

POTENTIALITÉS DES IMAGES NIGERIASAT-1 DANS LA CARTOGRAPHIE DE LA STRUCTURE DE LA VÉGÉTATION AU CENTRE DU BÉNIN

**Joseph OLOUKOI^{1*}, Vincent O. A. OREKAN²
et Vincent Joseph MAMA³**

¹ *Department of Cartography, Regional Centre for Training in Aerospace
Surveys (RECTAS), Obafemi Awolowo University Campus,
PMB 5545, Ile-Ife, Nigeria*

² *Laboratoire de Biogéographie et d'Expertise Environnementale
(LABEE), Département de Géographie, Université d'Abomey-Calavi*

³ *Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB),
06 BP 1105 Cotonou, Bénin*

* Correspondance, e-mail : chabijos@gmail.com

RÉSUMÉ

Le présent article vise à explorer les potentialités des images du satellite NigeriaSat-1 pour la cartographie de la structure de la végétation au centre du Bénin. L'image NigeriaSat-1 précisément la scène de colonne 16151 et de ligne 9902 du 15 / 11 / 2006 a été utilisée en combinaison avec des cartes topographiques disponibles dans le milieu d'étude à l'échelle du 1/200000. Après vérification de sa correction géométrique et du rehaussement de son contraste, l'image a été soumise à une classification supervisée à la suite d'une interprétation visuelle. Après validation des résultats de la classification par l'Indice de Pureté des classes et l'Indice de Validation Cartographique estimés respectivement à une moyenne de 82,6 et 80,3 %, cinq grandes formations végétales ont été identifiées notamment les forêts denses, les galeries forestières, les forêts claires et savanes boisées, les savanes arborées et arbustives et les champs et jachères. La cartographie a été faite sur neuf feuilles au 1/100000 couvrant toute la zone d'étude, ce qui constitue une amélioration par rapport aux échelles cartographiques existantes sur le milieu. Les caractéristiques spectrales des images NigeriaSat-1 sont aptes à une bonne cartographie de la structure de la végétation. Toutefois, elles sont limitées quant à la cartographie floristique.

Mots-clés : *NigeriaSat-1, DMC, végétation, classification supervisée, cartographie.*

ABSTRACT**Potentials of NigeriaSat-1 images in the mapping of the vegetation structure in the Centre of Benin**

This paper explores the potential of NigeriaSat-1 satellite images for the mapping of the vegetation structure in the centre of Benin. NigeriaSat-1 image precisely the scene with column 16151 and row 9902 of 15 / 11 / 2006 was used in combination with available topographic maps at 1/200000 scale in the study area. After the verification of the geometric correction and the enhancement of the contrast, the features were extracted through a supervised classification following a visual interpretation. The results of the classification were validated using the Class Purity Index and the Cartographic Validation Index estimated to an average of 82.6 and 80.3 %. From the spectral signatures, five large vegetation formations were identified such as dense forest, gallery forest, light forest, shrub and woody savanna and farmlands and fallows. Nine vegetation map sheets were produced at 1/100000 scale which constitute an improvement on the existing cartographic scales in the area. Spectral characteristics of NigeriaSat-1 images are apt for a good mapping of the vegetation structure. However, they are limited for the floristic mapping.

Keywords : *NigeriaSat-1, DMC, vegetation, supervised classification, mapping.*

I - INTRODUCTION**I-1. Télédétection et carte de végétation**

Pendant longtemps, la cartographie de la végétation a nécessité des travaux de terrain intensifs incluant aussi bien la taxonomie, l'analyse des données collatérales et auxiliaires et l'estimation visuelle du pourcentage de la couverture de chaque formation végétale. Cet exercice nécessite assez de temps et s'avère coûteux et des fois se révèle inapplicable à cause des problèmes d'accessibilité et n'est praticable que sur des espaces relativement réduits [1]. En réalité, les méthodes traditionnelles telles que les levés de terrain, les revues de littérature, l'interprétation de cartes et l'analyse d'autres données collatérales, ne sont pas effectives pour l'analyse et l'étude des couvertures végétales car elles nécessitent plus de temps et sont par conséquent coûteuses. Avec l'avènement de la télédétection, des moyens plus pratiques et économiques permettent de mieux discriminer les formations végétales, de même que les espèces. Des données d'archive permettent désormais de mieux suivre l'évolution de la végétation, les changements dans le temps et dans

l'espace et les informations sont intégrées dans des systèmes d'information géographique pour des analyses plus approfondies [2 - 4]. Les auteurs de [5] ont considéré la télédétection comme une discipline scientifique qui regroupe l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour l'observation, l'analyse, l'interprétation et la gestion de l'environnement à partir des mesures et d'images obtenues à l'aide de plateformes aéroportées, spatiales, terrestres ou maritimes. Elle est une technique qui, par l'acquisition d'images (images satellitaires, photos aériennes), permet d'obtenir de l'information sur la surface de la Terre, sans contact direct avec celle-ci. Elle englobe tout le processus qui consiste à capter et à enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et à analyser l'information, pour ensuite mettre en application cette information [6, 7]. L'une des applications où la télédétection a été le plus utilisée est le domaine de la végétation.

Avec l'avènement des satellites et des capteurs à basse, moyenne et haute résolution, l'étude de la végétation et sa cartographie a été rendue plus facile, plus rapide et moins onéreuse. Plusieurs auteurs ont utilisé des images multispectrales pour identifier les classes des formations végétales pour discriminer les communautés [8, 9]. D'autres ont aussi utilisé des données hyperspectrales pour distinguer et cartographier les végétations des milieux humides à des niveaux spécifiques [10, 11]. En plus, l'exploitation des techniques de télédétection a été étendue dans la quantification des propriétés biophysiques et biochimiques de la végétation telles que l'indice de couverture foliaire, la biomasse, la teneur en eau de la végétation [12, 13]. Du fait de sa capacité à permettre des observations systématiques à des échelles spatio-temporelles variées, la télédétection offre des données d'archive pour des analyses diachroniques dans l'étude de la dynamique de la végétation [14].

A cause de cet avantage, plusieurs chercheurs ont consenti des efforts dans la cartographie de la couverture végétale de l'échelle locale à l'échelle globale en utilisant des images de télédétection. Par exemple, dans le cadre du Programme International Géosphère-Biosphère, une cartographie de l'occupation des terres dans le cadre du projet de développement de la base de données de l'occupation globale des terres a été réalisée en se basant sur des imageries AVHRR de résolution spatiale 1 km en 1992. Dans le même ordre d'idée, l'Institut de Recherche Conjointe en Italie a implémenté un projet similaire dénommé le Global Land Cover 2000 (GLC 2000, en 1999 pour cartographier l'occupation globale des terres et mettre en place des données fondamentales VEGA2000 en utilisant les images de SPOT 4-VEGETATION. La NASA avait aussi conçu une base de données de l'occupation globale des terres sur la base des données MODIS à partir du satellite TERRA en Janvier et décembre 2001. Au total, il importe de relever que la cartographie de la végétation a pris

de l'ampleur avec le développement de la télédétection spatiale. Les technologies actuelles de télédétection offrent des possibilités d'acquisition et d'analyse des données terrestres, atmosphériques et, en relation avec les données GPS (Global Positioning System), les couches de données SIG et leurs fonctions, et les possibilités de modélisation [15, 16]. Il importe de retenir que le domaine de la télédétection a connu des changements énormes, surtout avec le nombre sans cesse croissant de satellites mis sur orbite de nos jours. Ainsi, les deux décennies passées ont connu une prolifération de plateformes satellitaires avec des résolutions spatiales plus améliorées (Quickbird, Ikonos, Spot 5, etc.). Les satellites à basse résolution ont été utilisés pendant des années pour l'acquisition des informations de base sur la couverture végétale et l'occupation des terres de façon générale sur de vastes espaces. Beaucoup de chercheurs ont cartographié l'occupation des terres. C'est le cas de [17] qui a utilisé les données AVHRR1 du satellite NOAA.

