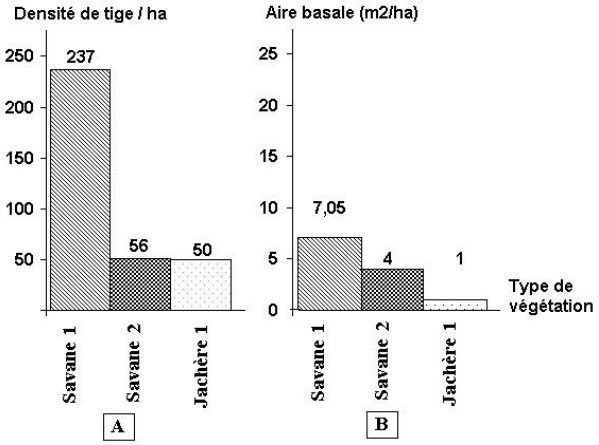


Figure 3. Histogrammes comparatifs des densités de tiges (A) et aires basales (B) des savanes et de la jachère

Deux (2) types de cultures ont été identifiées sur la base du caractère herbacé ou ligneux de la couverture végétale.

Les cultures pérennes (culture 1) sont représentées par des plantations arbustives (1,5 à 3m de haut) telle que les Cacaoyers : *Theobroma cacao* (Sterculiaceae) en pleine production.

Les cultures annuelles (culture 2) sont représentées par des plantes herbacées telles l'igname *Dioscorea* spp. (Dioscorearceae) et la banane plantain *Musa parasidiaca* (Musaceae). Il est important de noter que sur le terrain, la nuance entre culture pérenne et culture annuelle est souvent difficile à faire. En effet, les cultures vivrières servent généralement d'abris ou de couverture aux cultures pérennes. Avec le temps les cultures pérennes prennent progressivement le pas sur les cultures vivrières.

3. 1. 2. Traitement numérique d'image

Les tables 4 et 5 représentant les matrices de confusions des traitements indiquent que les précisions globales de classifications sont de 82,59 et 82,65%, respectivement pour les images de 2003 et 1986. Ces tableaux affichent dans la diagonale le pourcentage de pixels bien classés et hors diagonale le pourcentage de pixels mal classés. Une analyse plus fine de ces données montre que, la classe forêt 1 (forêt dense semi-décidue) présente de fortes confusions avec la classe forêt 2 (forêt galerie ou ripicole). En effet, 26 à 30% des pixels de forêts denses se retrouvent classés dans les forêts galeries, d'où le faible pourcentage de pixels de forêts bien classés (68 à 73%). Les classes de jachères présentent également de faibles pourcentages de pixels bien classés (56 à 81%) compte tenu de leur confusion avec les classes de cultures. Les autres types d'occupation du sol sont en général bien discriminés ou classifiés.

Tableau 4. Matrice de confusion de la classification de l'image de 2003

Classes	Forêt (1)	Forêt (2)	Forêt (3)	Savane (1)	Savane (2)	jachère (1)	Jachère (2)	Culture (1)	Culture (2)	Brûlis	Fleuve	Sol nu
Forêt (1)	**68.39**	2.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Forêt (2)	30.32	**96.25**	9.83	0.12	0.00	0.00	0.00	0.38	0.00	4.24	6.46	0.00
Forêt (3)	1.29	0.79	**85.90**	0.00	0.00	0.00	5.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Savane (1)	0.00	0.10	3.90	**90.12**	1.00	5.00	5.47	0.00	0.48	13.79	0.00	0.00
Savane (2)	0.00	0.00	0.00	7.76	**94.41**	1.00	0.25	0.00	0.00	0.27	0.00	0.00
Jachère (1)	0.00	0.00	0.00	3.00	1.00	**75.24**	2.74	1.73	2.14	0.00	0.00	0.00
Jachère (2)	0.00	0.00	0.00	0.00	2.19	0.19	**56.22**	0.00	30.71	0.00	0.00	5.97
Culture (1)	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00	15.50	0.00	**97.12**	0.00	0.00	0.00	0.00
Culture (2)	0.00	0.00	0.19	0.00	1.40	3.07	29.10	0.77	**65.71**	0.00	0.00	0.00
Brûlis	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**81.70**	4.18	0.00
Fleuve	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**89.35**	0.00
Sol nu	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	0.00	0.95	0.00	0.00	**94.03**
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Overall Accuracy = 82,5977%

Tableau 5. Matrice de confusion de la classification de l'image de 1986

Classes	Forêt (1)	Forêt (2)	Forêt (3)	Savane (1)	Savane (2)	Culture (1)	Culture (2)	Jachère (2)	Jachère (1)	Brûlis	Fleuve	Sol nu
Forêt (1)	**73.40**	12.09	1.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Forêt (2)	26.39	**81.99**	5.28	0.00	0.00	2.58	0.00	0.00	0.00	0.00	1.33	0.00
Forêt (3)	0.04	5.81	**79.34**	0.19	0.00	0.15	0.25	10.51	0.00	0.00	0.00	0.00
Savane (1)	0.00	0.00	5.58	**86.63**	9.54	0.00	0.00	0.00	3.00	0.27	0.00	0.00
Savane (2)	0.00	0.00	0.00	5.08	**89.46**	0.00	0.49	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
Culture (1)	0.18	0.06	0.00	0.00	0.00	**94.07**	0.25	0.00	10.11	0.00	0.00	0.00
Culture (2)	0.00	0.00	2.41	4.59	0.00	0.00	**90.37**	20.00	0.22	0.00	0.00	4.71
Jachère(2)	0.00	0.06	4.98	1.51	0.00	0.00	2.22	**65.42**	2.24	0.00	0.00	0.00
Jachère (1)	0.00	0.00	0.00	2.00	1.00	3.19	5.93	4.07	**81.43**	0.00	0.00	0.00
Brûlis	0.00	0.00	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**99.73**	2.67	0.00
Fleuve	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**96.00**	0.00
Sol nu	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00	**95.29**
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Overall Accuracy = 82,6590%

Le graphe de comparaison des moyennes de confusions (pixels mal classés) spectrales entre les classes de végétation et les données de terrain sur la structure des peuplements (aires basales de la strate ligneuse), permet de faire les observations suivantes (Figure 4 A et B).

