

Cartographie aéroportée de l'espace universitaire de l'UJLoG par la méthode de classification dirigée orientée objet et réalisation du parcellaire des infrastructures d'enseignement

AKOGUHI N'guessan Patrice^(1,5), ADJA Miessan Germain², AKPETOU Kouamé Lazare⁵, MAMADOU Diarra³ et KOUAME Koffi Fernand^(1,4)

¹(Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (CURAT), Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan-Cocody COTED'IVOIRE)

²(Ecole Normale Supérieure (ENS) Abidjan-Cocody COTED'IVOIRE)

³(Unité de Formation et de Recherche (UFR) Mathématiques et Informatique, Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan-Cocody COTE D'IVOIRE)

⁴(Université Virtuelle de Côte d'Ivoire (UVCI) Abidjan-Cocody)

⁵(Unité de Formation et de Recherche (UFR) Environnement, Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa COTE D'IVOIRE)

ABSTRACT: This work consisted in the creation of an application of Remotely Sensed mapping of the infrastructures of the Jean Lorougnon Guédé (UJLoG) university area, located Mid-West of Côte d'Ivoire. It aims to improving the logistical management of the use of the teaching infrastructures. To do that, the infrastructure parcels by vectorization of the occupation map of the UJLoG university space coupled with the digital file of the UJLoG was established. Thus, an object oriented directed classification with the nearest neighborhood algorithm was performed from a GeoEye-1 image (resolution of 1.84 meters at Nadir). The classification was performed with an overall accuracy of 92.76% likelihood. The resulting UJLOG land cover map showed 23 features clustered into six classes: "built-up", "uncontrolled vegetation", "developed space", "road", "runway" and "bare ground". The occupation map also revealed that UJLOG University is built around a group of low-density buildings with large unused spaces as the extension zones of the UJLoG University. This work of remotely sensed mapping of the teaching infrastructures is a tool for computer modeling in data base creation projects.

Keywords: Remote sensing, vectorization, object oriented directed classification, UJLoG, Côte d'Ivoire.

Date of Submission: 20-08-2020

Date of Acceptance: 05-09-2020

I. INTRODUCTION

L'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa (UJLoG) est une jeune Université ivoirienne créée en 2012 par décret n°2012-986 du 10 Octobre 2012[1]. Elle répond au besoin de diversifier les structures d'enseignement supérieur pour contenir les apprenants dont les effectifs ne cessent d'accroître au fil des ans. De même, elle s'inscrit dans la perspective de créer des Universités dotée de vocation spécifique. C'est ainsi qu'elle se veut une université à vocation d'agroforesterie. Pour arriver à satisfaire les attentes d'une telle vocation, il s'avère nécessaire et impérieux pour l'UJLoG de d'évoluer avec les technologies numériques et les placer au centre de sa gouvernance. Pour ce faire, plusieurs défis sont à relever, à savoir :

- la maîtrise de l'organisation spatiale statique et/ou dynamique de l'université par cartographie ;
- l'intégration de l'organisation spatiale dans la gestion de l'institution au quotidien et à court, moyen et long terme en recourant à des modèles numériques ;

En effet, pour connaître et maîtriser cette organisation spatiale sur l'ensemble des 400 hectares que couvre son territoire [1], il est nécessaire de cartographier et de caractériser les modes d'occupation du sol [2]. Dans cette optique, l'on se tourne vers la télédétection qui joue un rôle majeur dans l'étude, la modélisation et le suivi des phénomènes urbains et environnementaux, à des échelles spatiales et temporelles variables, et sur une base objective, exhaustive et permanente [3]. Aussi, l'arrivée des capteurs à très haute résolution spatiale (THRS), comme Ikonos, QuickBird ou GéoEye-1 etc., ouvre de nouvelles applications en télédétection, celle de d'évaluer la structure et l'utilisation de l'espace urbain au détail (à l'échelle de la parcelle ou du lot) et aussi de favoriser la mise à jour des bases de données spatiales [4-6].

Avec la THRS, est alors apparue une autre forme d'extraction de l'information dénommée la classification orientée objet [7, 8]. Cette approche bouleverse les techniques traditionnelles de traitement. Dans ce cas, l'unité de base (pixel) est l'objet qui est un ensemble de pixels et non le pixel isolé comme le concevait la théorie traditionnelle de classification. Cette étude permet d'utiliser et de valider l'application de la classification orientée objet pour la cartographie de l'espace universitaire, surtout du bâti destiné aux enseignements et indispensable pour la gestion des effectifs d'étudiants de plus en plus croissant. C'est dans ce contexte que s'inscrit le présent travail dont la finalité est d'améliorer la gestion de l'usage des infrastructures d'enseignement à l'UJLoG par la caractérisation de l'état de surface de l'espace universitaire à partir de l'imagerie satellitaire THRS et de la discrimination quantitative et qualitative des bâtis. De manière spécifique, il s'agira de cartographier l'espace universitaire pour établir le patrimoine global de l'UJLoG et en ressortir, enfin, les infrastructures de cours à partir de la réalisation du parcellaire desdites infrastructures.

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

L'Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG) est une institution de formation supérieure du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique (MESRS) de Côte d'Ivoire. Elle est située dans la ville de Daloa (Fig.1), chef-lieu de la région du Haut Sassandra (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). Construite sur une superficie de 400 hectares dont 90 exploités [9], elle est localisée au Nord-Est de la ville. Cette institution universitaire se situe entre les longitudes 6°26.186' et 6°26.604' Ouest et 6°54.323' et 6°54.844' Nord.