L'auteur a remarqué qu'il y avait une confusion entre les espaces ayant connu de modification et les zones stables. Les auteurs de [18] ont décrit les données mensuelles de couverture végétale, générées par le capteur MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectro-radiometer*) de 250 m de résolution spatiale. Mais si cette étude a eu le mérite de donner des indications sur la couverture végétale dans sa globalité, les résultats ne peuvent pas être utilisés à des échelles locales, du fait de la basse résolution de la donnée qui est seulement utile à la mise en place d'un système d'alerte globale. Les données sont limitées pour des besoins de planification locale, mais utiles à des fins d'évaluation globale de l'occupation des terres. En dehors des données satellitaires de très haute ou très faible résolution, il existe celles de moyennes résolutions comme la gamme des satellites Landsat dont le programme de lancement a commencé depuis 1972. En effet, la continuité du programme Landsat depuis 1972 a été reconnue comme un acquis dans l'évolution de la télédétection [16].

Pendant environ 12 ans, le capteur MSS (Multispectral Scanner) de Landsat a fourni des images avec une résolution spatiale de 80 m dans quatre bandes spectrales. Bien que les données issues de ce capteur aient présenté quelques "bruits" [19], elles ont été une opportunité pour les chercheurs d'appliquer les données de télédétection à l'étude de la végétation à une échelle régionale. Ces données, améliorées avec l'avènement des capteurs TM, ETM+ et OLI-TIRS de Landsat, sont aujourd'hui utilisées pour les études de détection des changements historiques de la couverture végétale et constituent une composante importante des données fondamentales dans la caractérisation des terres [20 - 22]. Aussi les images provenant de ces capteurs comme la plupart des capteurs montés à bord des satellites de surveillance environnementale, constituent-elles des documents de base pour les Systèmes d'Information

Géographique sur l'occupation des terres. Ainsi, compte tenu des avantages des images satellitales, tels que la répétition des données, leur vue synoptique et leur format numérique apte au traitement par ordinateur, celles-ci constituent une source d'information pertinente pour la cartographie de la végétation et de sa dynamique [23].

I-2. Carte de la végétation : Nécessité d'un outil de planification environnementale

La carte de la végétation constitue un outil ou un document technique important dans la gestion des ressources naturelles étant donné que la végétation est une composante de base pour la vie et la survie des êtres vivants. La carte de la végétation apporte des informations de valeur pour la compréhension de l'environnement à travers la quantification du couvert végétal à l'échelle aussi bien locale que globale à une période donnée. Ainsi pour pouvoir initier des programmes et projets de restauration et de protection de la végétation, il est important de disposer des informations claires et précises sur l'état actuel du couvert végétal. Les cartes de végétation sont utilisées pour présenter des informations sur la composition et la structure des formations végétales, en deux dimensions. Ces cartes fournissent un cadre de référence régional sur lequel les investigations écologiques des espèces ou communautés biologiques peuvent être basées. Selon [24], la cartographie de la végétation est l'une des composantes basiques de la banque de données écologiques de toute région. En dehors du fait qu'elle constitue une réserve de données pour la planification et l'inventaire forestier, il importe de souligner que l'information fournie par une carte de végétation de qualité aidera dans tout programme d'évaluation de l'énergie combustible à base de bois et de la conservation du statut écologique des écosystèmes forestiers.

Ces cartes peuvent être produites à des échelles variées et pour des usages diversifiés. Le niveau de détail sur une carte de végétation est fonction de ses objectifs c'est-à-dire par exemple les composantes de la végétation à présenter, et aussi de l'échelle à laquelle la carte sera produite. La carte de la végétation présente deux objectifs principaux. Le premier c'est l'inventaire et la représentation de la végétation existante, tant naturelle que transformée par l'homme et le deuxième objectif porte sur des changements observés dans la couverture végétale. Au Bénin, si les dynamiques du paysage constituent une réalité indéniable, la capacité de gestion de leurs corollaires reste une question fondamentale [25, 26]. En effet, des outils de gestion adéquate font toujours défaut ou du moins ne sont pas suffisamment adaptés pour gérer efficacement les phénomènes observés. A titre d'illustration, il importe de rappeler que la cartographie topographique de base du Bénin est toujours au 1/200000 depuis les années 1960 pour tout le territoire et partiellement au 1/50000 pour

quelques zones du sud du pays. Une telle échelle ne permet pas de gérer efficacement des ressources, car il y a toujours des détails qui échappent aux gestionnaires et planificateurs. Autrement dit, les informations que portent ces cartes sont dépassées, et ne permettent pas une cartographie pertinente des ressources naturelles. De même, dans le cadre du projet Bois de Feu, phase II, récemment exécuté, la cartographie forestière a été faite dans le volet Inventaire Forestier National [27] dudit projet. Mais les cartes de végétation produites correspondent exactement aux dix-huit feuilles topographiques classiques au 1/200000 couvrant le pays et dont le cadre de référence remontait aux années 1960 [28]. Ainsi la question d'échelle reste toujours posée. Cela impose certaines réalités dont les plus évidentes en matière de gestion des ressources sont : la généralisation de l'information géographique relative à la couverture végétale, la non disponibilité de l'information spatiale d'une précision qui soit à l'échelle locale en cette période de décentralisation. En d'autres termes, la cartographie locale est à une étape embryonnaire. Or, eu égard à son importance pour les scientifiques, les décideurs et les populations confrontés aux complexités des changements globaux [29], la dynamique de l'occupation des terres, ainsi que les facteurs explicatifs sont légèrement analysés lorsqu'il n'y a pas une cartographie précise et détaillée de l'occupation des terres dont la végétation constitue une composante principale.

I-3. Le satellite NigeriaSat-1

Mis sur orbite en Septembre 2003, le satellite NigeriaSat-1 fait partie d'une constellation de cinq micro-satellites du Standard DMC (Disaster Management Constellation) mis en place par le *Surrey Satellite Technology Ltd, Surrey, UK* en vue de fournir des réponses rapides pour le suivi, la gestion et la mitigation des catastrophes à un coût faible et de permettre un accès rapide aux données satellitaires surtout dans les pays en développement. Le DMC est composé des satellites Alsat-1, UK-DMC, Bilsat-1, NigeriaSat-1 et Beijing-1. Ces satellites présentent une résolution temporelle élevée (journalière) et une résolution spatiale modérée (32 m) lesquelles les rendent plus aptes à la gestion des changements environnementaux. Elles peuvent être aussi utilisées pour contourner les problèmes de couverture nuageuse et ceux liés à la résolution temporelle de 16 jours de Landsat ETM+. Les satellites DMC ont la capacité de fournir des images de n'importe quel espace dans le monde avec une période de repassage d'un jour. Ils sont dans une orbite héliosynchrone circulaire avec une inclinaison de 98° , opérant à une altitude de 686 km et à un temps de passage local de 10 h 30 et une période orbitale estimée à 97,7 minutes. Son champ de vue instantané est de 640 km x 640 km soit environ 20000 x 20000 pixels contre 183 km x 183 km soit 6087 x 6087 pixels pour Landsat ETM [30]. Pour ces raisons, il y a un besoin clair d'explorer les potentialités des satellites DMC pour la cartographie de la structure de la végétation au centre du Bénin.