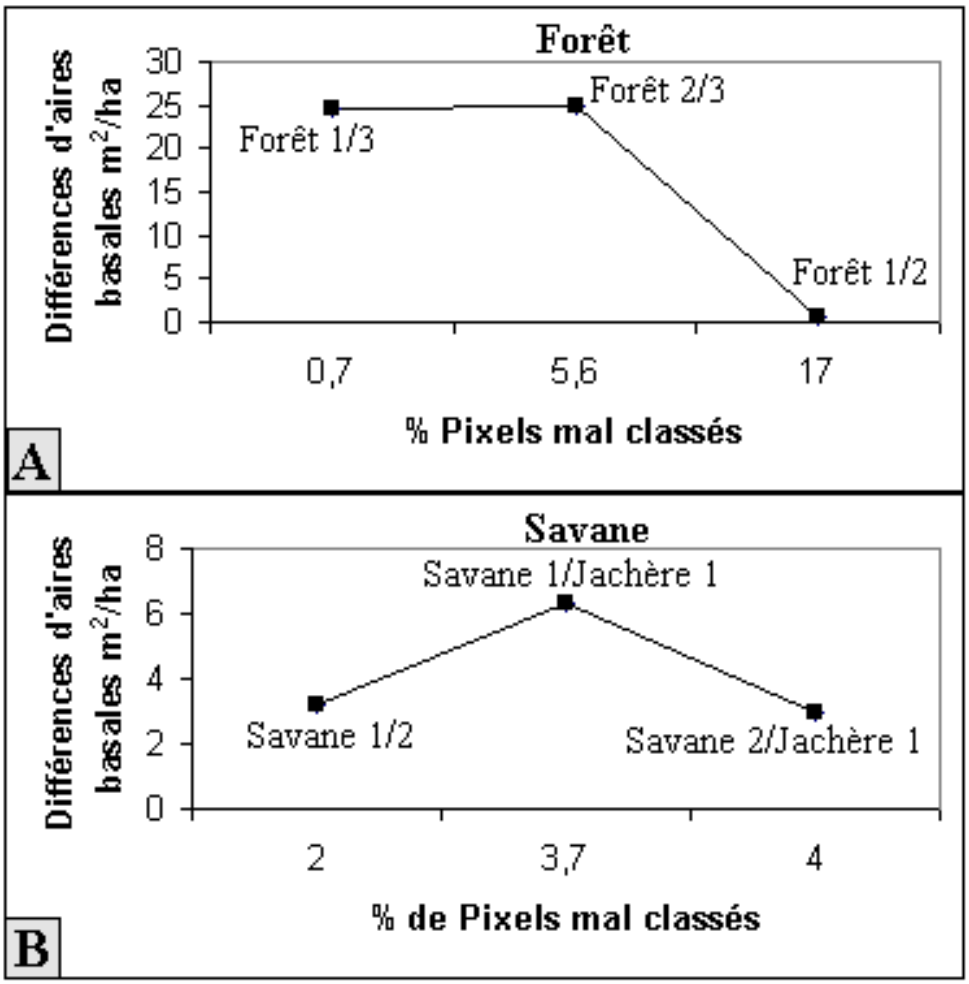


Figure 4. Comparaison des différences des aires basales et des confusions spectrales (% de pixels mal classés) des formations forestières (A) et des formations savanicoles (B)

Au niveau des formations forestières, les couples de végétation qui présentent les plus importantes différences dans leur structure (aires basales) telle que les forêts 1/3 et forêt 2/3 sont ceux qui sont les mieux discriminés, c'est à dire ont les plus faibles pourcentages de pixels mal classés. Les forêts 1/2 présentant de faibles différences dans leur structure, ont un fort pourcentage de pixels mal classés (17%), c'est à dire qu'ils sont moins bien discriminés. En d'autres thèmes, dans les formations forestières, les peuplements les mieux discriminés par l'image satallitaire Landsat ETM+, sont ceux qui affichent des différences importantes dans leur structure ligneuse (aires basales) (Figure 4 A). Le coefficient de corrélation calculé entre les différences d'aires basales et les confusions spectrales des différents types de végétation est de -98,41%.

Au niveau des formations savanicoles et de la jachère 1, on note que les couples de végétation savanes 1/2 et savane 2/jachère 1 qui enregistrent relativement la même valeur de différences d'aires basales, affichent des confusions spectrales (pixels mal classés) très différentes. On note aussi que le couple de végétation savane 1/jachère 1 qui affiche la plus grande différence d'aires basales est également celui qui enregistre la confusion spectrale ou pourcentage de pixels mal classés la plus élevée (Figure 4 B). Le coefficient de corrélation calculé entre les aires basales et les confusions spectrales (pixels mal classés) est de 37,90% dans les formations pauvres en ligneux (savanes et jachère).

Après regroupent des formations végétales en trois (3) classes (forêt, savane et culture), on note un accroissement de la précision globale des unités cartographiques comme l'indique les tableaux 6 et 7. En effet, les précisions cartographiques passent ainsi, de 82,59 à 97,93 et de 82,65 à 97,63, respectivement pour l'image Landsat ETM+ 2003 et Landsat TM 1986.

