

Approche méthodologique de traitement des images Landsat7 ETM+ pour la cartographie de l'occupation du sol de la région de la Marahoué, zone forestière du sud-centre de la Côte d'Ivoire

Emile Assiè ASSEMIAN^{1*}, Damien Adonis KOUAMÉ², Paul Eric Dhede KOUAMÉ¹, Arsène DJAKO¹ et Emile Brou KOFFI¹

¹ Université Alassane Ouattara, UFR Communication, Milieu et Société (CMS), Département de Géographie, Laboratoire de géographie, O1 BP V 18 Bouaké O1, Côte d'Ivoire ² Université Félix Houphouet Boigny, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STRM), Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (CURAT), 22 BP 582, Abidjan 22, Côte d'Ivoire

* Correspondance, courriel : *assmilea1@yahoo.fr*

Résumé

L'objectif de ce travail est d'établir une carte de l'occupation du sol de la région de la Marahoué, située en zone forestière du sud-centre de la Côte d'Ivoire. Les traitements d'images Landsat7 ETM+ du 5/ 05/ 2015, par les calculs de l'indice de végétation normalisé (NDVI), de l'indice de végétation ajusté au sol (SAVI), de l'indice de brillance des sols (IB), de l'indice de rougeur (IR), de l'analyse en composante principale (ACP) et des compositions colorées des bandes obtenues, ont permis de rehausser les variabilités de la couverture végétale actuelle de la région de la Marahoué. La classification supervisée réalisée sur la composition colorée de la bande brute1, du NDVI et de l'indice de brillance des sols, validée par les travaux de terrains, montre que la forêt dense primitive est quasi-inexistence. Il ne reste que 7,80 % pour cette superficie totale estimée à 8931 km². Cette région a donc subi une forte pression anthropique. La mosaïque de jachère et de plantations occupe une proportion de 58,80 %. Les forêts très dégradées, semblables à une savane herbeuse, arbustive et marécageuse (savanicole), s'étendent sur une proportion de 24,6 %. Enfin, les eaux de surface et les sols nus ou les habitations occupent respectivement les proportions de 5,32 % et de 3,39 %. Vu l'état actuel de la variabilité des formations végétales, il faut absolument reboiser et laisser une grande partie des jachères sans exploitation, pour ne pas transformer cette région forestière en zone de savane herbeuse.

Mots-clés : occupation du sol, Landsat 7 ETM+, région de la Marahoué, Côte d'Ivoire.

Abstract

Methodology approach of the treatments of Landsat 7 ETM+ images for to cartography the land cover of Marahoué region, situated in forest zone of south-center of Côte d'Ivoire

The objective of this work is to establish a land cover map of Marahoué region, situated in forest zone of south-center of Côte d'ivoire. The treatment of Landsat 7 ETM+ images of 05/05/2015, by the calculation of normalized vegetation index (NDVI), soil adjusted vegetation index (SAVI), brightness index (IB), redness index (IR), the principal component analysis (ACP) and the colored compositions of those obtained images, have

allowed to make higher present variability vegetation blanket of Marahoué region. The supervised classification realized on the colored composition of the crude image 1, the NDVI and brightness index, validated by the land works, show that, the primitive forest is almost non-existent. It remain 7,80 % for this total area estimed to 8931 km². This region has undergone a strong anthropogenic pressure. The mosaic fallow and plantations takes up 58,80 % proportion. The very defaced forest, similar from a grassy, shrub and marshy savanna, occupy a proportion to 24,6 %. The draught and stagnant water takes up 5,32 % proportion. At last, the naked grounds and dwelling (town and village) are on 3,39 % proportion. Sight the present state of the variability of vegetable formation. We must absolutely reforest and leave a big part of fallow without farming for not transform this region forest in savanna zone.

Keywords : Land cover, Landsat 7 ETM+, Marahoué region, Côte d'Ivoire.

1. Introduction

Depuis plusieurs années, les scientifiques ont utilisés la télédétection pour améliorer leur connaissance sur l'occupation du sol dans une région [1]. Dans le contexte de la présente étude, l'occupation du sol est définie comme une description du couvert biophysique, par exemple : les types de formation végétation (forêt, savane et plantations), l'eau de surface et les sols nus. En Côte d'Ivoire, les forêts denses primitives ont subi de fortes dégradations, depuis la colonisation pour les cultures du café, du cacao, de l'hévéa et du palmier à huile. Cette forte déforestation a permis à la Côte d'Ivoire d'occuper le rang de premier producteur mondial du cacao depuis 1980 jusqu'à nos jours [2]. Ainsi, de 15 millions d'hectares au début du siècle dernier, on est passé à environ 2,5 millions d'hectares de forêt en 1996 [3-5]. La région de la Marahoué n'est pas en marge de cette forte pression anthropique, d'où la nécessité de réaliser une étude de l'état actuel des formations végétales par télédétection. Parmi tous les indices de végétation proposés pour l'étude de l'occupation du sol, depuis les origines de la télédétection, l'indice de végétation normalisé est devenu le traitement performant de description du comportement spectral de la couverture végétale [6]. Cet indice, le plus souvent appelé NDVI, selon son abréviation anglaise, est calculé à partir de deux bandes spectrales : le rouge (R) et le proche infrarouge (PIR).