II - DONNÉES ET MÉTHODES

II-1. Secteur d'étude

La présente étude est conduite au Centre du Bénin composé dans sa grande partie de l'actuel département des Collines, d'une partie des départements du Borgou, du Zou, du Plateau et du Couffo. Il est compris entre 1°38' et 2°46' de longitude Est d'une part et entre 7°30' et 9°00' de latitude Nord d'autre part. Administrativement, on y retrouve entièrement les Communes de Savè, de Ouèssè, de Dassa-Zoumé, de Glazoué, de Bantè, de Savalou et une partie des Communes de Tchaourou, de Djidja, de Kétou, d'Aplahoué, de Covè et de Zagnanado (**Figure 1**).

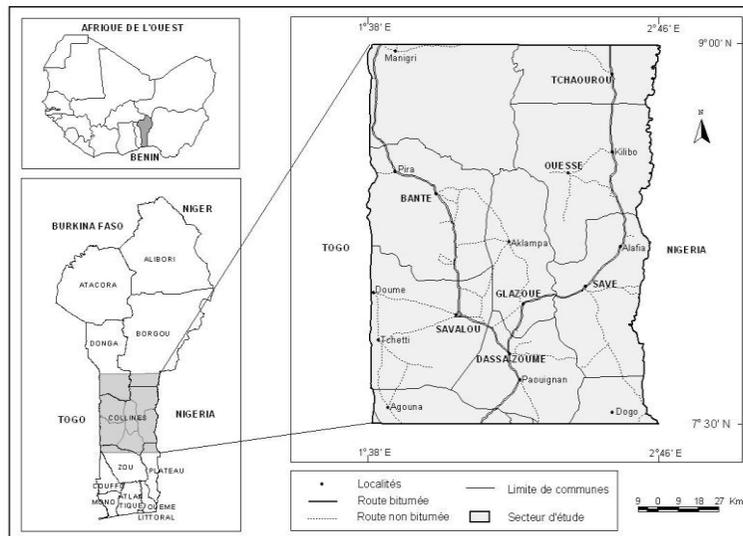


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

II-2. Données utilisées

Dans le cadre de cette recherche, l'image satellitaire NigeriaSat-1 précisément la scène de colonne 16151 et de ligne 9902 du 15 / 11 / 2006 a été utilisée. Elle a été mise à notre disposition par la NASRDA (*National Space Research & Development Agency*) qui est l'Agence Nationale Spatiale pour la Recherche et le Développement du Nigeria. En complément, les feuilles des cartes topographiques au 1/200000 de l'AOF (Afrique Occidentale Française), couvrant la partie centrale et méridionale du Bénin ont été aussi utilisées. Il s'agit des feuilles de Savè, Abomey, Sokodé et de Zagnanado, au 1/200.000. Ces cartes produites par l'Institut Géographique National de France (IGN), appartiennent à la grande famille des cartes de l'Afrique de l'Ouest réalisée en

Afrique noire. Bien que produites pour le compte de quinze (15) États, et selon des formules sensiblement différentes, elles présentent une certaine unité de conception, caractérisée par l'établissement de la carte de base à l'échelle de 1/200000 (*Tableau 1*). Ces cartes datent des années 1950 pour certaines et 1960 pour d'autres. Elles constituent des cartes topographiques de référence dans la zone d'étude, en dépit des grandes évolutions observées dans le milieu pendant plus de trente ans.

Tableau 1 : Cartes topographiques utilisées et leurs caractéristiques

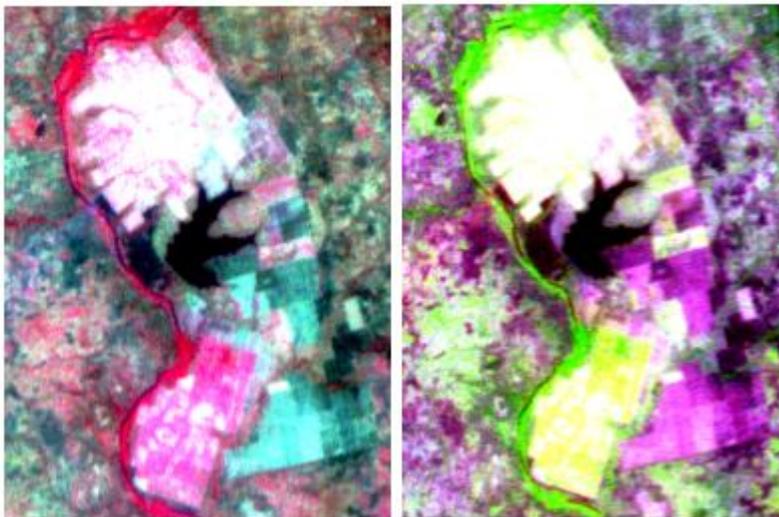
Feuilles topographiques	Famille	Echelle	Date	Auteur	Références
Savè	Carte de l'Afrique de l'Ouest	1/200000	1ère édition: 1955, réimpression Juillet 1969	IGN Paris ; (Service Géographique à Dakar)	République du Dahomey, Feuille NC-31- III
Abomey	Carte de l'Afrique de l'Ouest	1/200000	1ère édition: 1960	IGN Paris ; (Service Géographique à Dakar)	République du Togo République du Dahomey Feuille NB-31-XX
Sokodé	Carte de l'Afrique de l'Ouest	1/200000	1ère édition: 1955 ; Réimpression Septembre 1969	IGN Paris ; (Service Géographique à Dakar)	République du Togo République du Dahomey Feuille NC-31-II
Zagnanado	Carte de l'Afrique de l'Ouest	1/200000	1ère édition: Décembre 1960	IGN Paris ; (Service Géographique à Dakar)	République du Dahomey, Feuille NB-31- XXI

En dehors de ces cartes topographiques, la carte générale du Bénin à l'échelle de 1/600000 a été utilisée. Cette carte a été réalisée sur la base des travaux de terrain effectués en 1982 par l'Institut Géographique National de France, en collaboration avec l'Institut Géographique National du Bénin. Révisée partiellement en 1992, la carte générale du Bénin constitue une base de données essentielle pour des études de cartographie et fournit assez d'information sur la toponymie à l'échelle de tout le pays.

II-3. Traitement des données

Après avoir téléchargé et affiché la scène de NigeriaSat-1 dans l'environnement du logiciel Erdas Imagine 9.2, les corrections géométriques faites depuis la source ont été acceptées. La précision de ces corrections géométriques a été vérifiée en superposant les images aux cartes topographiques existantes sur le milieu afin de confirmer la correspondance des éléments planimétriques tels que les cours d'eau et certaines voies. La

qualité de l'image utilisée a été améliorée par le rehaussement du contraste en utilisant la technique de transformation linéaire. L'analyse de la signature spectrale des différents objets de l'occupation du sol a été une étape importante pour le choix des canaux 1, 2 et 3 de la scène de NigeriaSat-1. A cette étape, nous avons préféré travailler sur la combinaison des bandes afin de mieux identifier les différentes unités paysagères représentées soit en pseudo couleur naturelle, soit en fausse couleur. Le capteur DMC de NigeriaSat-1 utilise trois bandes à savoir la bande 1 qui opère dans le proche infrarouge, la bande 2 qui opère dans le canal du rouge et la bande 3 qui opère dans le canal du vert. Six possibilités de composition colorée s'offraient avec l'image de NigeriaSat-1. La composition colorée obtenue par superposition de la bande 1 (en rouge), de la bande 2 (en vert) et de la bande 3 (en bleu) a été choisie (**Figure 2**). Une autre composition associant la bande 2 (en rouge), la bande 1 (en vert) et la bande 3 (en bleu) a également été sélectionnée (**Figure 2**). Cette dernière combinaison, plus proche des couleurs naturelles que la première, est celle qui a été retenue lors de l'élaboration de l'Atlas du Nigéria réalisé avec les images NigeriaSat-1 sur l'ensemble du pays.