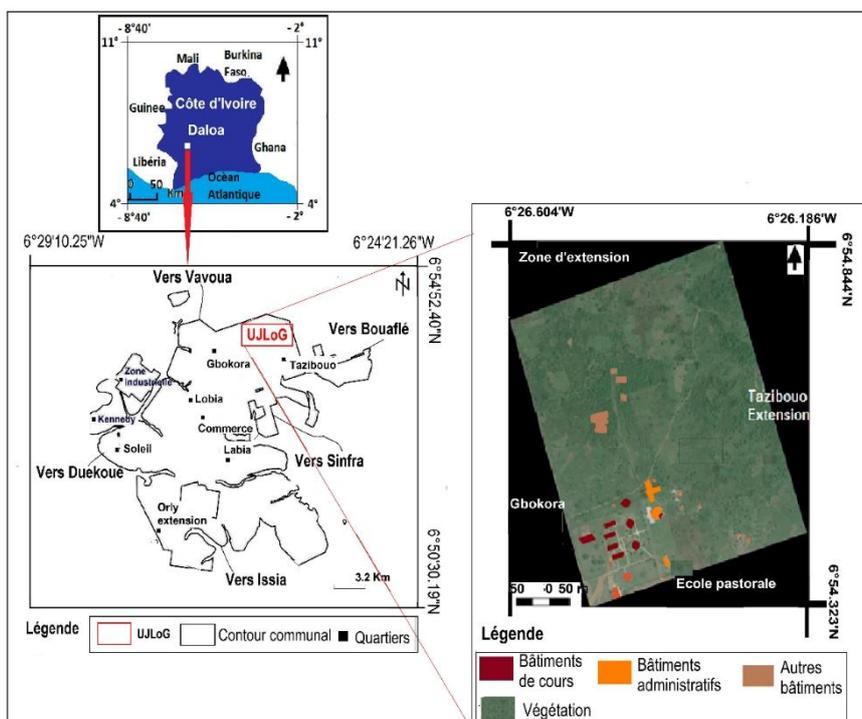


Fig.1 : Localisation de la zone d'étude

Elle est limitée au Nord par une zone d'extension constituée de végétation, au sud par l'Ecole Pastorale de Daloa, à l'Est par le quartier "Tazibouo extension" et à l'Ouest par le quartier "Gbokora. Cette jeune Université compte en 2020 Cinq (5) Unités de Formation et de Recherche (UFR Agroforesterie, Environnement, Sciences Juridiques et Politiques, Sciences Sociales et Humaines et une (1) Ecoles de Formation Continue(EFC). L'Université a en 2020 un effectif d'apprenants estimé à environ 6000 étudiants [1].

II. MATERIEL ET MÉTHODES

2.1. Matériel

2.1.1. Données

Les données utilisées se regroupent en données cartographiques et image satellitaire.

Les données cartographiques se composent de :

- une carte topographique à l'échelle 1/25000 couvrant la commune de Daloa, éditée en 1998 par le Bureau National d'Etudes Techniques et de Développement - Centre de Cartographie et de Télédétection (BNETD-CCT)-Côte d'Ivoire ;
 - une carte topographique à l'échelle 1/1000 éditée en 2015 par l'Institut National de la Statistique (INS) ;
- Les données satellitaires se composent de deux images, à savoir :
- une image QuickBird datant du 17 octobre 2018. Ce satellite collecte des images multispectrales à 2, 4 m de résolution et des images panchromatiques à 0,61 m de résolution ;
 - une image GeoEye-1 du 24 Juin 2014 et de résolutions au NADIR : bandes multispectrales = 1,65 m et bande panchromatique = 0,46. Ces deux satellites fournissent des images à "Très Haute Résolution Spatiale (THRS)".

2.1.2. Matériel de terrain

Le matériel utilisé lors des travaux de terrain se compose de :

- un appareil photographique de marque Nikon D3100 pour les prises de vue d'éléments d'intérêt sur le terrain ;
- un récepteur GPS (Global Positioning System) de marque GARMIN (Map 64 ST CAN) utilisé pour relever les coordonnées d'éléments d'intérêt sur le terrain.

2.1.3. Matériel de traitement de données

Le matériel de traitement de données se résume à l'outil informatique formé d'un micro-ordinateur de marque Toshiba (Intel Core i5 avec une mémoire RAM de 8 GB et 500 GB de mémoire de stockage). Ce micro-ordinateur est équipé des logiciels ci-dessous :

- ENVI 5.3, pour produire la carte de l'occupation du sol ;
- Google Earth Professionnel pour la correction de l'image satellitaire GeoEye-1 classifiée.

2.2. Méthodologie

La méthodologie générale adoptée dans ce travail est structurée en deux phases. Elle a consisté dans un premier temps à réaliser la carte de l'occupation du sol de l'Université et dans une seconde phase à établir le parcellaire des infrastructures d'enseignement.

2.2.1. Réalisation de la carte d'occupation de l'espace de l'Université

La carte d'occupation de l'espace universitaire de l'UJLoG est obtenue par la classification de l'image satellitaire à "Très Haute Résolution Spatiale (THRS)" GeoEye-1. La méthode de classification utilisée est "la classification dirigée orientée objet". C'est une procédure utilisée pour regrouper des zones "spectralement similaires" d'une image. Elle ne traite donc pas le pixel de manière isolée mais des groupes de pixels (appelés objets) dans leur contexte et à différentes échelles de perceptions du paysage. Cela augmente considérablement les capacités d'extraction de l'information et permet à l'interprète de se baser non seulement sur les valeurs spectrales mais aussi sur des paramètres morphologiques (taille, forme, voisinage des objets) de l'image. Ainsi, la qualité de l'information extraite des images à très haute résolution spatiale s'en trouve considérablement améliorée [10-17]. Cette approche de classification se base sur une bonne connaissance de la zone étudiée. Dans la pratique, la classification dirigée orientée objet se réalise en trois grandes étapes [16], à savoir : segmentation de l'image, fusion et création des formes des objets et enfin choix des attributs, l'algorithme et extraction de l'objet.