Un regroupement des classes de végétation en forêt, savane et zone agricole a donné les cartes de végétation du Parc des années 1986 et 2003 représentées par les figures 6 et 7. On note qu'en 1986, l'impact des agressions humaines est représenté par 10290 ha d'exploitations agricoles essentiellement localisées dans le Sud (zone de Bonon), le Sud-Est (zone de Bouaflé-Garango) et le Nord du PNM. Les surfaces de forêts étaient estimées à 75458 ha.

Tableau 6. Matrice de confusion de la classification de l'image Landsat ETM+ de 2003 après regroupement des classes de végétation

Classes	Forêt	Savane	Culture	Fleuve	Sol nu	Total
Forêt	99,33	0,98	1,09	6,46	0,00	43,44
Savane	0,62	97,69	1,05	4,18	0,00	21,06
Zone agricole	0,06	1,33	97,57	0,00	5,97	28,59
Fleuve	0,00	0,00	0,00	89,35	0,00	2,83
Sol nu	0,00	0,00	0,29	0,00	94,03	4,08
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

97,938% précision globale

Tableau 7. Matrice de confusion de la classification de l'image Landsat TM de 1986 après regroupement des classes de végétation

Classes	Forêt	Savane	Culture	Fleuve	Sol nu	Total
Forêt	98,09	0,06	2,77	1,33	0,00	55,62
Savane	0,82	97,47	0,11	2,67	0,00	19,04
Zone agricole	1,09	2,47	97,01	0,00	4,71	20,31
Fleuve	0,00	0,00	0,00	96,00	0,00	2,36
Sol nu	0,00	0,00	0,11	0,00	95,29	2,67
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

97,633% de précision

La figure 5 représente la carte d'occupation du sol du PNM en 2003. Les surfaces des unités cartographiques sont représentées par le tableau 8. on note de façon globale que l'existence de forêt dans la partie centrale du Parc, alors que la zone périphérique est occupée par les exploitations agricoles et les jachères.

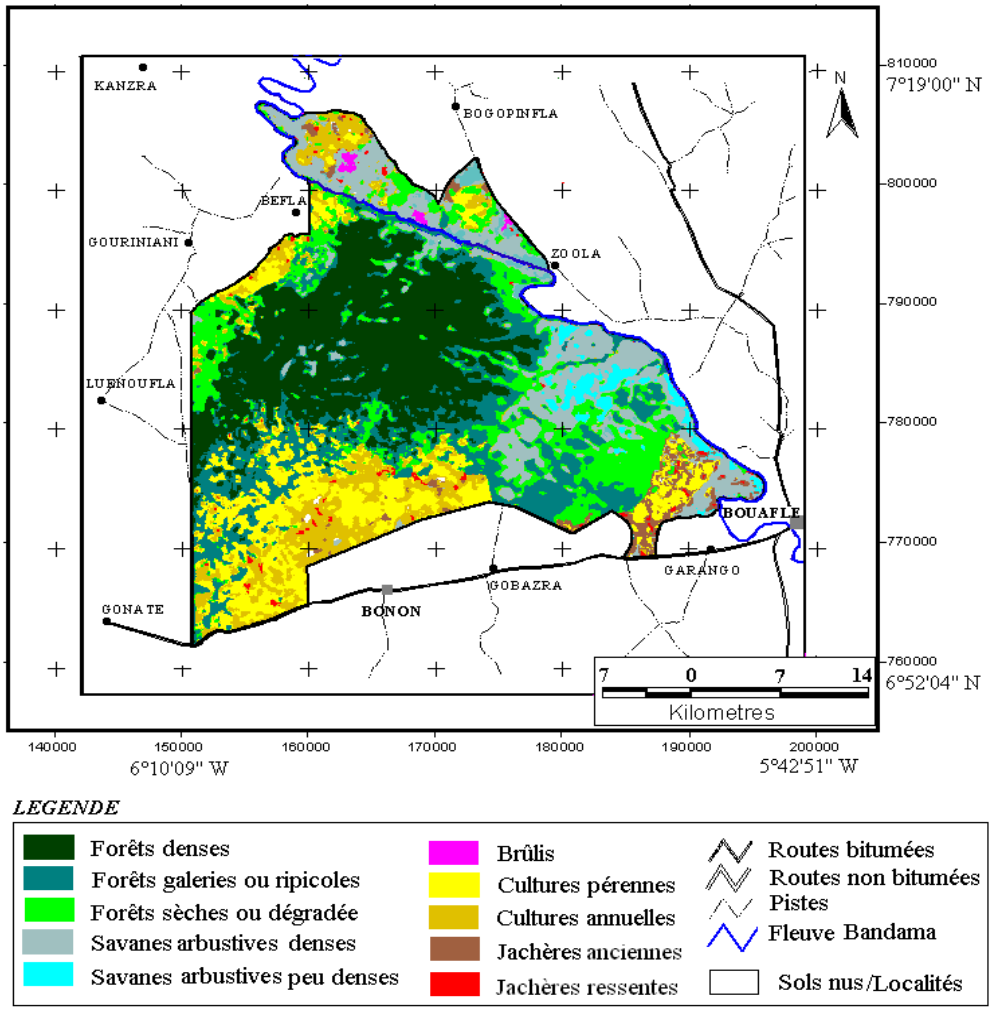


Figure 5. Carte d'occupation du sol du parc National de la Marahoué issue de la classification de l'image Landsat ETM+ de 2003