*image NigeriaSat-1 en composition
RVB des bandes 1, 2 et 3*

*image NigeriaSat-1 en composition
RVB des bandes 2, 1 et 3*

Figure 2 : *Echantillons des compositions colorées en fausse couleur et en pseudo couleur naturelle de NigeriaSat-1 montrant la plantation et le barrage de la SUCOBE (Sucrerie Complant du Bénin, ex Société Sucrière de Savè)*

II-4. Interprétation visuelle de l'imagerie NigeriaSat-1

En prélude à l'extraction des unités de formations végétales, il a été procédé à une interprétation visuelle des images. Cette opération a consisté à afficher l'image sur l'écran et à identifier les objets, et juger de leur signification et de leur importance. Elle a considéré non seulement les valeurs de réflectance de chacun des pixels de l'image, mais aussi les informations spatiales et spectrales des images (forme, taille, structure, texture et couleur), les informations auxiliaires provenant de la vérité - terrain et sur les cartes topographiques, et ensuite le contexte. La vérité terrain a été organisée en vue de confronter les résultats de l'interprétation des images aux réalités de terrain. Au cours de cette vérité terrain, 30 points GPS ont été pris dans chacune des unités de formation végétale. Les corrections sont faites par la suite avant la production finale des cartes de végétation. Quelques détails ont été identifiés sur la base d'une clé d'interprétation (forme, motif, couleur, texture, voisinage, ombre) et surtout la valeur radiométrique des pixels de l'image. Cette clé d'interprétation (**Tableau 2**) a permis de dégager les grandes unités de l'occupation des terres telles que les forêts, les savanes, les champs et jachères, les agglomérations, les sols nus et roches exposées, les plans d'eau et les zones brûlées.

Tableau 2 : Clé d'interprétation et de reconnaissance visuelle des ensembles d'occupations des sols

Unités d'occupation des terres	Composition RVB des bandes 1, 2 et 3	Composition RVB des bandes 2, 1 et 3
Forêts		
Savanes	Rouge foncé au rouge clair	Vert foncé au vert clair
Champs et jachères		
Agglomérations	Variation de cyan	Variation de magenta
Sols nus et roches exposées		
Eau	Gris sombre	Gris sombre
Zones brûlées	Gris sombre	Gris sombre

II-5. Classification supervisée de l'image NigeriaSat-1

La classification supervisée a été utilisée pour transformer les données multi-spectrales en cartes thématiques de la végétation. La classification supervisée est une méthode dans laquelle l'analyste définit de petites superficies appelées parcelles d'entraînement sur l'image qui représentent chaque catégorie d'occupation et d'utilisation des terres. La **Figure 3** présente la démarche suivie pour cette classification supervisée des images. La définition des parcelles d'entraînement représentatives d'un type particulier de

la couverture du sol est plus effective lorsque l'analyste a une connaissance de la géographie de la région et l'expérience avec les propriétés spectrales des classes d'occupation du sol. L'analyste applique alors des algorithmes qui reconnaissent les valeurs ou signatures spectrales associées aux parcelles d'entraînement. Après que les signatures spectrales pour chaque type d'occupation du sol aient été identifiées, le logiciel utilise ces signatures pour classer les autres pixels. Dans le cadre de la présente étude, la classification supervisée est faite moyennant l'algorithme Maximum de vraisemblance avec le logiciel ENVI. Cette méthode de classification suppose que les statistiques pour chaque classe de l'occupation et d'utilisation des terres dans chaque bande sont normalement distribuées [31 - 33]. Cet algorithme calcule la probabilité pour qu'un pixel donné appartienne à une classe spécifique. Chaque pixel est classé dans une catégorie donnée d'occupation du sol dont la probabilité est plus élevée.

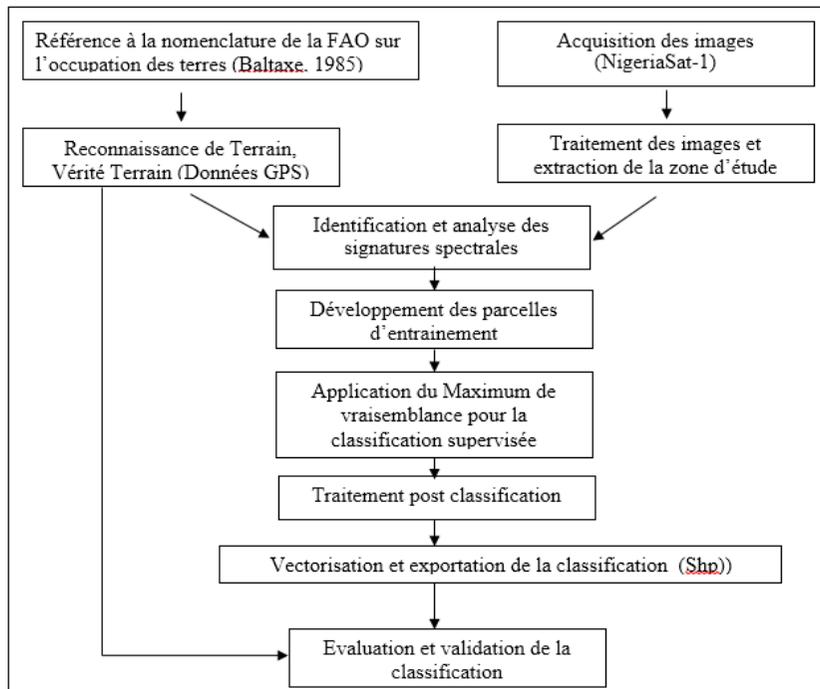


Figure 3 : Procédure de la classification supervisée et de l'extraction de l'information [23]

II-6. Évaluation de la classification et validation des résultats

Les méthodes conventionnelles d'évaluation de la précision thématique des résultats de la classification ont été appliquées. Il s'agit de la matrice de

confusion de l'Indice Cartographique de Validation et de l'Indice de Pureté des Classes [34]. La matrice de confusion donne une évaluation de la précision globale de la cartographie et des résultats de classification pour chacune des classes thématiques. Cette matrice permet de dégager les erreurs de commission et les erreurs d'omission du processus de la classification. De même, pour chaque classe d'occupation et d'utilisation des terres, l'Indice de Validation Cartographique (IVC) et l'Indice de Pureté des Classes (IPC), ont été déterminés suivant les formules ci-après :

$$IVC = \frac{NCC_i}{NT_i} \quad (1)$$

$$IPC = \frac{NCC_i}{NC_i} \quad (2)$$

Avec NC_i le Nombre de pixels de la classe C_i , NT_i le nombre de pixels du thème T_i sur le terrain et NCC_i le nombre de pixels correctement classés dans la classe C_i . La précision des résultats de la classification a été évaluée au moyen de la matrice de confusion (**Tableau 3**) a révélé les observations suivantes:

- des confusions entre la forêt dense et la forêt galerie, qui se traduisent par la commission de 376 pixels de forêt dense comme galerie forestière ;
- des confusions entre les forêts claires et savanes boisées et la forêt galerie (166 pixels);
- des confusions entre la forêt galerie et la forêt dense, la forêt claire, et la savane arborée et arbustive, soit respectivement 159, 157 et 208 pixels.