❖ Segmentation de l'image

Elle consiste à analyser et découper l'image en zones uniformes appelées « objet homogènes ». Ces objets identifiés à des segments, doivent avoir les mêmes caractéristiques ou attributs. Pour obtenir des segments adaptés à la taille des objets à extraire de l'image, il faut :

- ajuster l'échelle de la segmentation de sorte qu'elle influence indirectement la taille moyenne de l'objet, car, plus l'échelle est grande, plus la taille des objets est importante ;
- définir les critères d'homogénéité que sont : la couleur, la forme et la compacité des objets.

❖ Fusion et création des formes des objets

Au cours de cette phase, les pixels sont progressivement fusionnés à leurs voisins pour créer des objets de plus en plus grands en jouant sur l'échelle de formes des objets. La définition des objets consiste en la recherche des propriétés spectrales, spatiales (dimension, forme) et contextuelles (relation spatiale entre les régions) des pixels. A la fin de la fusion, les segments sont fusionnés pour reconstituer les formes géographiques observées sur le terrain.

❖ **Choix des attributs-de l'algorithme et extraction des objets**

Pour une meilleure discrimination (extraction) des objets sur les images, tous les attributs (spatial, spectral et textural) sont choisis par sélection automatique dans le logiciel de travail (fig. 2).

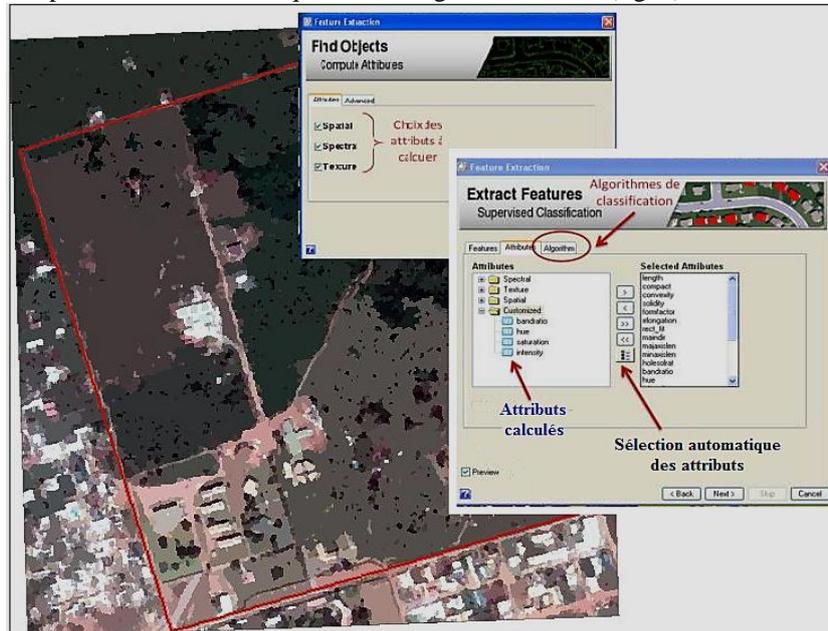


Fig.2: Procédure d'extraction des objets

A la suite des attributs, l'algorithme du plus proche voisin (nearestneighbor classifier) est choisi, car utilisé dans divers domaines en l'occurrence celui de la reconnaissance des formes. [16]. Cet algorithme s'appuie sur la distance euclidienne simple [16-18]. A partir des zones d'échantillonnage, les moyennes (centre de gravité) de chaque classe sont calculées. Ainsi, un pixel anonyme « a » est affecté à la classe la plus proche, c'est-à-dire la plus proche de son centre de gravité. La distance entre le centre de gravité de ce pixel et la classe à laquelle il est susceptible d'appartenir se calcule selon la relation [16] de l'équation 1 :

$$d = \sqrt{\sum_f \left(\frac{v_f^{(s)} - v_f^{(o)}}{\sigma_f} \right)^2} \quad (1)$$

Avec :

d : Distance entre l'objet échantillon "s" et l'objet à classer "o";

$v_f^{(s)}$: Valeur de l'objet échantillon pour la caractéristique "f";

$v_f^{(o)}$: Valeur de l'objet à classer pour la caractéristique "f";

σ_f : Ecart type des valeurs de la caractéristique "f".

Après la classification, sa validité est assujettie à son évaluation par l'interprétation visuelle de l'image classifiée et sa matrice de confusion. La validation de la classification par l'interprétation visuelle s'est basée sur l'analyse des formes des objets, de leurs tailles et leur disposition mutuelle dans l'image. La comparaison de la position des objets discriminés avec leur localisation réelle sur le terrain, permet de relever les différences et les ressemblances sur l'image classifiée. A côté de cette interprétation visuelle, la validation de la classification par la matrice de confusion s'est orientée sur des indices statistiques. En effet, la matrice de confusion est un tableau à double entrée où les classes d'occupation des sols se trouvent en ligne et les données du contrôle-terrain en colonne [19]. Les unités d'occupation du sol bien identifiées se trouvent sur la diagonale. De part et d'autre de cette diagonale, se trouvent les pixels mal classés formant ainsi les erreurs d'omission et de confusion [20]. Pour ce faire, deux indices sont utilisés : la précision globale (PG) représentant la proportion des pixels bien classés et l'indice Kappa (K) [21], [22]. Ces indices s'obtiennent par les relations des équations 2, 3 et 4.