Son utilité pour décrire les variabilités du couvert végétal se base sur le fait que d'une part, ce dernier absorbe préférentiellement (mais pas uniquement) l'énergie lumineuse dans les longueurs d'onde du rouge pour la photosynthèse, et réfléchit par contre fortement cette énergie dans le proche infrarouge, en fonction de la structure inter-cellulaire du matériel végétal photosynthétisant [7 - 15]. Au niveau des sols nus, il existe des indices et des rapports de bandes susceptibles de rehausser ces zones. En effet, les sols nus sont le résultat de l'extension urbaine et les zones à absence de couverture végétale, où la roche et le sol sont presque visibles. Ils sont donc plus facilement détectés par les capteurs des satellites [9]. Les sols sont constitués de minéraux argileux, de quartz, d'hydroxyde de fer, d'alumine et de matières organiques. Quand ces particules minérales sont assemblées en agrégats de taille très variable, leurs réflectances sont détectables par les satellites. Quelques indices qui peuvent nous permettre de mettre en évidence les sols nus sont : l'indice de brillance des sols, indice de cuirassement et indice de rougeur [10]. L'objectif de cette étude est de cartographier les types de formations végétales actuelles de la région de la Marahoué par télédétection. Ainsi, on aura une vue d'ensemble de l'ampleur de la dégradation de la forêt primitive de cette région. Il est donc spécifiquement question de développer une méthodologie de traitement d'image Landsat7 ETM+ pour rehausser les unités d'occupation du sol, en vue de déterminer leurs superficies.

2. Méthodologie

2-1. Présentation de la zone d'étude

La région de la Marahoué est située au sud-centre de la Côte d'Ivoire, précisément en zone forestière, entre les longitudes 5°22'14" et 6°26'47" ouest et les latitudes 6°22'36" et 7°46'31" nord *(Figure 1)*. Sa superficie est environ 8931 km². Le milieu géologique est une formation paléoprotérozoïque, composée de granitoïdes et de schistes de l'éburnéen. La géomorphologie du paysage est un plateau d'altitude moyenne 340 m. La région de la Marahoué est essentiellement recouverte de sols ferralitiques remaniés et moyennement désaturés. Ces sols se subdivisent en plusieurs groupes en fonction de la roche mère (schiste ou granite), du degré de désaturation, de l'existence d'un horizon à éléments grossiers, d'éventuel rajeunissement et d'induration ou tendance à hydromorphie. Selon les statistiques de l'institut national des statistiques (INS) de la Côte d'Ivoire, la population de la région de la Marahoué est estimée à environ 862.344 habitants en 2014.



Figure 1 : Situation géographique de la région de la Marahoué

Emile Assiè ASSEMIAN et al.

Les travaux de terrain dans cette région montrent un état de surface essentiellement composé de forêt dense primitive, de forêt dégradée devenue une mosaïque de jachère et de plantations (cultures pérennes et annuelles), de forêt très dégradée semblable à une savane herbeuse, arbustive et marécageuse (savanicole), des sols presque nus et des habitats (villes et villages), et des eaux de surface. La forêt dense est en grande partie retranchée dans le parc national de la Marahoué, située à l'extrême ouest, formée de strates ligneuses pouvant dépasser 20 m de hauteur (*Figure 2*). L'examen de la flore nous montre des essences comme *Teclea verdoorniana, Mansonia altissima, Nesogordonia papavererifera, Phoenix reclinata, Cynometra megalophylla, Bombax buonopozense, Ceiba pentandra, Triplochiton scleroxylon, Cissus producta, Pleiocarpa mutica, Whitfieldia colorata, Cercestis afzelii, etc.*



Photos : Assemian, 2018 Figure 2 : Forêts denses semi-décidues et sèches, avec ces essences

Au niveau des forets dégradées, nous avons des mosaïques de jachère et des plantations, avec des cultures pérennes et des cultures annuelles. Pour les jachères, il s'agit des veilles et des récentes, présentant une strate ligneuse (arbres et arbustes) relativement dense *(Figure 3 a)*. Les ligneuses les plus fréquents dans les jachères anciennes sont : *Holarrhena floribunda, Griffonia simplicifolia, Alchornea cordifolia, Antiaris toxicaria var africana, ficus exasperata et Cola lateritia*. Le tapis herbacé est généralement envahi *par Chromolaena odorata*. On note également la présence de : *Securinega virosa, Sida acuta, Centrosema pubescens, Imperata cylindrica, Pennisetum purpureum, Rotthboelia cochinchinensis, Chassalia kolly et Paullinia prinnata*. Les jachères jeunes présentent une strate ligneuse très rare et une strate herbacée comportant *Chromolaena adorata* comme la précédente. Deux types de cultures ont été discriminés sur le caractère arbustif ou herbacé des parcelles de plantation. Les cultures pérennes sont représentées par des strates ligneuses des hauteurs comprises entre 2 m à 15 m. Il s'agit des cacaoyers, des caféiers, des hévéas, des palmiers à huile et des thèques *(Figure 3b)*. Les cultures herbacées et annuelles sont représentées par les plantes vivrières comme les champs de banane, d'igname, de riz, de maïs et des légumes. La densité de couverture végétale des cultures pérennes est semblable à celle des jachères.



Photos Assemian, 2018 Figure 3 : Forêt dégradée présentant un aspect de mosaïque de jachère et de culture pérenne

Dans la forêt très dégradée, transformée en formations savanicoles (herbeuse et arbustive), avec des marécages par endroit, on rencontre rarement les strates ligneuses arborées. Le milieu est très ouvert et constitué de formation végétale à strate herbacée. Les quelques arbres existant sont tortueux, rabougris et portant les marques de passage régulier des feux de brousse. Cette strate herbacée est dominée par *Impperata cylindrica, Loudetia phragmitoides, Chromolaena odorata et Cissus producta.* Le passage régulier des feux et la pratique des cultures répétitives des vivriers dans cette zone, ne permet pas à la végétation de se transformer en jachère (*Figure 4*).