Tableau 8. Surfaces des différentes unités cartographiques du PNM en 2003

Types d'occupation du sol en 2003	Surfaces en ha	
Forêt dense semi décidue (1)	27186	59080
Galerie forestière (2)	13750	
Forêt dense sèche (3)	18145	
Savane arbustive dense (1)	10056	14578
Savane arbustive peu dense (2)	4109	
Brûlis	413	
Jachère ancienne (1)	4382	27090
Jachère récente (2)	2103	
Culture pérenne (1)	10807	
Culture annuelle (2)	9798	
Fleuve	177	252
Localité et sols nus	74	
Surface Totale en hectare	101000	

En 2003, les exploitations agricoles se sont généralisées à l'ensemble du Parc. La zone la plus dégradée, est la pointe Sud du Parc (Zone de Bonon), où les surfaces de forêts ont été remplacées par des plantations de cacao et de café. Le même constat est fait à la périphérie Sud-Est (Zone de Bouaflé-Garango), au Nord-Est (au-dessus du fleuve Bandama) et au Nord-Ouest (zone de Béfla). On note que les forêts denses semi-décidues (Sud-Ouest), sont préférentiellement celles qui sont défrichées pour la mise en place des cultures de cacao et café, comparativement aux forêts denses sèches au Nord-Ouest et au Sud-Est.

Ainsi, de 1986 à 2003, plus de 16378 hectares de forêts ont été dégradés pour la mise en place d'exploitations agricoles, soit un rythme de 963 ha/an. Cette déforestation est orientée de la périphérie vers le Centre du Parc, avec une domination de la direction sud-nord. Les forêts n'ayant pas subi d'attaques sont celles bordées par le fleuve Bandama, qui a constitué une frontière naturelle infranchissable. Quant bien même parcourues des feux saisonniers, les surfaces savanicoles n'ont pas subi de changements notables au niveau de leur surface.

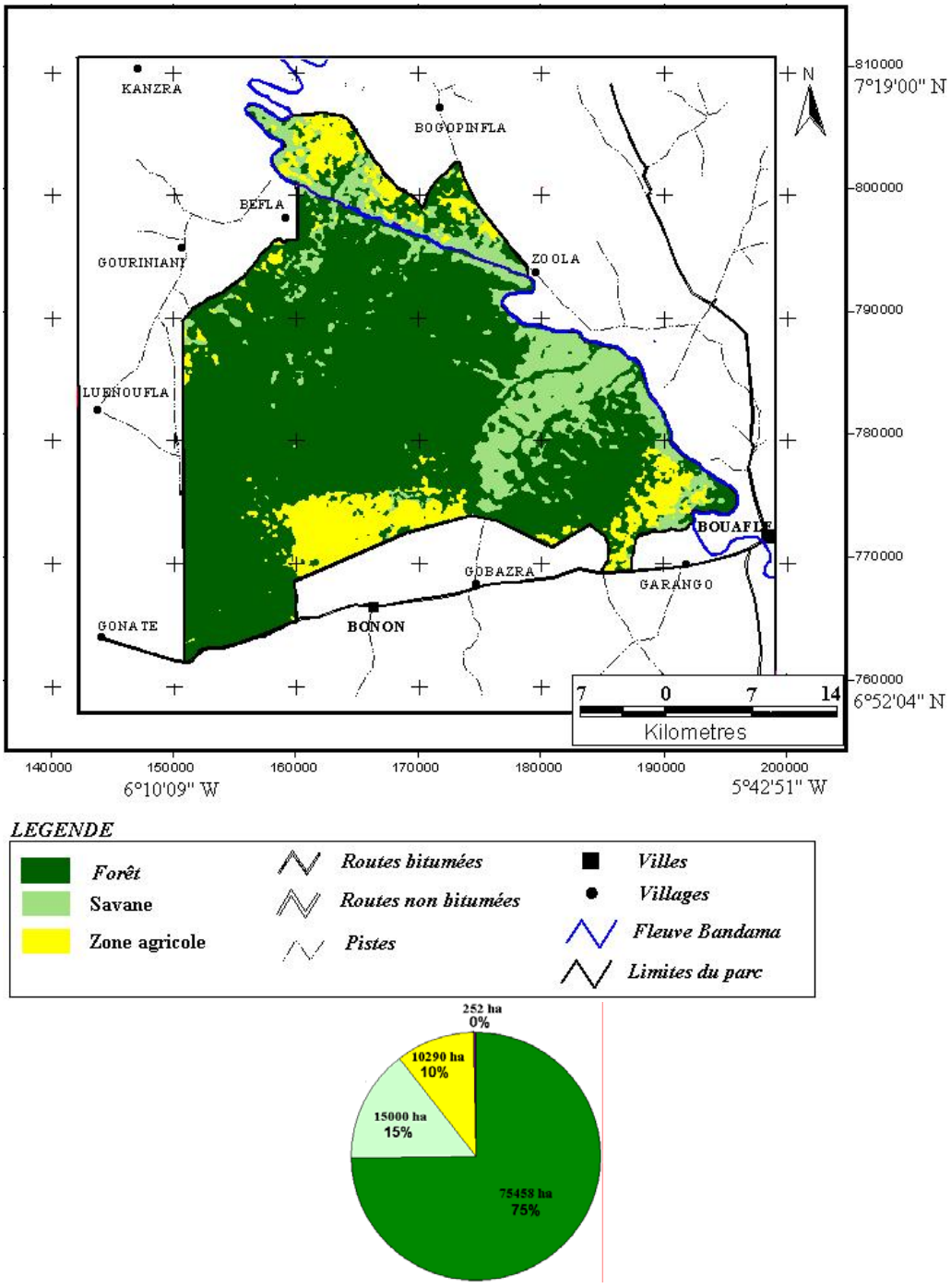


Figure 6. Carte de végétation après regroupement des classes de la classification de l'image Landsat TM de 1986