$$K = \frac{PG - PP}{1 - PP} \quad (2)$$

$$PG = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{Nc} X_{ii} \quad (3)$$

$$PP = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^{Nc} (X_{+i} \cdot X_{i+}) \quad (4)$$

Avec :

K : indice Kappa

PG : précision globale

PP : Précision Prévue

N : Nombre total d'observations

Nc : Nombre de classes

X_{ii} : Nombre d'observations dans la colonne i, ligne i se trouvant sur la diagonale de la matrice de confusion

X_{+i} : Total des observations dans la colonne

X_{i+} : Total des observations dans la ligne

2.2.2. Réalisation du Parcellaire des infrastructures d'enseignement

La procédure de réalisation du parcellaire des infrastructures d'enseignement se déroule en trois phases. La première phase consiste à convertir l'image classifiée de l'UJLoG de format raster en fichier vecteur pour être supporté par les logiciels de Système d'Information Géographique (SIG). Après cette conversion, un masque est appliqué au fichier vecteur obtenu pour ne retenir que les bâtis de l'Université. Au cours de la deuxième phase, le fichier des bâtis est exporté dans l'environnement du logiciel Google Earth Professionnel pour être superposé à un fond d'image de Google Earth Professionnel de l'Université. Cette superposition permet alors de corriger les possibles distorsions dues aux confusions de la classification. A la dernière phase les corrections et mise à jour sont enregistrées. Le fichier vecteur est exporté au format « .Kml » dans l'environnement du logiciel Qgis pour réaliser le parcellaire des infrastructures d'enseignement et proposer un code à chaque salles de cours. L'organigramme de la figure 3 fait le résumé de toute la méthodologie de ce travail.

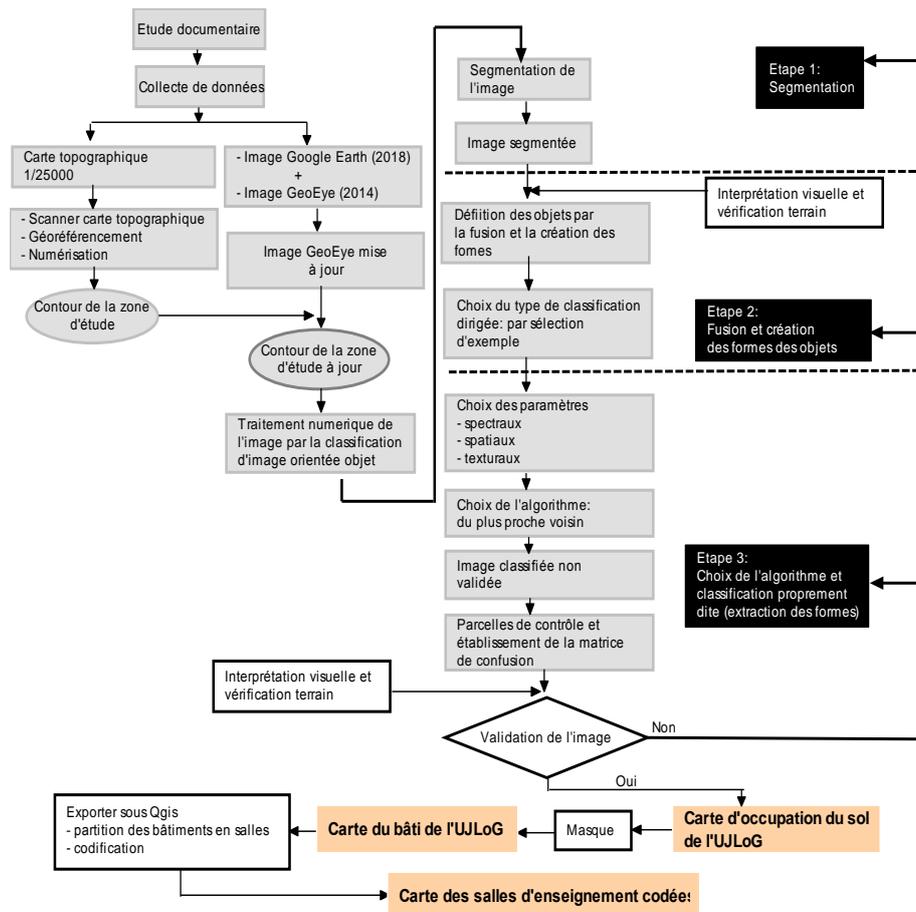


Fig.3 : Organigramme résumant la méthodologie de conception de la carte d'occupation de l'espace universitaire et parcellaire des infrastructures d'enseignement de l'UJLoG

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Occupation de l'espace de l'UJLoG

3.1.1. Classe d'occupation du sol

Les travaux de terrain effectués au cours de deux campagnes couplés à la classification de la portion d'image GeoEye-1 couvrant l'UJLoG, ont permis d'identifier sur toute la surface de l'université vingt-deux unités d'occupation du sol regroupées en deux grands ensembles. Le premier est caractérisé par le bâti, peu dense, destiné aux activités d'enseignements, de recherches, d'administration et autres activités liées aux différents travaux liés à l'université. Dans cet ensemble, l'on retrouve les unités d'occupation du sol suivantes : "Présidence", "bâtiments CROU", "bâtiments de cours", "bureaux des enseignants", "bâtiments en construction", "réfectoire en construction", "réfectoire des étudiants", "réfectoire des enseignants", "sols nus", la bibliothèque, "château d'eau", "centre de santé", "poste de garde", "bureaux en construction", "toilettes des étudiants", "ferme école" et "limite de l'UJLoG". Le second ensemble est constitué de classes thématiques hétérogènes localisées sur l'ensemble de l'espace de l'UJLoG. Cet ensemble laisse apparaître les classes "végétation spontanée", "arbres", "pelouse", "jardin", "pistes", "voirie", "piste", "sols nus". Toutes ces entités sont bien mises en évidence sur la carte résultant de l'opération de classification dirigée orientée objet (fig.4). Une exploration visuelle de la classification fait ressortir une bonne discrimination de l'ensemble des objets.