Tableau 3 : Matrice de confusion et indices de validation de la classification de l'Image NigeriaSat-1 de 2006

		Cartographie						
Terrain	Cja	Fd	Fcsb	Saa	Fg	Total	IPC	IVC
Cja	1874	0	9	52	43	1978	93,4	94,7
Fd	0	575	62	0	376	1013	77,6	56,8
Fcsb	17	7	880	0	166	1070	79,0	82,2
Saa	115	0	6	7203	15	7339	96,5	98,1
Fg	0	159	157	208	1191	1715	66,5	69,4
Total	2006	741	1114	7463	1791	13115	82,6	80,3

Cja : Champs et Jachères ; Fd : Forêt dense ; Fcsb : Forêt claire et Savane boisée ; Saa : Savane arborée arbustive ; Fg : Forêt galerie; IPC : Indice de Pureté des Classes, IVC : Indice de Validation Cartographique.

La confusion au niveau des formations végétales s'explique par l'état de la biomasse à cette période de l'année (Novembre 2006) qui est le début de la saison sèche. De façon générale, la précision cartographique est évaluée à plus de 80 %. Par ailleurs toutes les formations végétales ont un indice de validation cartographique variant entre 56,8 et 98,1 %. La savane arborée arbustive présente l'indice le plus élevé (98,1 %) tandis que la forêt dense a un indice de validation cartographique plus faible (56,8 %). Aussi des erreurs d'omission ont-elles été plus élevées au niveau des forêts denses (43,2 %) tandis que les commissions ont été beaucoup élevées avec les forêts galeries (35,5 %) (**Tableau 4**).

Tableau 4 : *Erreur d'omission et de commission de la classification de NigeriaSat-1 2006*

Classes	Erreur d'omission (%)	Erreur de commission ou de confusion (%)
Cja	5,3	14,2
Fd	43,2	15,5
Fcsb	17,6	22
Saa	1,9	8,2
Fg	30,7	35,5

Cja : Champs et Jachères ; Fd : Forêt dense ; Fcsb : Forêt claire et Savane boisée ; Saa : Savane arborée arbustive ; Fg : Forêt galerie.

Le niveau de fiabilité a été amélioré par les travaux de terrain au cours desquels trente points GPS de confirmation ont été pris au niveau de chaque type de formation végétale, pour atténuer les confusions observées.

III - RÉSULTATS

Les potentialités des images satellitaires Nigeriasat-1 ont été ressorties à travers une analyse de la cartographie de la végétation et celle des types de formation végétale du centre Bénin.

III-1. Analyse cartographique de la végétation au Centre du Bénin

Une série de 9 cartes (feuilles de 30' de côté) de la végétation ont été produites pour couvrir la zone d'étude. Les feuilles au 1/100000 sont découpées en

adoptant le système de découpage de la Carte Internationale du Monde (CIM) qui part de la feuille du millionième. Le secteur d'étude étant couvert par quatre feuilles au 1/200000 à savoir la feuille de Zagnanado, la feuille de Savè (Savè Nord Est, Savè Nord Ouest, Savè Sud Ouest, Savè Sud Est), la feuille de Sokodé et la feuille d'Abomey, seize feuilles au 1/100000 peuvent être produites. Mais compte tenu du fait que les feuilles de Sokodé et d'Abomey sont à cheval sur le Bénin et le Togo, seulement deux feuilles au 1/100000 sur la feuille de Sokodé (Sokodé Nord Est et Sokodé Sud Est) et une seule sur celle d'Abomey (Abomey Nord Est), sont prises en compte. Sur la feuille de Zagnanado, seulement deux feuilles (Zagnanado Nord Ouest et Zagnanado Nord Est), au 1/100000 se retrouvent dans le secteur d'étude (*Figure 4*).

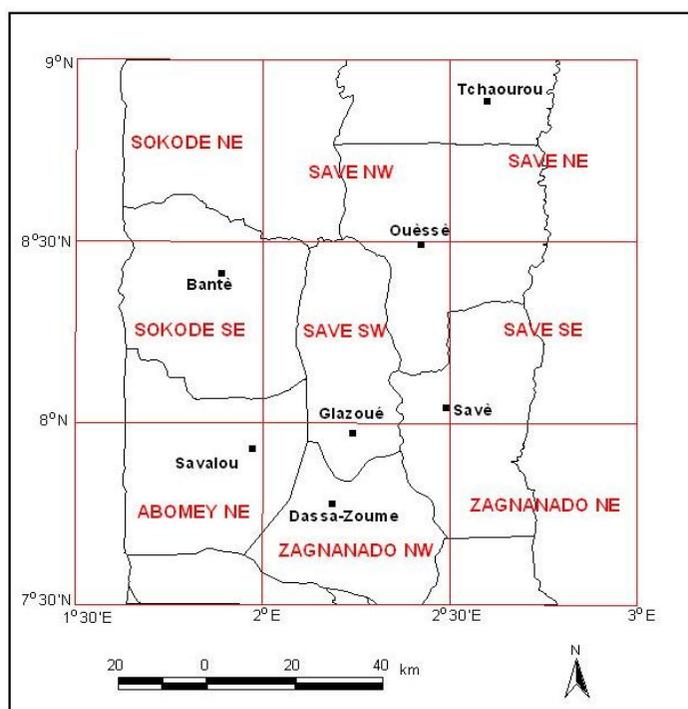


Figure 4 : *Quadrillage de la zone d'étude par des feuilles de cartes de végétation au 1/100000 au Centre du Bénin*

L'analyse globale de la végétation est issue de la mosaïque des feuilles au 1/100000 telle que présentée sur la *Figure 5*.