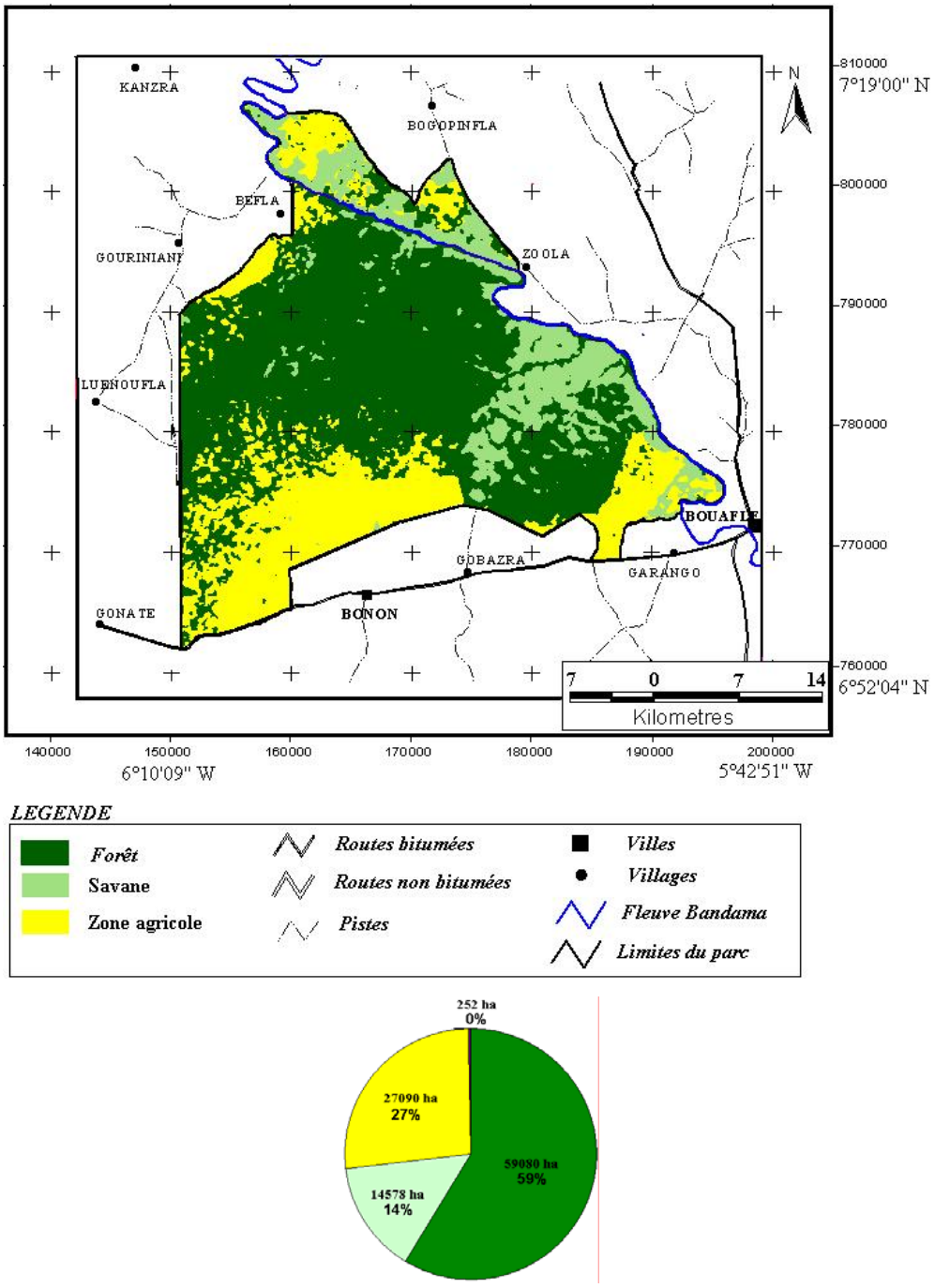


Figure 7. Carte de végétation après regroupement des classes de la classification de l'image Landsat ETM+ de 2003

3-1-3- Déforestation et pression anthropique

La figure 8 indique que les sous-préfectures qui ont les plus forts taux de croissances démographiques (1988-1998), sont celles qui enregistrent les plus importantes surfaces de déforestation. En effet, 65% des surfaces dégradées se situent dans la sous-préfecture de Bonon, qui a par ailleurs enregistré la plus forte croissance démographique (58%) entre 1988 et 1998. Les plus faibles taux de déforestation (22%) ont été enregistrés dans la sous préfecture de Bédiala qui a eu la plus faible croissance démographique entre 1988 et 1998. La corrélation calculée entre l'accroissement démographique (1988-1998) et la dégradation forestière (1986-2003) est de 98,36%.