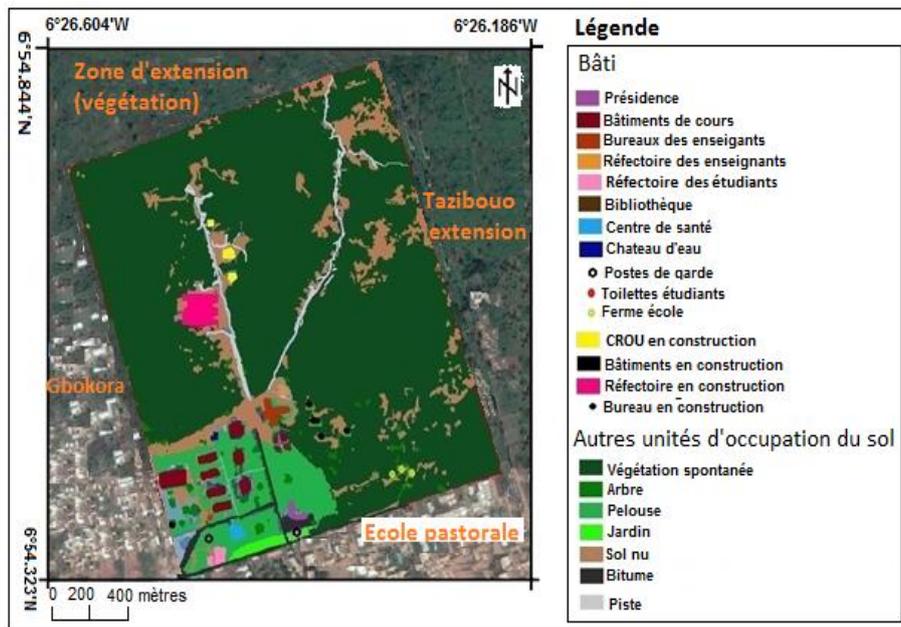


Fig.4 : Carte d'occupation du sol de l'espace de l'UJLoG

L'analyse des signatures spectrale et texturale de ces objets a permis de les regrouper en six classes d'occupation du sol de l'espace de l'UJLoG (fig.5). Ce sont les classes : "bâti", "route", "piste", "sol nu", "végétation aménagée (EA)" matérialisée par la pelouse, les arbres fruitiers et ceux servant à l'embellissement du campus universitaire. La dernière classe d'occupation du sol retenue est la "végétation non contrôlée (VNC)". Le choix de ces six (6) types d'occupation du sol est en rapport avec la complexité du terrain et la prédominance de ces unités d'occupation du sol présentes dans le paysage de l'UJLoG. Les six classes d'occupation des sols retenues ont permis d'obtenir l'image classifiée de la figure 5

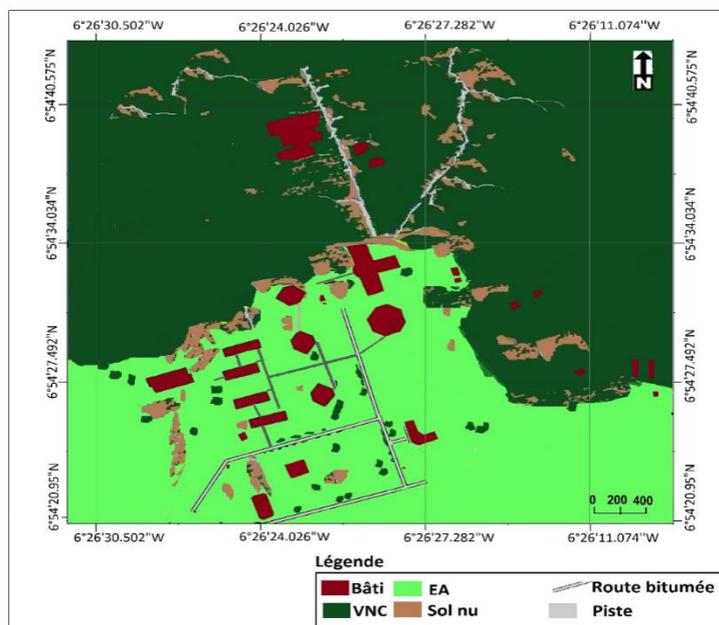


Fig. 5 : Carte d'occupation du sol résumé de l'espace de l'UJLoG

La classe "bâti" est constituée de constructions aux formes régulières, couvertes de tôles et de dalles de couleurs variables (fig.6). Elle est formée de bâtiments en cours de construction et de bâtiments totalement achevés et fonctionnels.



Fig.6 : Quelques unités cartographiques de l'UJLoG

La classe "bâti" donne une bonne discrimination car les contours des bâtiments sont plus réguliers. En effet, l'individualisation des bâtis rend plus facile leur dénombrement grâce à la baisse de la confusion avec les autres classes.