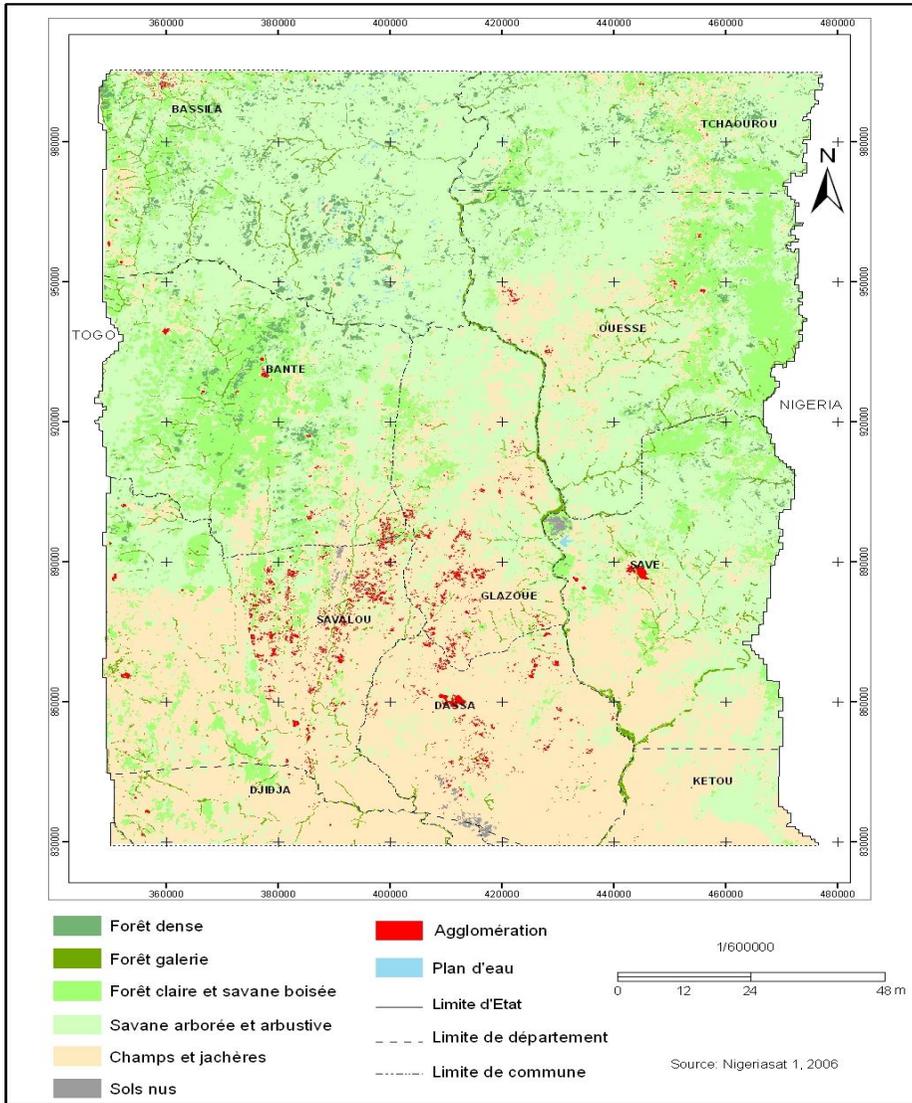


Figure 5 : Carte de la végétation du Centre Bénin

Cinq grandes formations végétales se dégagent à partir de l’exploitation de l’imagerie NigeriaSat-1 au Centre du Bénin. Il s’agit de la forêt dense occupant une superficie totale de 45579 Ha, de la forêt claire et savane boisée s’étendant sur une superficie de 271851 Ha, de la savane arborée et arbustive avec une superficie de 672184 Ha, des forêts galeries avec 43916 Ha et des champs et jachères occupant largement l’espace avec une superficie de 953516 Ha (*Tableau 5*).

Tableau 5 : Formations végétales du centre Bénin et superficie estimée de l'imagerie NigeriaSat-1

Feuilles	Cja	Fd	Fcsb	Saa	Fg
Abomey NE	173589	118	22028	17031	5803
Savè NE	60039	5847	50952	38674	1895
Savè NO	124534	14557	13778	144039	4203
Savè SE	32363	3158	37340	59711	4355
Savè SO	115752	1471	24033	149423	6844
Sokodé NE	82428	13279	32027	85804	7843
Sokodé SE	28861	7017	80496	105768	4210
Zagnanado NE	73432	71	5255	51918	2532
Zagnanado NO	262518	61	5942	19816	6231
Total	953516	45579	271851	672184	43916

Cja : Champs et Jachères ; *Fd* : Forêt dense ; *Fcsb* : Forêt claire et Savane boisée ; *Saa* : Savane arborée arbustive ; *Fg* : Forêt galerie

Les conditions écologiques du Centre Bénin ont entraîné la présence d'une gamme variée de formations végétales allant des formations denses aux mosaïques de cultures et de jachères. Le paysage est fortement dominé par les champs et jachères, suivis de la savane arborée et arbustive (à plus de 50 %), et de la forêt claire et savane boisée (*Figure 6*).

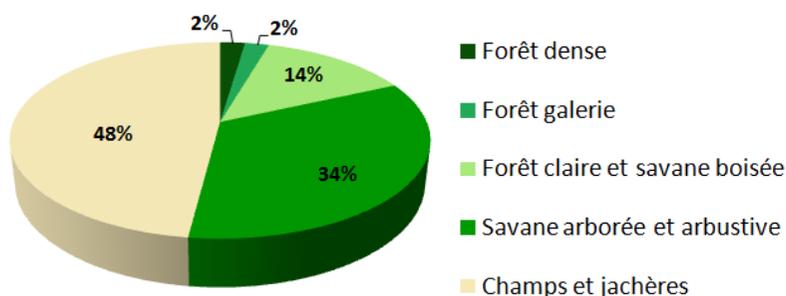


Figure 6 : Importance des formations végétales dans le Centre Bénin
Source : Image NigeriaSat-1 2006 et travaux de terrain, 2009

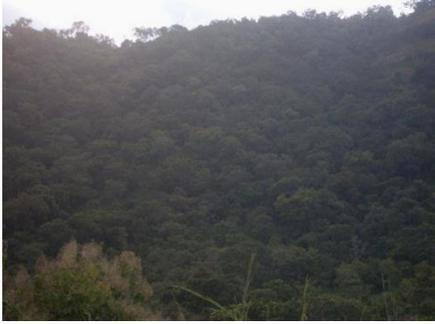
III-2. Analyse des types de formation végétale du centre Bénin

La diversité floristique du centre Bénin provient de la combinaison des facteurs naturels et anthropiques. Le paysage végétal est le reflet du climat de transition soudano-guinéenne expliquant la présence des savanes arborées et arbustives,

des forêts claires et savanes boisées et de quelques îlots de forêts denses. A ces dernières s'ajoutent les formations anthropiques (champs, jachères, plantations, etc.) (*Figure 7*). La *Figure 7* montre quelques formations végétales dans le Centre du Bénin. Certaines de ces formations sont de plus en plus ouvertes sous l'effet des activités humaines, notamment l'agriculture, l'abattage des arbres pour le bois de chauffe ou pour la production du charbon de bois. Il s'agit surtout de la forêt dense et de la forêt galerie. La forêt dense est caractéristique des aires protégées et des forêts sacrées. Elle se retrouve sous forme de forêts reliques, éparpillées en îlots çà et là à travers le secteur d'étude. Elle présente un degré de couverture du sol généralement supérieure à 50 % [35]. Au centre du Bénin, la forêt dense est dominante sur la feuille de Savè Nord-Ouest avec une superficie de 14557 Ha et sur la feuille de Sokode Nord Est occupant 13279 ha, mais sous forme fragmentée dans les forêts classées des Mont Kouffe et de Wari Maro [36].

En effet ces formations denses sont de plus en plus dégradées et éclaircies à cause d'intenses activités de production de charbon de bois et de l'exploitation forestière à outrance. La forêt galerie est l'ensemble des formations forestières présentes le long des cours d'eau comme l'Ouémé, le Zou, l'Okpara et le Couffo, de même que leurs affluents. La galerie forestière, malgré l'importance du réseau hydrographique occupe une faible proportion spatiale. Les galeries forestières de la zone d'étude présentent l'aspect de forêts ombrophiles. Tout comme les îlots de formations denses, les galeries forestières subissent une dégradation par endroits suite aux activités humaines. Elles sont dominantes sur la feuille de Sokode Nord-Ouest et sur la feuille de Savè Sud-Ouest. La forêt claire et savane boisée sont parmi les formations les plus importantes de la zone d'étude. Elles présentent un degré de couverture entre 30 et 50 % et se retrouvent plus à l'Est, au Nord de Savè, à l'Ouest de Ouèssè, dans la Commune de Bantè, et de Bassila. Aussi, elles se retrouvent en îlots dans la Commune de Dassa et de Savalou et au nord de la commune de Kétou [28].

Dans l'ensemble, elles sont plus dominantes sur la feuille de Sokode Sud Est. La savane arborée et arbustive est la plus étendue dans le Centre Bénin après les champs et jachères avec une proportion d'environ 34 %. Elle domine les Communes de Savalou, Savè, Bantè, Ouèssè, Tchaourou et Bassila et est plus étendue sur les feuilles de végétation de Savè Sud-Ouest, Nord-Ouest et Sokode Sud Est. Les champs et jachères constituent la première formation du Centre Bénin d'après l'exploitation de l'imagerie satellitale NigeriaSat-1 de 2006 et confirmée en 2009, occupant une proportion de près de 48 %. Elles sont composées des champs cultivés et des espaces laissés en jachère depuis un certain nombre d'années. Les feuilles de végétation les plus dominées par les champs et jachères sont celles de Zagnanado Nord-Ouest et d'Abomey Nord Est.