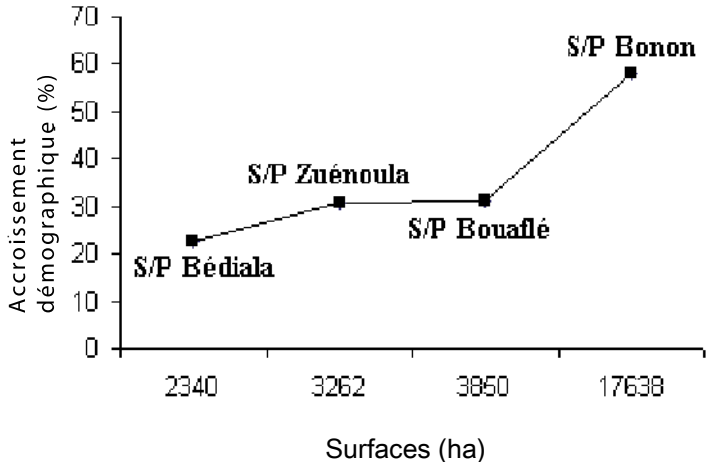


Figure 8. Croissance démographique et déforestation par sous-préfecture

3. 2. Discussion

Physionomie de la végétation du Parc de la Marahoué

Au niveau des formations forestières, la forte densité de ligneux des forêts denses semi-décidues (forêts 1), par rapport aux forêts denses sèches (forêts 3) aurait une origine climatique. En effet, les forêts 1 sont situées dans la moitié Sud et Sud-Ouest du PNM qui est plus humide (1200 à 1800 mm de pluies/an) que la zone Nord et Nord-Est (1100 à 1600 mm/an), qui abrite les forêts 3 (Eldin, 1971). Les feux saisonniers d'origine anthropique, qui ravagent les forêts 3, peuvent également être une cause à la faiblesse de densité de tiges.

Quant aux fortes densités de tiges enregistrées dans les forêts galeries ou ripicoles (forêts 2), elles seraient plutôt liées aux conditions édaphiques. En effet, les sols humides qui bordent les différents cours d'eaux, assurent une bonne nutrition hydrique à la végétation existante qui échappe ainsi aux dessèchements et aux pressions anthropiques (feux) pendant la saison sèche. Les forêts du PNM ont des densités de tiges (336-344 tiges/ha) plus faibles que leur homologue de la forêt classée du Haut Sassandra (385-503 tiges/ha) située à la même latitude. Toutefois, les aires basales des forêts du PNM (29,79-33,80m2/ha) restent supérieures à celles du Haut Sassandra (35,11-35,08 m2/ha) (Kouamé, 1998). Ce résultat confirme l'existence d'un nombre important d'arbres de grands diamètres dans le PNM grâce à l'interdiction de l'exploitation forestière. A l'opposé du Parc, l'exploitation forestière pratiquée dans la forêt classée du Haut Sassandra a contribué à réduire le nombre des arbres de grands diamètres.

Au niveau des formations savanicoles, la faiblesse des densités de ligneux dans les savanes arbustives 2 par rapport aux savanes 1 pourrait avoir une origine édaphique ou anthropique. En effet, les savanes à strate arbustive peu dense (savane 2) se localisent généralement sur des sols ferralitiques remaniés moyennement desaturés appauvris sur granites ou des sols peu évolués d'apport alluvial autour du fleuve Bandama. Ces sols sont caractérisés par des propriétés physiques et une fertilité mauvaises, d'où la faiblesse des ligneux qui y poussent (MINEFOR et UNESCO, 1988). Le facteur anthropique peut aussi être évoqué. Chaque année, les savanes sont parcourues par des feux qui ont un caractère plus ou moins dommageable sur ces dernières, en fonction de la période. Si les feux précoces sont peu dommageables pour la strate ligneuse, ce n'est pas le cas des feux tardifs. En effet, ces derniers sont pratiqués par les chasseurs ou les paysans à une période ou la végétation a complètement desséché (janvier-février). A l'opposé de la strate herbacée qui se renouvelle dès les premières pluies, une partie de la strate arbustive peut disparaître, contribuant ainsi à réduire la densité de ligneux.

Traitement numérique

La discrimination spectrale des types d'occupation du sol, a fait suite à 4 missions de terrain réparties sur trois (3) ans. Ces missions, effectuées autant en saison des pluies qu'en saison sèche ont permis la collecte de données au niveau des individus (espèces végétales) et des communautés (type de végétation). Les traitements numériques ont donc été validés par l'analyse statistique des résultats (matrices de confusions), mais également par la confrontation des données spectrales fournies par les images et les données structurales de végétation sur le terrain. La visite post classification a finalisé la validation des résultats. Au regard de ce qui précède, nous pouvons dire que nos résultats sont fiables. Ainsi, même si elle ne donne pas accès aux informations à l'échelle des individus (identification de l'espèce), l'imagerie satellitaire Landsat a permis d'avoir une vision synoptique des différents milieux écologiques. On note que la sélection des sites à échantillonner dans les différents milieux écologiques et leur repérage dans PNM couvrant une surface de 101000 ha, a été rendue possible par les images Landsat ETM+ (Achard *et al., 2000*).

Les précisions globales des traitements estimées à 82,60% et 82,66%, respectivement pour les années 2003 et 1986, restent très proches des valeurs obtenues par d'autres auteurs ayant travaillé dans la même zone. En effet, Achard et Blasco (1990) et Chevalier (1998) ont respectivement obtenu des précisions globales de classifications de 81,50% et 82% en traitant des images Landsat et Spot XS couvrant cette même aire protégée. N'guessan et N'da (2005), ont quant à eux obtenu une précision globale de 87% en classifiant une image Landsat couvrant la forêt classée de Bouaflé située dans la même zone d'étude que le Parc de la Marahoué.

Dans les formations forestières, la forte corrélation entre la structure des ligneux et la confusion spectrale, peut s'expliquer par le fait que les forêts sont des formations fermées où les ligneux sont prédominants (forte densité, importante aire basale et recouvrement de 80 à 100%). Ainsi, l'essentiel du signal perçu au capteur provient de la strate ligneuse. Dans les formations savanicoles et la jachère, la strate ligneuse est irrégulière et occupe généralement un espace moins important que la strate herbacée, qui y est très développée. D'où la faible corrélation entre confusion spectrale et aires basales. Dans ces formations, c'est un signal mixte issu de quelques ligneux et de vastes étendues d'herbacées, mais également des plages de sols dénudées par la sècheresse ou les feux qui est perçu par le capteur (Girard et Girard, 1999; Masahiro *et al*., 2001; Defourny, 1990). Cette physionomie de la végétation est en partie due aux dates des images qui coïncident avec la saison sèche (janvier et février) où une bonne partie des savanes a séché.