Photo Assemian, 2018 Figure 4 : Forêt très dégradée transformée en formation savanicole herbeuse et arbustive

L'état de surface de la région de la Marahoué est aussi caractérisé par la présence importante des cours d'eau et des eaux stagnantes *(Figure 5)*. Ces eaux de surface servent aux cultures irriguées, à la consommation pour la population de la ville de Bouaflé et à la construction du barrage hydroélectrique (sur le fleuve Bandama). Enfin, on a les sols nus et les habitations (villes et villages). Les sols nus se caractérisent par une absence presque totale de la végétation, dus à l'activité humaine intense et répétitive *(Figure 6)*. Toutes ces classes de formation végétale seront discriminées par traitement d'image Landsat 7 ETM+ et cartographiées, en vue de mettre en évidence, l'ampleur de la dégradation de la forêt dense primitive dans cette région.



Photo Assemian, 2018 Figure 5 : Etendue d'eau stagnante et courante



Photo Assemian, 2018 Figure 6 : Sols presque nus et habitats de la région de la Marahoué

2-2. Données utilisées

Les données sont constituées de cartes topographiques (échelle : 1/50.000), des données de terrain (photos des types de formation végétale prises dans les différentes localités, et l'identification des espèces végétales), et les images optiques de type Landsat 7 ETM+ (Enhanced Thematic Mapper) : scène Path/Row : 196/55 du 5

2015, la mai couvrant zone d'étude, obtenue gratuitement sur le site: http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp. II s'agit spécifiquement des images brutes extraites des canaux du visible (ETM+1, ETM+2, ETM+3), du proche infrarouge (ETM+4) et du moyen infrarouge (ETM+5). Ce choix est guidé par la résolution spatiale (30 m. x 30 m.) qui permet de discriminer les surfaces végétalisées, les sols nus, les routes et les cours d'eau. Les résolutions spectrales et spatiales des cinq bandes considérées pour cette étude sont présentées au *Tableau 1*. Pour le traitement de ces images, nous avons utilisé le logiciel ENVI 4.7 et MapInfoll pour la cartographie.

Landsat 7(ETM+)						
Fauché : 185 km						
Bande spectrale	Résolution spectrale (µm)	Résolution spatiale (m)				
Bande 1 (Bleu : B) : ETM+1	0,45 - 0,52	30				
Bande 2 (Vert : V) : ETM+2	0,52 - 0,60	30				
Bande 3 (Rouge : R): ETM+3	0,63 - 0,69	30				
Bande 4 (Proche Infrarouge : PIR) : ETM+4	0,70 - 0,76	30				
Bande 5 (Infrarouge moyen) : ETM+5	1,55 - 1,75	30				
Bande 6,1 (Infrarouge thermique)	10,7 - 12,5	57				

 Tableau 1 : Caractéristique des capteurs Landsat 7 ETM+

2-3. Méthodes

Les prétraitements ont commencé d'abords par l'extraction de la zone d'étude, puis la correction radiométrique. Les bandes étant déjà géo référencées (correction géométrique), nous avons d'abord procédé à une correction radiométrique pour éliminer quelques petits bruits nuageux presque inexistants. Les bandes ont donc été soumises à un filtre passe-bas. Le filtre a pour but d'homogénéiser l'image et de supprimer les bruits nuageux. Il se présente généralement comme une « fenêtre » mobile plus ou moins de grande dimension ($3_x 3$ pixels jusqu'à $7_x 7$ pixels), contenant des chiffres dont la valeur varie en fonction du type de filtre. La fenêtre coulissante (le filtre) balaye l'image et calcule la valeur du pixel central en fonction de la moyenne, de la médiane ou du mode. Un filtre de matrice ($3_x 3$) a été choisi, car l'image ne possédait pas assez de bruit nuageux. Outres les six canaux bruts de Landsat7 ETM+, les techniques de télédétection proposent un grand nombre d'indices particulièrement adaptés à l'étude de la variabilité de la végétation et la mise en évidence des sols nus [16 - 18]. Parmi les indices de végétation, l'indice de végétation normalisée (NDVI) est le plus populaire [19]. Le NDVI est le plus utilisé en télédétection pour caractériser les variabilités des densités de la végétation dans une localité. Développé par [6], le NDVI calcule la différence normalisée entre les valeurs numériques des bandes du rouge (R : bande ETM+ 3) et du proche infrarouge (PIR : bande ETM+4). Il est estimé selon *l'Équation 1* suivante :

$$NDVI = \frac{PIR - R}{PIR + R}$$
(1)

avec, PIR : bande brute du proche infrarouge ; R : bande brute du rouge.

Les valeurs des pixels du NDVI se situent alors sur une échelle de -1 à 1 où elles augmentent, avec la présence de végétation. Son utilité pour décrire le couvert végétal se base sur le fait que d'une part ce dernier absorbe préférentiellement (mais pas uniquement) l'énergie lumineuse dans les longueurs d'onde du rouge pour la photosynthèse, et réfléchit par contre fortement cette énergie dans le proche infrarouge, en fonction de la structure inter-cellulaire du matériel végétal photosynthétisant [7]. Un autre indice d'identification de la variabilité du couvert végétal est l'indice de végétation ajusté au sol SAVI [7, 18] (SAVI : Sol Adjusted Vegetation Index), dont sa *Formule 2* est :

$$SAVI = \frac{PIR-R}{PIR+R+L}.(L+1) \text{ ou} (L=0,5)$$
 (2)

avec, PIR : bande du proche infrarouge ; R : bande du rouge.