Ilot de Forêt dense à Hildegardia barteri, Ficus spp. et Anogeissus leiocarpa sur la Colline de Savalou



Forêt galerie à Pterocarpus santalinoides et à Lonchocarpus sericeus sur le cours du fleuve Zou



Forêt claire à Vitellaria paradoxa et à Daniella oliveri entre Oke Owo et Igbéré



Savane arborée et arbustive à Daniella oliveri parcouru par des feux de saison sèche vers Igbéré



Champ de Manihot esculenta avec en arrière plan une plantation ouverte de Elaeis guineensis



Jeune plantation d'Anacardium occidentale avec en sous bois de jeune plants de Manihot esculenta

Figure 7 : *Photos montrant des formations végétales du Centre Bénin (prise de vue, Octobre 2009)*

IV - DISCUSSION

La cartographie de la végétation aux moyens des images DMC précisément de l'imagerie NigeriaSat-1 est similaire à celle réalisée dans le cadre de l'Inventaire Forestier National (IFN) au Bénin [28]. Toutefois, dans le cadre de cette étude, les cartes ont été produites au 100000 alors que l'IFN avait produit des cartes au 200000ème utilisant des images Landsat ETM⁺. Sur le plan technique, la présente étude a procédé à l'évaluation de la précision de la cartographie en faisant usage de l'Indice de Pureté des Classes et de l'Indice de Validation Cartographique et en se basant sur les pixels et sur les vérifications terrains, ce qui contraste avec [37] qui se sont concentrés sur le terrain en choisissant 109 points aléatoires sur la carte et vérifiés sur le terrain avec une précision de 65 % contre un indice de validation cartographique de plus de 80 % obtenu dans le cadre de la présente étude. Toutefois, dans le but d'éviter les confusions et commissions observées, il importe d'explorer davantage l'utilisation des images satellitaires de résolution spatiale plus améliorée à l'exemple de NigeriaSat-2 ou NigeriaSat X. Dans ce cas, l'extraction des informations sera basée sur une classification orientée-objet suivie d'un processus de segmentation des images à l'exemple des travaux de [38] au Nord de la Californie.

Cette étude est une amélioration du projet GlobCover. En effet, le projet GlobCover, lancé en 2005 par l'Agence Spatiale Européenne, avait pour objectifs de mettre à jour et de compléter les cartes de végétation globale existantes mais en utilisant l'imagerie ENVISAT MERIS de 300 m de résolution [39]. Cette résolution indique que les cartes de végétation produites seront plus généralisées que celles issues des images DMC à l'exemple de NigeriaSat-1 utilisée dans le cadre de ce travail, bien que le nombre de classes de végétation identifiées (environ 22) soit beaucoup plus élevé en raison de l'envergure spatiale de ce projet. Par ailleurs, le présent travail a cartographié la structure de la végétation à l'exemple de [40]. Toutefois, il a occulté la composition floristique et écologique en terme de répartition ou de distribution d'espèces végétales selon les types d'habitats ou de formation végétales telles que réalisée par [41] dans le nord Kimberley en Australie, [42] dans la zone méditerranéenne, et [43] dans la cartographie des habitats terrestres.

V - CONCLUSION

La présente étude a exploité l'imagerie NigeriaSat-1 pour cartographier la végétation à une échelle moyenne de 1/100000 au Centre du Bénin. Neuf feuilles de végétation ont été produites et constituent des outils de planification

dans les projets de restauration forestière. Bien que cette étude ait fourni des informations sur la répartition et la structure des formations végétales au centre du Bénin, elle aurait ressorti aussi les potentialités des images DMC dans la cartographie de la végétation. Des images NigeriaSat-1 peuvent être utilisées dans la cartographie de l'occupation des terres à une échelle de 1/100000. Toutefois, il faudra une intensification des travaux de terrain pour la validation des résultats de la classification au laboratoire. De même, dans le but de réduire les confusions observées entre les unités de la végétation, des corrections radiométriques plus poussées s'avèrent nécessaires. En plus de cela, l'exploration des images DMC récentes et de résolution plus élevée est aussi importante. Dans ce cas de figure, les classifications objet orientées suivi de la technique de segmentation pourront aider dans la discrimination de la végétation et si possible même des espèces pour une cartographie floristique.

RÉFÉRENCES

- [1] - K. H. LEE, R. S. LUNETTA, "Wetland detection methods." In : Wetland and Environmental Application of GIS. J. G. LYON, J. MCCARTHY Lewis Publishers, New York, (1996) 249 - 284.
- [2] - D. LU, P. MAUSEL, E. BRONDIZIO and E. MORAN, Change detection technique. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 25, No 12, (2004) 2365 - 2407.
- [3] - T. H. PHAM, F. BONN, et J. M. DUBOIS, Démarche méthodologique pour la détection des changements d'un milieu morcellé en utilisant des images à moyenne résolution spatiale : application à une région littorale au Viet-Nam. *Téledétection*, Vol. 7, No 1-2-3-4, (2007) 303 - 323.
- [4] - S. L. OZESMI, M. E. BAUER, Satellite remote sensing of wetland. *Wetl Ecol Manage*, Vol. 10, (2002) 381 - 402.
- [5] - F. BONN, R. ROCHON, Précis de Télédétection. Volume 1 : Principes et méthodes, Presses de l'Université du Québec / AUPELF, (2000) 485.
- [6] - F. BONN, Introduction à la télédétection en écologie et sciences de la terre. Bulletin de Recherche N° 45, Département de géographie, Université de Sherbrooke, Canada, (1979) 57.
- [7] - COMITAS (Commission ministérielle de la terminologie de la télédétection aérospatiale). Glossaire des termes officiels de la télédétection aérospatiale. *Bulletin de la SFPT*, N° 112, (1988) 63.
- [8] - K. R. HARVEY, J. E. HILL, Vegetation mapping of a tropical freshwater swamp in the Northern Territory, Australia : a comparison of aerial photography, Landsat TM and SPOT satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 22, (2001) 2911 - 2925.