Dynamique forestière dans le Parc National de la Marahoué

Cette étude a montré que l'agriculture est la principale cause de la déforestation dans le Parc National de la Marahoué, conformément aux travaux de Chevalier (1998) et CI et MINEFOR (2001). En réalité, la déforestation dans le Parc de la Marahoué n'est que la résultante de la combinaison de divers facteurs socioéconomiques, politiques et culturels défavorables à la conservation de la nature. La croissance démographique à la périphérie du Parc, corrélée à 98,36% à la déforestation, s'est révélée être un critère judicieux pour la quantification des pressions anthropiques responsables de la déforestation. Le taux d'occupation agricole du PNM était estimé à 13,61% (13746 ha) en 1999 (CI et MINEFOR, 2001). Or nos travaux ont montré un taux d'occupation agricole de 26,82% (27090 ha) en 2003. Ainsi, en espace de cinq (5) ans, les surfaces exploitées pour l'agriculture ont doublé. Il ressort de cette analyse que, le taux moyen de déforestation annuel de 963 ha/an calculé entre 1986 et 2003, cache une réalité beaucoup plus grave. En effet, en tenant compte des estimations de 1999-2003, le taux annuel actuel de déforestation serait de plus de 3000 ha. A ce rythme, les forêts du Parc auront totalement disparu dans moins de 20 ans. Ce délai peut même être plus court, si l'on considère les déplacements massifs de populations dans cette zone en 2002, au début du conflit armé en Côte d'Ivoire.

CONCLUSION

L'approche méthodologique adoptée au cours de cette étude, a permis de monter que les traitements numériques d'images Landsat ETM+ et TM associés aux observations et mesures de terrain constituent un moyen efficace pour discriminer les différents types de végétation du Parc. Ainsi, ont été identifiées : les forêts denses semi-décidues, les forêts galeries ou ripicoles, les forêts denses sèches, les savanes arbustives denses, les savanes arbustives peu denses, les jachères anciennes et récentes, les cultures pérennes et annuelles.

Dans les formations forestières, la capacité de discrimination des différents peuplements par l'image satellitaire Landsat ETM+, est corrélée à la structure de la strate ligneuse (aires basales). Au niveau des formations savanicoles, la structure de la strate ligneuse seule ne permet pas une caractérisation spectrale de la végétation.

Entre 1986 et 2003, 963 ha forêts/an ont été dégradés pour la mise en place d'exploitations agricoles. Ainsi, 16378 ha d'exploitations agricoles ont été installés dans cette période. Au total, le Parc est aujourd'hui (2003) occupé par 28063 ha de surfaces agricoles implantées au détriment des forêts.

Cette déforestation est fortement corrélée à la croissance démographique à la périphérie du Parc. En effet, 65% des exploitations agricoles se situent dans la sous-préfecture de Bonon, qui a enregistré le plus fort taux de croissance démographique (58%) entre 1988 et 1998. Seulement 8% des surfaces dégradées ont été enregistrées dans la sous-préfecture de Bediala qui a le plus bas taux de croissance démographique.

Cette étude ouvre les perspectives suivantes :

- l'élaboration de carte de vulnérabilité forestière aux défrichements agricoles dans le Parc à l'aide du Système d'Informations Géographiques (SIG). En effet, quant bien même importante, la pression anthropique ne peut être le seul critère déterminant dans le processus de la déforestation.

- l'estimation de la quantité de carbone stockée dans la biomasse ligneuse du Parc, compte tenu des surfaces des formations forestières déterminées par télédétection et des paramètres structuraux sur la strate ligneuse.

Remerciements

Les auteurs remercient le projet intersectoriel de l'UNESCO et le Ministère de la Recherche Scientifique de Côte d'Ivoire pour le financement qu'ils ont octroyé pour la réalisation de ce programme de recherche.

Bibliographie

Achard, F. et Blasco, F. (1990) Rythmes saisonniers de la végétation en Afrique de l'ouest par télédétection spatiale. In P. Lafrance et J. M. Dubois. Apports de la télédétection à la lutte contre la sécheresse. Collection Universités francophones Editions AUPELF- UREF et John Libbey Eurotext, Paris, p. 1-15.

Achard, F., Eva, H. D., Stibig, H. J., Mayaux, P., Gallego, J., Richard, T. et Manlingreau, J. P. (2002) Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forest. Science 297 (5583), p. 999-1002.

Adjanohoun, E. et Guillaumet, J. L. (1971) La végétation de la Côte d'Ivoire. *In* Avenard, J.M. et al. Le milieu naturel de Côte d'Ivoire, Mémoire ORSTOM N°50.

Adou, Y. C., Denguéadhé, S., Blom, E., N'guessan, K. E. et Rompaey, R. S. A. (2001) Etude de la diversité floristique dans le sud du Parc National de Taï. In BIOTERRE, Rev. Inter. Sci. de la Vie et de la terre, N° spécial, 2002. Actes du colloque international, Centre Suisse du 27-29 Août 2001, p 49-58.

Adou, Y. C., Blom, E. C., Dengueadhe, K. T. S., Van Rompaey, R. S. A., N'guessan, K. E., Wittebolle, G. et Bongers, F. (2005) Diversité floristique et végétation dans le Parc National de Taï, Côte d'Ivoire. Tropenbos-Côte d'Ivoire, Série 5, 57p.