La végétation est matérialisée par deux formes de couvertures végétales. La première rencontrée sur l'ensemble du campus est constituée par les espaces verts aménagés (pelouse, arbres fruitiers et arbres servant à l'embellissement) et les peuplements spontanés de végétaux disposés le long des bâtiments (fig.7). La seconde forme décrit les végétaux de la partie non bâtie destinée à l'extension de l'université. Elle présente d'une part, un aspect continu et d'autre part, un aspect discontinu. L'aspect continu a une couverture arborée dense. La surface au sol est totalement couverte de végétation non débroussaillée. L'aspect discontinu est formé d'une végétation éparse. Sa surface au sol n'est pas totalement couverte de végétaux. Les zones abritant cette végétation discontinue sont des zones souvent entretenues. Elles sont constituées d'arbres et d'herbes avec par endroit quelques cultures vivrières (maïs, manioc, igname, banane, etc.).



Fig.7 : Types de végétation à l'UJLoG

Une observation de la classe "sol nu" permet de dire que cette classe a une assez bonne discrimination car elle présente des confusions moins prononcées avec le bâti. Les sols nus sont observés aussi bien sur le campus que dans la zone de végétation non aménagée (Fig. 6 et 7). Sur la zone aménagée (campus), les sols nus caractérisent les impacts anthropiques tandis que dans la partie non aménagée, ils sont fortement disséminés sur toute cette partie non aménagée.

Tout comme la classe "sol nu", la classe "pistes » constitue une surface non végétalisée. Cette classe a une extraction moyenne. Par ailleurs, des pistes créées à travers la végétation relient les bâtiments en cours de construction et les zones de plantation. Il est aussi observé une confusion avec les sols nus et quelques fois avec la végétation.

Le réseau routier y est bien organisé avec des voiries bitumées et une autre en béton. Il se présente sous forme d'un ensemble de bandes homogènes très allongées caractérisées par des largeurs constantes, de courbures locales faibles et des signatures spectrales foncées plus ou moins contrastées avec l'environnement. La partie bitumée part de l'entrée de l'université pour desservir la Présidence et s'autres bureaux administratifs tels que la Vice-Présidence, le bureau des enseignants, la Direction des Ressources Humaines (DRH), la scolarité, la bibliothèque etc. Le réseau routier constitué de béton relie quant à lui les différents bâtiments destinés aux enseignements.

3.1.2. Analyse de la précision thématique de la classification

Les objets urbains classifiés témoignent de leur bonne discrimination. En effet, l'extraction du bâti sur l'image GeoEye-1 est rehaussée par le caractère régulier et quasi-parfait de leur contour. Cela s'est traduit par la nette distinction des constructions dans la classe "Bâti" où les bâtiments inachevés sont distinguables des bâtiments totalement achevés et fonctionnels. Leur possible individualisation favorise leur dénombrement grâce à la baisse de la confusion. Au niveau des autres classes, l'extraction est assez bonne.

La carte d'occupation du sol obtenue a été validée par des données de terrain. La validation statistique se fait à travers le tableau 1 qui représente la matrice de confusion issue de cette validation. Cette matrice d'erreur montre le pourcentage des pixels bien classés dans la diagonale, tandis que le pourcentage de pixels mal classés est hors diagonale. L'analyse de cette matrice de confusion donne une précision globale de 92,76%, avec un indice Kappa de 89,81% satisfaisant. De façon générale, tous les types d'occupation du sol sont bien discriminés, car le taux moyen de pixels bien classés indiqué par les valeurs diagonales du tableau est de 86,30%. La classification est donc jugée satisfaisante. Toutefois, pour certaines classes thématiques (bâti, VNC, sol nu et route), la discrimination est parfaite alors que pour d'autres (EA et piste), il y a confusion à cause des réponses radiométriques qui sont proches.

Tableau 1 : Matrice de confusion de la classification

Parcelles d'entraînement	Parcelles de contrôle						EC (%)
	Bâti	VNC	EA	Route	Piste	Sol nu	
Bâti	97,30	0,00	0,00	0,00	0,00	1,58	1,56
VNC	0,00	94,50	15,20	0,00	3,16	1,79	1,55
EA	1,00	3,00	78,39	0,12	0,00	0,00	32,79
Route	0,00	2,50	2,67	90,18	4,01	0,00	6,74
Piste	0,80	0,00	2,82	5,40	69,70	2,74	32,35
Sol nu	0,90	0,90	0,92	4,42	23,13	93,89	5,38
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	
EO (%)	2,70	5,50	21,61	9,82	30,30	6,11	

Erreur d'omission (**EO**) - Erreur de commission (**EC**) - Végétation Aménagée (**EA**) - Végétation Non Contrôlée (**VNC**)

De façon spécifique :

- les classes "bâti", "VNC", "sol nu" et "Route" sont les types d'occupation extraits avec la meilleure précision située au-dessus de 90%. Les différents taux de discrimination sont respectivement de 97,30%, 94,5%, 93,89% et 90,18% ;

- la classe "EA" et "piste" à quant à elle un taux d'extraction assez bon (78,39%) ;

- la classe « piste » est l'objet le moins bien cartographié avec une précision globale de 69,70%.

La classification dirigée orientée objet a permis d'obtenir d'excellents taux de précision. L'analyse de la matrice de confusion montre que certaines classes thématiques telles que le bâti, la végétation non contrôlée (VNC), la route et les sols nus ont des précisions globales satisfaisantes qui dépassent 90%. En revanche, les classes

"EA" et piste ont des pixels qui présentent un taux de discrimination faible (moins de 80%) si bien qu'il existe des confusions entre elles et d'autres classes. En effet, sur l'ensemble de l'espace de l'UJLoG, le taux d'erreur d'omission (EO) évolue de 2,70% à 30,30%. Quant aux Erreurs de commission (EC), leurs taux fluctuent de 1,55 à 32%. Ces erreurs sont plus accentuées dans les classes "EA", "Piste" et "Arbre", avec des taux respectifs de confusion de 32,79% et 32,35%. Toutefois, les EC des classes "bâti", "VNC" et "sol nu" sont réduites et comprises entre 1,55% et 6,74%.