- [9] - L. LI, S. L. USTIN, M. LAY, Application of multiple end member spectral mixture analysis (MESMA) to AVIRIS imagery for coastal salt marsh mapping : a case study in China Camp, CA, USA. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 26, (2005) 5193 - 5207.
- [10] - E. BELLUCO, M. CAMUFFO, S. FERRARI, L. MODENESE, S. SILVESTRI, A. MARANI, M. MARANI, Mapping salt-marsh vegetation by multispectral and Hyperspectral remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 105, (2006) 54 - 67.
- [11] - B.W. PENGRA, C. A. JOHNSTON, T. R. LOVELAND, Mapping an invasive plant, *Phragmites australis*, in coastal wetlands using the EO-1 Hyperion hyperspectral sensor. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 108, (2007) 74 - 81.
- [12] - C. PROISY, P. COUTERON, F. FROMARD, Predicting and mapping mangrove biomass from canopy grain analysis using Fourier-based textural ordination of IKONOS images. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 109, (2007) 379 - 392.
- [13] - J. M. KOVACS, J. F. WANG, F. FLORES-VERDUGO, Mapping mangrove leaf area index at the species level using IKONOS and LAI-2000 sensors for the Agua Brava Lagoon, Mexican Pacific. *Estuar Coast Shelf Sci*, Vol. 62, (2005) 377 - 384.
- [14] - P. POTAPOV, S. TURUBANOVA, M. C. HANSEN, B. ADUSEI, M. BROICH, A. ALSTATT, L. MANE, and C. O. JUSTICE, Quantifying forest cover loss in Democratic Republic of the Congo, 2000-2010, with Landsat ETM+ data. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 122, (2012) 106 - 116.
- [15] - E. ADAM, O. MUTANGA, D. RUGEGE, Multispectral and hyperspectral remote sensing for identification and mapping of wetland vegetation : a review, *Wetlands Ecol Manage*, Vol. 18, (2010) 281 - 296.
- [16] - S. FRANKLIN, Remote Sensing for Sustainable Forest Management. *Nature*, Lewis Publishers, New York, USA, (2001) 407 p.
- [17] - X. CHEN, Using remote sensing and GIS to analyze land cover change and its impacts on regional sustainable development. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 23, (2002) 107 - 124.
- [18] - X. ZHAN, R. A. SOHLBERG, J. R. G. TOWNSHEND, C. DIMICELI, M. L. CARROLL, J. C. EASTMAN, Detection of land cover changes using MODIS 250 m data. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 83, (2002) 336 - 350.
- [19] - R. A. SCHOWENGERDT, Spectral Transforms in : Remote Sensing : Models and Methods for Image Processing. London : Academic Press, (1997) 522 p.
- [20] - V. M. FAYE, C. MBOW et A. THIAM, Évolution de l'occupation et de l'utilisation du sol entre 1973 et 2010 dans la zone agropastorale du lac

- de Guiers (Sénégal) », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Vol. 16, (No 1) (2016) 1 - 18.
- [21] - G. O. ENARUVBE, and O. IGE-OLUMIDE, Geospatial analysis of land-use change processes in a densely populated coastal city : the case of Port Harcourt, south-east Nigeria, *Geocarto International*, Vol. 30, (No 4) (2014) 441 - 456.
- [22] - D. YUAN et C. ELVIDGE, NALC Land Cover Change Detection Pilot Study: Washington D.C Area Experiments. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 66, (1998) 166-178.
- [23] - J. OLOUKOÏ *Utilité de la télédétection et des systèmes d'information géographique dans l'étude de la dynamique spatiale de l'occupation des terres au centre du Bénin*. Thèse Unique de doctorat, EDP/FLASH/UAC, Abomey-Calavi, Bénin, (2012) 304 p.
- [24] - A. T. SALAMI, Vegetation mapping of a part of dry tropical rainforest of Southern Nigeria from Landsat TM, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 33, Part B7, (2000) 1301 - 1308.
- [25] - J. OLOUKOI, Scénario socio-économique et écologique des changements de l'occupation des terres au Bénin » *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Vol. 3, No 1, (2013) 1 - 22.
- [26] - J. OLOUKOI, V. J. MAMA, et F. B. AGBO, Modélisation de la dynamique de l'occupation des terres dans le Département des Collines au Bénin. *Télédétection*, Vol. 6, (No 4) (2007) 305 - 323.
- [27] - F. SEPULCHRE, J. ADANMAYI, M. BRASSEUR, H. FORSTER, Système de Suivi & Évaluation des ressources forestières au niveau national. Exécution d'un Inventaire Forestier National (IFN). Projet Bois de Feu, phase II, Cotonou, Bénin, (2007) 35 p.
- [28] - V. OREKAN, Traitement et analyse des données LANDSAT 7. Elaboration de la carte forestière, Exécution d'un Inventaire Forestier National (IFN). Projet Bois de Feu, phase II, Cotonou, Bénin, (2007) 61 p.
- [29] - P. M. VITOUSEK, Beyond global warming: ecology and global change. *Ecology*, Vol. 75, (No 7) (1994) 1861 - 1876.
- [30] - E.Y. OGUNBADEWA, A comparative assessment of UK-DMC and Landsat-7 ETM1 satellite data. *Sensor Review*, Vol. 33, (No 2) (2013) 166 - 173.
- [31] - A. SHALABY, R. TATEISHI, Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land cover and land-use changes in the Northwestern coastal zone of Egypt. *Applied Geography*, Vol. 27, (No 1) (2007) 28 - 41.
- [32] - Q. WU, H. LI, R. WANG, J. PAULUSSEN, Y. HEC, M. WANG, B. WANG, & Z. WANG, Monitoring and predicting land use change in Beijing using remote sensing and GIS. *Landscape and Urban Planning*, Vol. 78, (No 4) (2006) 322 - 333.
- [33] - F. YUAN, K. E. SAWAYA, B. C. LOEFFELHOLZ, & M. E. BAUER, Land cover classification and change analysis of the twin cities

- (Minnesota) metropolitan area by multitemporal landsat remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 98, (N° 2-3) (2005) 317 - 328.
- [34] - R. CONGALTON, A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 37, (1991) 35 - 46.
- [35] - C. S. A. YANGAMBI, Specialist Meeting on Phytogeography / Réunion de spécialistes du C.S.A. en matière de phytogéographie. Scientific Council for Africa South of the Sahara, YANGAMBI, 28th July - 8th August 1956, Publication N°22, C.C.T.A, (1956) 35 p.
- [36] - I. TOKO MOUHAMADOU, F. TOURE, I. TOKO IMOROU, B. SINSIN, Indices de structures spatiales des îlots de forêts denses dans la région des Monts Kouffé. *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Vol. 12 (No 3), DOI : 10.4000/vertigo.13059, (2012).
- [37] - S. D. JELASKA, V. KUAN, H. PETERNEL, Z. GRGURI, A. MIHULJA, Z. MAJOR, Vegetation mapping of Zumberak - Samoborsko gorje Nature Park, Croatia, using Landsat 7 and field data. *Acta Bot. Croat.* Vol. 64, (No 2) (2005) 303 - 311.
- [38] - Q. YU, P. GONG, N. CLINTON, G. BIGING, M. KELLY, and D. SCHIROKAUER, Object-based Detailed Vegetation Classification with Airborne High Spatial Resolution Remote Sensing Imagery, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 72, (No. 7) (2006) 799 - 811.
- [39] - O. ARINO, F. PALAZZO, and F. RANERA, The globcover project, *Terrestrial Observations of our Planets*, (2006) 34 - 35.
- [40] - G. DANIEL, & L. MUCINA, "A Vegetation-Structural Map of the Northern Kimberley Region to Inform Fire Management Planning". In : *Vegetation Mapping in the Northern Kimberley*, L. MUCINA, & G. DANIEL, Western Australia, Curtin University, Perth, WA., (2013) 10 - 25.
- [41] - L. MUCINA, G. DANIEL, G. STEPHENSON, I. BOONZAAIER, A. VAN NIEKERK, M. BARRETT, R. BARRETT, L. TICHÝ, & M. VALACHOVIČ, "Floristic-Ecological Mapping in the Northern Kimberley : Field Survey Methods and Mapping Protocols." In : *Vegetation Mapping in the Northern Kimberley*, Western Australia. L. MUCINA, & G. DANIEL, Curtin University, Perth, WA, (2013) 26 - 87.
- [42] - J. H. J. SCHAMINÉE, M. CHYTRY, S. M. HENNEKENS, J. A. M. JANSSEN, B. JIMENEZ-ALFARO, I. KNOLLOVA, L. MUCINA, J. S. RODWELL, L. TICHY, Vegetation analysis and distribution maps for EUNIS habitats - Task 1 & 2, Report EEA/NSV/14/006, (2015) 93 p.
- [43] - J. ICHTER, D. EVANS, & D. RICHARD, *Terrestrial habitat mapping in Europe : an overview*. Luxembourg : Publications Office of the European Union, (2014).