Comme pour la végétation, il existe aussi des indices spécifiques pour le rehaussement des sols nus, comme l'indice de brillance des sols (IB : Brightness Index) [19]. Celui-ci est construit à partir de la bande rouge et du proche infrarouge selon *l'Équation 3* suivante :

$$IB = \sqrt{PIR^2 + R^2} \tag{3}$$

avec, PIR : bande du proche infrarouge ; R : bande du rouge.

Il permet de faire clairement la distinction entre les surfaces végétalisées et les sols nus. En plus, il y a aussi l'indice de rougeur (IR : Redness Index) qui a été utilisé en raison de sa capacité à mettre en évidence, les caractéristiques du sol en évitant les influences de la couverture végétale [19]. Dans les zones à faible couverture végétale, cet indice traduit la présence de matériaux de couleur rouge dans les sols, comme par exemple les oxy-hydroxydes de fer qui recouvrent souvent les grains de sable. Sa *Formule* est représentée par *l'Équation 4* suivante :

$$IR = \frac{R - V}{R + V}$$
(4)

avec, R : bande du rouge ; V : bande verte.

L'analyse en composante principale (ACP) est une méthode statistique multivariée, qui consiste à transformer des variables liées entre elles (correlés) en nouvelles variables décorréllées les unes des autres. Concrètement en traitement d'images, cela revient à chercher dans l'espace radiométrique des images, les axes orthogonaux de plus grande variance et porteurs d'informations décorrélées [20, 21]. L'ACP permet de comprimer toutes les informations contenues dans les images originales (brutes) dans un nombre réduit de canaux. Les composantes principales ainsi obtenues ont l'avantage d'être décorrélés, c'est-à-dire indépendantes et orthogonales, contrairement aux données brutes. Dans le cadre de cette étude, nous avons réalisé l'ACP des bandes ETM+1, ETM+2, ETM+3 et ETM+4 parce qu'elle nous a permis d'obtenir des néocanaux CP qui rehaussent d'avantage l'état de surface de la zone d'étude. La technique de la composition colorée a été utilisée pour obtenir la meilleure visualisation des unités d'occupation du sol (classes) sur l'image. Les capteurs ETM+ disposent sept bandes spectrales, allant du visible à l'infrarouge thermique. Ce nombre important de canaux permet d'essayer de multiples combinaisons de trois canaux pour obtenir des synthèses en couleurs additives mettant en évidence les différentes classes. Dans le cadre de notre travail dont la problématique est de discriminer les types de formation végétale, nous avons utilisé plusieurs combinaisons avec la bande brute 1(bleu), des indices de véaétation, l'indice de brillance des sols, l'indice de rougeur et les composantes principales. Ainsi, ces compositions colorées ont consisté à afficher simultanément à l'écran, trois bandes dans les canaux de base (Bleu/ Vert/Rouge), afin de rehausser toutes les classes de l'état de surface de la région d'étude. Ces opérations permettent d'avoir les couleurs (comportements spectraux) des différents types d'occupation du sol [22]. Cependant, quelques difficultés apparaissent pour la délimitation précise de toutes les classes [18]. Ainsi, les techniques de classification dirigée (maximum de vraisemblance) ont été utilisées dans le but d'avoir une vue d'ensemble sur la répartition spéciale des unités d'occupation du sol et de déterminer leurs surfaces. L'appréciation de la qualité de cette classification est validée par la matrice de confusion, la précision globale et le coefficient Kappa [22]. Aucune classification n'a de signification, si elle n'est pas accompagnée d'une estimation numérique de sa qualité. Cette estimation passe par la construction de la matrice de confusion. Le principe est simple : on compare l'occupation du sol prédite (celle de la classification, en colonne) à l'occupation du sol observée (celle du terrain, en ligne) [23]. Ainsi, les pixels bien classés sont celles de la diagonale. La précision globale désigne le nombre d'individus (ou de pixels) bien classés, divisé par le nombre total d'individus (ou pixels). Le coefficient Kappa évalue la grandeur résiduelle de l'erreur obtenue par la classification. Il est un coefficient statistique qui représente le degré de précision et de la fiabilité dans une classification statistique. La valeur du Kappa est comprise entre 0 et 1. Une valeur du coefficient Kappa très proche de 1, montre que la classification est meilleure et les classes ont été bien discriminées sur la composition colorée [24]. Les images générées par ces classifications et validées sur le terrain, ont servi de cartes pour confirmer les observations faites sur les compositions colorées. L'organigramme des différentes méthodes de traitement d'images est illustré par la *Figure 7.*