Conclusion partielle

Cette étude a permis de comprendre que la classification orientée objet donne des résultats encourageants sur une image THRS pour la discrimination des unités d'occupation du sol en zone urbaine. Une amélioration des résultats est obtenue en combinant la méthode de classification traditionnelle (basée sur la valeur spectrale) et les paramètres morphologiques (taille, forme, voisinage des objets) de chaque objet. Aussi, la méthodologie d'évaluation des erreurs, basée sur l'analyse des parcelles de contrôle de terrain, a permis d'évaluer non seulement les erreurs de confusion mais aussi celles qui sont omises (omission). En raison de la simplicité de cette approche de classification, elle permet d'insuffler une autre dynamique dans l'analyse des classifications de l'occupation du sol et de ce fait une amélioration de la qualité des productions cartographiques.

3.2. Parcellaire des infrastructures d'enseignement

Le parcellaire de l'organisation de l'espace aménagé de l'UJLoG est présenté par la fig.8. Il montre que l'université est structurée par un ensemble de bâtis peu dense et de larges espaces naturels.

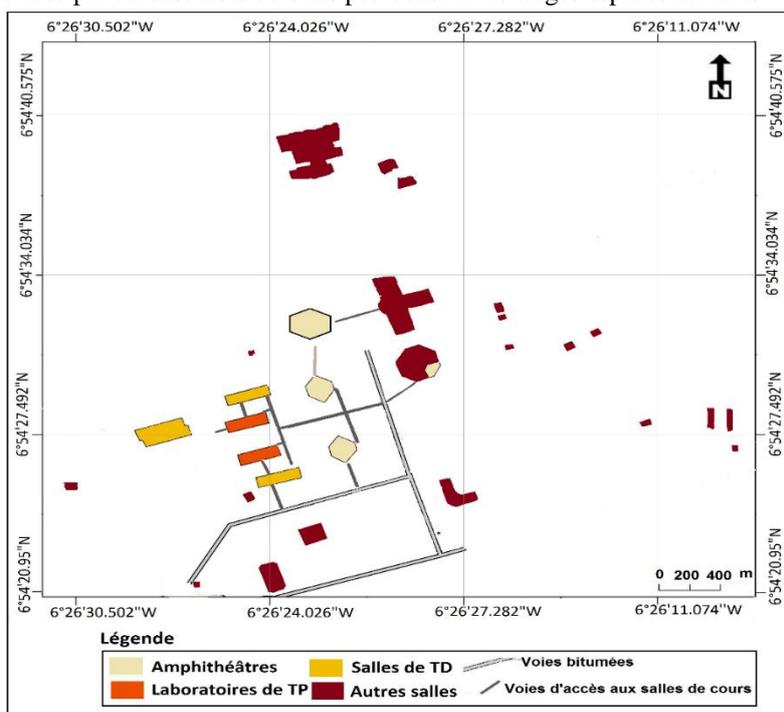


Fig.8 : Carte de l'organisation topographique du bâti de l'UJLoG

Les bâtiments s'inscrivent dans un contexte paysager très hétérogène. L'architecture reste modeste et la taille de l'ensemble des bâtiments ne dépasse pas deux étages (fig.8). Les résultats de la collecte des données pour la codification des salles d'enseignement auprès du service de patrimoine de l'université sont consignés dans les tableaux 2, 3 et 4. Il ressort de l'observation que l'UJLoG est dotée d'une quarantaine (40) de salles destinées aux enseignements. Au nombre de ces salles, l'on dénombre quatre (4) amphithéâtres permettant d'assurer l'ensemble des cours magistraux des cinq UFR de l'Université.

Tableau 2: Codification des amphithéâtres de l'UJLoG

Nommage	Type de cours	Superficie
Amphi A	CM	585
Amphi B	CM	585
Amphi C	CM	875
Amphi D	CM	225

Les salles destinées à accueillir les Travaux Dirigés (TD) sont au nombre de 27. Neuf (09) autres sales accueillent quant à elles, les différents travaux pratiques (chimie, biologie et salles numériques (informatiques)). Les codifications de ces dernières sont consignées dans les tableaux 3 et 4.

Tableau 3. Codification des salles de TD

Codification des bâtiments	Codification des salles	Type de cours	Superficies des bâtiments (m ²)	Nombre de salles
B1TD	B1TD1 à B1TD8	TD	640	7
B2TD	B2TD9 à B1TD16	TD	640	8
B3TD	B3TD _A à B3TD _L	TD	1200	12

Signification :

B1TD : Bâtiment 1 de Travaux Dirigés- B2TD : bâtiment 2 de travaux dirigés – B3TD : bâtiment 3 de travaux dirigés
 B1TD1: salle 1 du bâtiment 1 de travaux dirigés (bâtiment (**B1**), Travaux Dirigés (**TD**), Salle 1 (**1**))
 B3TD_A : salle A du bâtiment 3 de travaux dirigés (bâtiment (**B3**), Travaux Dirigés (**TD**), Salle (**A**))

Tableau 4: Codification des salles de TP

Codification des bâtiments	Codification des salles	Type de cours	Superficies des bâtiments (m ²)	Nombre de salles
B1TP	B1TP1 à B1TP4	TP	670	4
B2TP	B2TP5 à B2TP8	TP	670	4
BBTP	BBTPN	TP	640	1