Aké Assi, L. et Dian, B. (1990) Développement agricole et protection de la forêt : quel avenir pour la forêt ivoirienne ? Mitt. Inst. All. Bot. Hamburg. Band 23a, p. 169-176.

Aké Assi, L. (1984) Flore de la Côte-d'Ivoire : Etude descriptive et biogéographique avec quelques notes ethnobotaniques. Tome I. II. III. Thèse Doct. Ès-Sc. Nat., F.A.S.T. Univ. Abidjan. 1205p.

Aké Assi, L. (1988) Espèces rares et en voie d'extinction de la flore de la Côte d'Ivoire. Monogr. Syst. Bot. Missouri Bot. Gard. 25, p. 461-463.

Aké Assi, L. (1998) Impact de l'exploitation forestière et du développement agricole sur la conservation de la diversité biologique en Côte d'Ivoire. Le flamboyant N° 48 Déc., p. 20-21.

Caloz, R., Blaser, T. J. et Willemin, G. (1993) Création d'une ortho-image à l'aide d'un modèle numérique d'altitude : influence des modes de rééchantillonnage radiométrique. In télédétection et cartographie. Ed. aupelf-uref. Les Presses de l'université du Québec. p. 17-30.

Chatelain, C. (1996) Possibilités d'application de l'imagerie à haute résolution pour l'étude de la transformation de la végétation en Côte d'Ivoire. Thèse Doc.ès-Sc., Univ. Genève, 206p.

Chevalier, J. F. (1998) Évaluation de l'imagerie spatiale haute résolution pour la cartographie et le suivi du couvert végétal des aires protégées et leur zone périphérique: cas du Parc National de la Marahoué (Côte d'Ivoire), *Mémoire de DEA Université de Cocody,*. 63p.

(CI) (Conservation Internationale) et MINEFOR (Ministère des Eaux et Forêts) (2001) Ligne Directrices pour le Parc National de la Marahoué, République de Côte d'Ivoire, 91p.

Defourny, P. (1990) Méthode d'évaluation quantitative de la végétation ligneuse en région soudano-sahélienne à partir de données Landsat TM (Burkina Faso). In Télédétection et sècheresse. Ed. AUPELF-UREF, p. 63-74

Eldin, M. (1971) Le climat. In Avenard J. M. "Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire." Mémoire ORSTOM, n° 50. Paris. P. 73-108.

FAO, 2007. Situation des forêts en 2007, Rome, 143p. http://www.fao.org/docrep/009/a0773f/a0773f00.htm

Foody, G. M., Palubinska, G., Lucas, R. M., Curran, P. J. and Honzak, M. (1996) Identifying terrestrial carbon sinks : classification of stages in regenerating forest from Landsat TM data. Remote Sens. Environ. 55, p. 205-216.

Girard, M.-Claude et Girard, M.-Colette (1999) Traitement des données de télédétection, Interprétation physique des données, les comportements spectraux. 529 p.

Hawthorne, W. D. et Abu-Juam, M. (1995) Forest protection In Ghana IUCN. Conservation Programme, 202p.

Hawthorne, W. D. (1996) Holes and sums of parts in Ghanian forest : regeneration scale and sustamable use. Proc. Of the Royal Society of Edinburg, 104B, p. 75-176.

Kouamé, N. F. (1998) Influence de l'exploitation forestière sur la végétation et la flore de la forêt classée du Haut Sassandra (Centre Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse Doct. 3ième cycle, UFR Biosc., *Université Cocody Abidjan*. 203p.

Lanly, J. P. (1982) Les ressources forestières tropicales. FAO, Rome, 113p.

Masahiro, H., Naoki, K., Hitoshi, S., Haruhiro, F., Gustave, G. and Akira, M. (2001) Vegetation classification by satellite image processing in a dry area of north-eastern Syria. International Journal of Remote Sensing, vol. 22, N° 4, p. 507-516.

MINEFOR et UNESCO (1988) Parc National de la Marahoué. Etude préalable à un aménagement du Parc et de la zone périphérique, 124p.

N'guessan, K. E. et N'da, D. H., Bellan, M. F., Blasco, F. (2006) Pression anthropique sur une réserve forestière en Côte d'Ivoire : Apport de la télédétection. Télédétection, 2006, Vol. 5, n° 4, pp. 307-323.

N'guessan, K. E. et N'da, D. H. (2005) Caractérisation et cartographie par télédétection satellitaire de la végétation de la forêt classée de Bouaflé (Côte d'Ivoire). Rev Ivoir. Sci. Technol., 06, p. 161-172.

N'guessan, K. E. (2004) Utilisation des données satellitaires à haute résolution pour l'étude des ressources végétales en Côte d'Ivoire : Cas des forêts classées de Badenou et du Haut Sassandra. Thèse de Doctorat. Université Paul Sabatier, Toulouse France. 219p.

Païvinen, R., Pitkänen, J. and Witt, R. (1992) Mapping closed tropical forest cover in West Africa using NOOA AVHRR-LAC data. Silva Carelica. 21, p. 27-51.

SODEFOR (1989) Parc National de la Marahoué : Apurement de la situation foncière. Rapport de SODEFOR, Ministère des Eaux et Forêts Abidjan., Côte d'Ivoire. 30p.

SODEFOR (1996) Plan d'aménagement de la forêt classée de Bouaflé. Ministère de l'agriculture et des ressources animales. P. 3-61.

Song, C., Curtis, E. Woodcock, Karen C. Seto, Mary P. Lenney, and Scott, A. Macomber (2001) Classification and change detection using Landsat TM data : When and how to correct atmospheric effects ?. Remote Sens. Environ. 75, p. 230-244.

Tanré, D. (1986) Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum. User's guide, L. O. A. Lille, 264p.