Figure 7 : Organigramme des différents traitements d'images Landsat 7 ETM+

3. Résultats et discussion

3-1. Résultat des traitements d'images

L'indice de végétation normalisé (NDVI) calculé a permis de mettre en évidence, les variabilités des densités de végétation. Les zones à très fortes couvertures végétales sont très claires et les secteurs à faibles couvertures végétales sont très sombres. Dans une composition colorée, lorsque le NDVI est codé au canal vert, la végétation forte prendra une coloration verte. L'indice de végétation ajusté au sol présente les caractéristiques similaires au NDVI. Cependant, sa particularité est qu'il rehausse d'avantage les variabilités de l'intensité des couvertures végétales. Ainsi, les sols nus sont très sombres et les zones à fortes couvertures végétales restent claires. L'indice de brillance des sols et de rougeur mettent en évidence, les sols nus et les habitats. Les régions où le sol est visible sont très claires. Dans une composition colorée, lorsque ces bandes occupent le canal rouge, les sols nus et les habitats prennent la coloration rouge. La bande 1 brute rehausse les zones humides. Dans une composition colorée, lorsque cette bande occupe le canal bleu, les zones marécageuses, les étendues d'eau de surface et les cours d'eau prennent la coloration bleue. Les composantes principales (CP) obtenues, ont l'avantage d'être décorrélés. Le CP2 obtenue, rehausse les zones humides et les eaux de surface. Dans une composition coloré, lorsque le CP2 occupe le canal bleu, les zones marécageuses et les eaux de surface (stagnante et cours d'eau) prennent la coloration bleu, bleu foncé ou noir. Ainsi, la composition colorée simple des bandes brutes : bande1 (bleu), bande2 (vert) et bande 3 (rouge), a permis de discriminer les régions à fortes couvertures végétales (forêts, jachères et plantations), les zones à très faibles couvertures végétales (végétation à caractère savanicole herbeuse, arbustive et marécageuse, sols nus et habitats) et les étendues d'eau stagnante et courante (Figure 8).



Figure 8 : Composition colorée des bandes brutes ETM+1, ETM+2 et ETM+3

Par ailleurs, la composition colorée de la bande CP2 (bleu), SAVI (vert) et l'indice de rougeur (rouge), a permis de discriminer les principaux types d'occupation du sol de la région de la Marahoué, selon les variabilités des

densités de couvertures végétales et de l'humidité du sol *(Figure 9)*. Il y a eu une séparation nette entre les forêts denses et les mosaïques de jachères et plantations. Les forêts denses sont vertes foncées, et la mosaïque de jachère et de plantations sont vertes claires. Les forêts très dégradées semblables à une savane herbeuse, arbustive et marécageuse (savanicoles) ont une coloration violette. Les étendues d'eau stagnantes et les cours d'eau sont en noir ou bleu foncé. Enfin, les sols nus et les habitats sont rouges claires.



Figure 9 : Composition colorée des bandes CP2, SAVI et Indice de rougeur

Enfin, la composition colorée de la bande brutel (bleu), du NDVI (vert) et de l'indice de brillance des sols (rouge), a permis aussi de mettre en évidence, les différentes types d'occupation du sol dans cette région *(Figure 10)*. En effet, les forêts denses ont une coloration verte foncée, marquant une forte densité de couverture végétale, à cause des importantes strates ligneuses (arbres et arbustives). La mosaïque de jachères et de plantations se différencient des forêts denses par une couleur verte claire. Dans cet environnement, les strates herbacées sont denses, avec des arbustes et un peu de strates ligneuses arborées. Les plantations d'hévéa, de cacao, de thèque et de café, ont des densités de couverture végétale semblables aux jachères. Les forêts très dégradées semblables à une savane, herbeuse, arbustive et marécageuse (savanicoles), ont une coloration violette. Les étendues d'eau courante et stagnante sont en bleu, et les sols presque nus et habitats ont une coloration rouge claire. Cette image qui discrimine visiblement les types d'occupation du sol, a servi de réaliser la classification supervisée pour déterminer les superficies de chaque unité d'occupation du sol.



Figure 10 : Composition colorée de la bande brute1, du NDVI et de l'indice de brillance des sols

3-2. Résultat de la classification supervisée

La matrice de confusion (*Tableau2*) indique que la précision globale de la classification supervisée, par maximum de vraisemblance, est 98,7386 %. Le coefficient Kappa qui montre la qualité statistique des classes élaborées est 0,9823 ; cela signifie que les pixels ont été bien classés. Ainsi, cette matrice de confusion affiche dans la diagonale, les pourcentages de pixels bien classés et hors diagonale, les pourcentages de pixels mal classés. Une analyse plus fine de ces données montre que la classe1 (forêt dense) présente une légère confusion avec la classe 2 (mosaïque jachère et plantations). En effet, 1,71 % des pixels des forêts denses se trouvent classées dans la classe mosaïque jachères et plantations. Certaines zones des jachères présentent une forte densité de couverture végétale. Des plantations d'hévéa et de thèque ont l'aspect d'une forêt dense. On observe aussi une confusion entre les sols nus/ habitats et la forêt très dégradée à caractère savanicole ou semblable à une savane herbeuse et arbustive (3,07 %). En effet, certaines zones très dégradées de la forêt, devenue une savane herbeuse et arbustive, font apparaître presque le sol nu, car la végétation est presque absente. Ces zones sont en bordures des villes et villages et servent généralement aux cultures vivrières telles que les légumes, le manioc, le maïs et le riz dans cette région. Par ailleurs, on observe aussi une légère confusion entre la classe forêt très dégradée à caractère savanicole et les étendues d'eaux (0,98 %). Ces confusions sont dues au faite que certaines zones des forêts très dégradées à caractères savanicoles retiennent de l'eau en formant des marécages dans les bas-fonds. En effet, lorsque la forêt est très dégradée, à cause des cultures intensives et répétitives, sans laisser le sol se reposer, la strate ligneuse disparaisse et la végétation se transforme à une sorte de savane herbeuse favorable à la rétention d'eau en saison pluvieuse. La zone devient progressivement marécageuse au niveau des bas-fonds. Les autres types d'occupation du sol ont en général, des taux de pixels bien classés et élevés (99,25 % ; 99,96 %), donc bien discriminés. L'image de la *Figure 11* représente la carte d'occupation du sol de la région de la Marahoué issue de cette classification supervisée.

Classes	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
Classe 1	98,29	0,75	0,00	0,00	0,00
Classe 2	1,71	99,25	0,00	0,18	0,00
Classe 3	0,00	0,00	99,96	3,07	0,98
Classe 4	0,00	0,00	0,04	96,74	0,00
Classe 5	0,00	0,00	0,00	0,00	99,02
Total	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

Tableau 2 : Matrice de confusion de la classification supervisée

Précision globale (Overrall Accuracy) : 98,7386 % et Coefficient Kappa : 0,9823

Classe 1 : Forêt dense ; Classe 2 : Mosaïque : jachère et plantations ; Classe 3 : Forêt très dégradée semblable à une savane herbeuse, arbustive et marécageuse (savanicole) ; Classe 4 : Sols nus et habitats ; Classes 5 : Etendues d'eau courante et stagnante



Figure 11 : Carte d'occupation du sol de la région de la Marahoué

La classification supervisée a permis de déterminer les différentes proportions des superficies des unités d'occupation du sol de la région de la Marahoué. En effet, dans cette région, on a seulement 7,80 % de superficie de forêt dense, soit 696,618 km². La mosaïque de jachère et de plantations (cultures pérennes) occupent actuellement 58,8 % de superficie, soit environ 5251,428 km². La forêt dense primitive a presque disparue dans cette région, à cause de la déforestation depuis l'indépendance pour les cultures du café, du cacao et de l'hévéa. A cette déforestation, on ajoute les feux de brousse et l'exploitation abusive du bois. La forêt dense restante est retranchée dans le parc national de la Marahoué et quelques petits ilots de forêts disséminées par endroits. Aujourd'hui, on observe un nouveau type de végétation dominée par des herbes et des arbustes, formant des terrains de jachère, après la disparition des plantations de cacao et de café anciens. Ces jachères forment avec les nouvelles cultures d'hévéa, de palmier, de thèque, de café et de cacao, une

mosaïque de végétation à strate ligneuse et herbacé homogène. Cette mosaïque de jachère et de plantations peut être transformée en forêt dense, si on laisse la végétation se reposer, sans exploitation. Par ailleurs, la forêt très dégradée semblable à une savane herbeuse, arbustive et marécageuse (savanicole) occupe une proportion de 24,69 %, soit une superficie de 2205,0639 km². Dans cet environnement qui était dans le passé la forêt dense, le défrichement répétitif des jachères et les feux de brousse, ont créé une nouvelle végétation semblable à une savane herbeuse et arbustive, avec des marécages dans les zones de bas-fonds. Ici, le sol devient de plus en plus pauvre et presque nu, impossible de cultivé le cacao et le café. Actuellement, il serve uniquement à la culture du vivrier. Ce milieu doit absolument subir un reboisement, en vue de restaurer l'environnement forestier. Les sols nus et habitats dans cette région, occupent une proportion de 3,39 %, soit une superficie de 302,7609 km². Ce milieu représente essentiellement les zones où la végétation est quasiabsente, les villes et les villages de la région d'étude. Enfin, les étendues d'eau stagnante et courante occupent une proportion de 5, 32 %, soit une superficie de 475,1292 km². Ces eaux de surface sont le fleuve Bandama, les rivières et les eaux stagnantes. La répartition des proportions de ces superficies des types d'occupation du sol de la région de la Marahoué sont illustrés par le graphe de la *Figure 12.*



Figure 12 : Graphe illustrant les proportions de chaque classe d'occupation du sol

Classe 1 : Forêt dense ; Classe 2 : Mosaïque : jachère / plantations ; Classe 3 : Forêt très dégradée semblable à une savane herbeuse, arbustive et marécageuse ou savanicole ; Classe 4 : Sols nus et habitats ; Classes 5 : Etendues d'eau courante et stagnante

3-3. Discussion

Les indices de télédétection que sont l'indice de végétation normalisé (NDVI), l'indice de végétation ajusté au sol (SAVI), l'indice de brillance des sols (IB) et l'indice de rougeur des sols (IR) ont permis de caractériser la variabilité de la densité de couverture végétale et les sols nus de la région de la Marahoué. Ces indices permettent d'acquérir des informations utiles à la connaissance du milieu naturel [25 - 27]. Ainsi, les zones à fortes couvertures végétales sont discriminées aux zones à faibles couvertures végétales. Les images Landsat 7 ETM+, même si elles ne donnent pas accès aux informations à l'échelle des individus (identification de l'espèce), permettent d'avoir une vision synoptique des différents milieux écologiques [28 - 30]. La discrimination des types d'occupation du sol de la région d'étude de superficie 8931 km², par traitement d'image, a été validée par des campagnes de terrain qui ont permis de collecter des données au niveau de l'individu (espèce végétale) et de communauté (végétation). La classification supervisée a donc été validée

par l'analyse statistique des résultats (matrices de confusion, précision globale et coefficient Kappa), mais également par des missions sur le terrain. La précision globale de la classification est 98,7386 %. Cette précision est acceptable, car selon [31], une classification est jugée acceptable, lorsque la précision globale avoisine 80 %. Toutefois, en se reflétant à la valeur du coefficient Kappa (0,9823) obtenue, selon les échelles de [32], l'on peut conclure que les résultats de cette analyse sont statistiquement acceptables. Il convient cependant, de noter que les grandes précisions cartographiques obtenues peuvent dépendre du nombre réduit de classes utilisées et de la définition de parcelles homogènes, lors du choix des sites d'entrainement [33]. Cette classification supervisée a été aussi parfaite grâce, à la composition colorée qui a permis d'avoir des classes ou des unités d'occupation du sol de couleurs très différentes. Au regard de ce qui précède, nous pouvons affirmer que nos résultats sont fiables. Cependant, il n'a pas été possible de discriminer les zones de jachère et les plantations par traitement d'image à cause de leurs densités de couverture végétale similaires et la zone d'étude qui est très grande. En effet, ces plantations sont des strates arbustives et arborées, ayant les mêmes densités foliaires et de rayonnement photosynthétique que les zones de jachère. De même, la zone d'étude qui est très grandes (8931 km²) ne nous permet pas d'avoir des informations très détaillées, seulement les grands ensembles seront discriminés. Mais, ce qui est avantageux est que cette mosaïque de jachère et de plantations peut-être facilement transformer en forêt, si on laisse le sol se reposer. Il faut aussi noter que la date des images coïncide avec la saison des pluies (mois de mai), où la densité foliaire des strates ligneuses, arbustives et herbacées est importante dans l'ensemble. Le milieu écologique naturel et restitué, sans aucune contrainte de la sécheresse ; ce qui a permis aux capteurs Landsat 7 ETM+ de capter les ondes de caractéristiques biophysiques riches en formation végétale et en eau de surface. Les étendues d'eau de surface observée par traitement d'image est une belle illustration de la saison des pluies. Ainsi, les zones humides sont bien discriminées au cours de ces traitements.

4. Conclusion

Les traitements d'images Landsat 7 ETM+ ont permis de montrer que la région de la Marahoué de superficie 8931 km², abrite une végétation très diversifiée composée de forêts denses, de mosaïque de jachère et de plantations (culture pérenne et annuelle), de forêt très dégradée à caractère savanicole, des sols nus et habitats, et des étendues d'eau de surface. Les indices de télédétection (NDVI, SAVI, IB, IR), l'analyse en composante principale et les compositions colorées, ont permis de discriminer ces unités d'occupation du sol par rapports à leurs caractéristiques physiques et biologiques. La classification dirigée par maximum de vraissemblance et les travaux de terrains, ont permis de cartographier ces classes d'occupation du sol de la région de la Marahoué. Ainsi, la forêt dense primitive localisée dans le parc de la Marahoué, s'étend sur une proportion de 7,8 %. Les mosaïques jachères et plantations occupent une proportion de 58,8 %. La forêt très dégradée à caractère savanicole herbeuse, arbustive et marécageuse, occupe une proportion de 24,4 %. Les sols nus et habitats (villes et villages) et les eaux de surface, s'étendent respectivement sur des proportions de 3,5 % et de 5,3 %. La capacité de discrimination des différents types de végétation par l'image Landsat 7 ETM+ est fortement corrélée à la structure des ligneux (aires basales) dans les formations forestières et jachères. Cette corrélation est plus faible au niveau des formations savanicoles où la strate ligneuse est guasiinexistante. Vu l'ampleur de la déforestation dans cette région, il est impératif de laisser une grande partie des zones dégradées sans exploitation, en vue de restaurer cet environnement forestier.

Références

- [1] R. S DE FRIES, M. HANSEN, M. TOWNSHEND, J. R. G., SOHLBERG, R., Global land cover classifications at 8 km spatial resolution : the use of training data derived from Landsat imagery in decision tree classifiers. *Int. J. Remote Sens.*, 19 (16) (1998) 3141 - 3168 p.
- [2] D. H. N'DA, Etude et suivi par télédétection et système d'information géographique d'une aire protégée soumise aux pressions anthropiques. Université de Cocody, thèse unique, (2007) 152 p.
- [3] J. P LANLY, Les ressources forestières tropicales FAO, Rome, (1982) 113 p.
- [4] R. PAÎVINENP, J. PITKANEN and R. WIT, Mapping closed tropical forest cover in West Africa using NOOA AVHRR-LAC data. Silva Carelica, 21 (1992) 27 - 51 p.
- [5] SODEFOR, Plan d'aménagement de la forêt classée de Bouaflé. Ministère de l'agriculture et des ressources animales, (1996) 3 - 61 p.
- [6] J. W. ROUSE, R. H. HAAS, J. A. SCHELL, D. W. DEERING, J. C. HARLAN, Monitoring the vernal advancement and rétrogradation (greenwave effect) of natural vegetation. NASA/ GSFC Type III Final Report, Grennbelt, Maryland, (1974) 50 p.
- H. W. GAUSM AN, Plant leaf optical properties in visible and near-infrared light. *Texas Technical Press, Lubbock, Texas*, (1985) 78 p.
- [8] B. HOLBEN, C. JUSTICE, An examination of spectral band ratioing to reduce the topographic effect on remotely sensed data. *International journal of remote sensing*, Vol. 2, N° 2 (1981) 115 - 133 p.
- [9] PN ATER, RD. ACKSON, Atmospheric effects on radiation reflected from soils and vegetation as measured by orbital sensors using various scanning directions. *Applied Optics*, Vol. 21, N° 21 (1982) 3923 - 3931 p.
- [10] R. D. ACKSON, P. N. LATER, P. J. PINTER, Discrimination of growth and water stress in wheat by various vegetation indices through clear and turbid atmospheres. *Remote sensing of environment*, Vol. 13, (1983) 187 208 p.
- [11] RE CRIIPPEN, The dangers of underestimating the importance of data adjustements in band ratioing. International journal of remote sensing, Vol. 9, N° 4 (1988) 767 - 776 p.
- [12] R. J. KAUTH, G. S. THOMAS, The tasselled cap a graphic description of the spectral temporal development of agricultural crops as seen by Landsat. Proceedings Symposium on Machine Processing of Remote Sensing Data, LARS, Purdue University, West Lafayette, Vol. 4b, (1976) 41 - 51 p.
- [13] A. J. RICHARDSON, C. L. WIEGAND, Distinguishing vegetation from soil background information. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 43, N° 12 (1977) 1541 - 1552 p.
- [14] C. R. PERRY, L. F. LAUTENSCHLAGER, Functional equivalence of spectral vegetation indices. *Remote sensing of environment,* Vol. 14, N° 5 (1984) 169 182 p.
- [15] A. R. HUETE, A soil adjusted vegetation index (SAVI). *Remote sensing of environment*, Vol. 25, (1988) 295 309 p.
- [16] C. R. PERRY, J. R. LAUTENSCHLAGER, L. F. LAUTENSCHLAGER, Functional equivalence of spectral vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 14, (1984) 169 - 182 p.
- [17] R. D BARIOU, S. LECAMUS, F. LE HENAFF, Indices de végétation. Dossiers de télédétection, *Centre régional de télédétection, Université de Rennes*, (1985) 150 p.
- [18] E BARTHOLOMÉ, Comparaison des potentialités de différents indices de végétation pour la caractérisation des cultures en milieu sahélien. -Centre AGRHYMET, Niamey, (1987) 27 p.
- [19] A. J. RICHARDSON, J. H EVERITT, Using spectral vegetation indices to estimate rangeland productivity. *Geocarto International*, 1 (1992) 63 - 69 p.
- [20] G. JOLY, Traitements de fichiers-images. Télédétection satellitaires 3, Paradigme, (1986) 137 p.

- [21] M. ROBIN, La télédétection. Des satellites aux systèmes d'information géographiques. Ed. Nathan, (1995) 318 p.
- [22] S. OJAGHI, H. EBADI et F. F. AHMADI, «Using artificial neural network for classification of high resolution remotely sensed images and assessment of its performance compared with statistical methods,» American *Journal of Engineering*, Technology and Society, Vol. 2, N° 11 (2015) 1 - 8 p.
- [23] M. GIRARD et C. GIRARD Traitement des données de télédétection : environnement et ressources naturelles, Paris, *Dunod*, (2010) 147 p.
- [24] P MATHER, Computer processing of remotely-sensed images. An introduction. John Wiley & Sons, Ltd, third edition, (2004) 250 p.
- [25] A. BANNARI, D. R. MORIN, A. R. HUETE, F. BONN, A review of vegetation index, *Remote sensing reviews*, N°13 (1995) 95 - 120 p.
- [26] O. LEUMBE, D. BITOM, L. MAMDEM et A. L. TIKI, Cartographie des zones à risques d'inondation en zone soudano-sahélienne : cas de Maga et ses environs dans la région de l'Extrême Nord Cameroun,» Afrique Sciences, Vol. 11, N° 13 (2015) 28 - 39 p.
- [27] V.-C. J SOKENG F. K. KOUAMÉ, H. D. N'DA, B. TANKOANO, L. AKPA and B. NGOUNOU, Cartographie de l'occupation de sol des Hauts Plateaux de l'Ouest Cameroun par réseaux de neurones appliqués à une image LANDSAT 8 OLI. International Journal of Innovation and Scientific Research, ISSN 2351-8014, Vol. 23, N° 2 May (2016) 443 - 454 p. Innovative Space of Scientific Research Journals http://www.ijisr.issr-journals.org/ https://www.researchgate.net/publication/304570524_Cartographie_de_1%27occupation_de_sol_des_H auts_Plateaux_de_1%270uest_Cameroun_par_reseaux_de_neurones_appliques_a_une_image_LAND SAT 8_OLI_Mapping_land_cover_in_Western_Cameroon_Highlands_using_neural_net
- [28] F. ACHARD, H. D. EVAE, H. J. STIBIG, P. MAYAUX, J. GALLEGO, T. RICHARD, J. P. MANLINGREAU, Determination rates of the world's humid tropical forest. Sciences, 297 (5583) (2000) 999 - 1002 p.
- [29] H. ABDALLAH, H. SOUILMI, Analyse des changements d'occupation du sol et des transformations socioéconomiques au cours du XXème siècle dans les marges arides du Tell oriental (Dorsale centrale, environs d'Es Srassif, Tunisie)», *Physio-Géo*, 9, 1 (2015) 81 - 109 p.
- [30] D. K KPEDENOU, O. DRABO, A P OUOBA, D. C E. DA, T. TANZIDANI, K. TCHAMIE, Analyse de l'occupation du sol pour le suivi de l'évolution du paysage du territoire Ouatchi au Sud-est du Togo entre 1958 et 2015, Cahiers du cercleshs, Presses de l'Université de Ouagadougou 2017, XXXI (55) (2017) 203 - 228 p. <hal-01701176>. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01701176/document
- [31] R. G CONGALTON, A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, N° 37 (1991) 35 - 46 p.
- [32] R. G. PONTUS, Quantification error versus location in comparison of categorical maps. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66 (2000) 1011 - 1016
- [33] R. CALOZ et C. COLLET, Précis de télédétection. Vol 3. Traitements numériques d'images de télédétection. Presses d'université du Quebec, Sainte Foy, (2001) 386 p.