Signification :

B1TP : Bâtiment 1 de travaux Pratiques - B2TP : Bâtiment 2 de Travaux Pratiques – B3TD : Salle de TP du Bâtiment Bibliothèque
 B1TP1: salle 1 du bâtiment 1 de travaux dirigés (bâtiment (**B1**), Travaux Dirigés (**TD**), Salle 1 (**1**))
 BBTPN : salle de TP Numérique du bâtiment bibliothèque (bâtiment (**B**) bibliothèque (**B**), Travaux Pratique de Numérique (**TPN**))

3.3. Discussion des résultats

3.3.1. Cartographie de l'occupation du sol

Des différents résultats obtenus, l'on peut retenir un ensemble des remarques lié au site de l'étude. Ainsi, l'observation du résultat de classification montre le fort potentiel des images THR pour l'extraction des objets des zones bien bâties. En effet, l'objet principal de la zone d'étude est le bâti, répertorié sur une zone bien organisée. Le résultat de l'extraction du bâti donne une précision cartographique des traitements estimée à 97,30%. Il reste proche des valeurs obtenues par d'autres auteurs. En effet, Puissant [22] a obtenu une précision globale de 94,6%, en traitant une image QuickBird couvrant la ville de Strasbourg (France) par la classification dirigée orientée objet. En outre, Rakotoniaina et Collet [23] ont quant à eux obtenu une précision globale de 90,17% en classifiant une image Spot multispectrale de la ville de Genève, en Suisse. Les travaux de Akoguh[8]), portant sur la classification orientée objet d'une zone bien bâtie de la commune de Cocody (Abidjan-Côte d'Ivoire) ont permis d'obtenir une précision cartographique de 96,30%. La meilleure précision de la classification orientée objet portant sur le bâti, pourrait trouver une justification dans le fait que, le campus universitaire de l'UJLoG est caractérisé par un tissu urbain de type ordonné, c'est-à-dire avec des objets ayant des formes géométriques régulières, comme l'ont prouvé des études [24], [25], [26], [27]. Ainsi, la classification orientée objet qui intègre aussi bien les propriétés spectrales que spatiales des objets (forme, limites, et la disposition des objets) donnerait alors un taux d'extraction du bâti plus élevé. La bonne extraction de la végétation non contrôlée (94,50%), des sols nus (93,89%) et de la route (90,18%) pourrait se justifier selon l'organisation et les habitudes du campus. D'abord au niveau des sols nus, le campus est couvert en grande partie par des espaces verts aménagés (arbre fruitiers ou non et pelouse) et de la végétation spontanée. Les étudiants et autres visiteurs du campus ont considérablement entamé cet espace de sorte que l'on rencontre des voies d'accès (autres que celles tracées par le plan directeur) aux différents bâtiments sous forme de pistes. En outre, les différents travaux d'extension à travers les différentes constructions de nouveaux bâtiments entament également une partie de l'espace vert laissant entrevoir des sols nus à travers le périmètre du campus. La coordination des deux types d'utilisation du sol sur le campus montre un aspect régulier des pistes et des autres espaces constitués de sol nu. Cela expliquerait la bonne extraction de ce type d'occupation du sol. La classe

"VNC" se présente sous deux formes, à savoir les arbres du campus et ceux de la végétation non aménagée. A l'échelle du campus, la formation arborée est structurée en arbres fruitiers et en arbres servant principalement à embellir le campus. De ce fait, l'ensemble est bien perceptible et organisé le long des bâtiments et des voies conventionnelles d'accès aux différents bâtiments. Cette configuration faciliterait donc l'extraction de la classe VNC car la méthode. Concernant la classe "route", la méthode orientée objet a réussi à extraire les deux grands types de routes (bitume et route en béton) de la zone d'étude avec une exactitude de 90,18%. Cette valeur reste très proche des valeurs de celles obtenues par d'autres. En effet, [28] a obtenu un taux moyen d'extraction des routes de 0,86% en classifiant

Une image SPOT5 de 2007 de 10 mètre de résolution couvrant la zone de Laghouat (Algérie). Aussi, l'extraction de cette catégorie est très complexe tant au niveau de la segmentation qu'au niveau de l'utilisation des fonctions d'appartenance de la classification. Ainsi, la discrimination assez bonne vient du fait que sur le campus universitaire, le réseau routier se présente sous forme d'un ensemble de bandes homogènes très allongées, de largeurs constantes, de courbures locales faible, de signature spectrale foncée plus ou moins contrastée avec l'environnement. Par ailleurs, les quelques confusions observées lors de l'extraction de la route trouvent une explication dans le fait que la trajectoire de la voie bitumée est matérialisée par des arbres et la pelouse qui la bordent.

Au niveau des classes d'occupation du sol les moins bien extraits sont constitués des classes "EA" et "Piste", et « Végétation spontanée » qui ont un taux respectif de 78,39% et 69,70%. L'extraction de la classe "EA" fait ressortir un taux de confusion élevé (21,70% pour les EO et 32,79). En nous référant à l'explication plus haut, cela semble logique dans la mesure où le plus fort taux de confusion est observé avec la végétation non contrôlée (15,20%). En effet, les espaces aménagés (EA), malgré leur répartition assez nette sur l'espace universitaire, ont été difficiles à extraire car les classes "VNC" et "EA" ont par endroit une texture et une réflectance similaire d'où le niveau de confusion entre ces deux classes.

Au niveau de la classe « piste », la précision cartographique obtenue avec la classification orientée objet, estimée à 69,70%. Ce résultat reste faible car le taux de confusion au niveau de cette classe d'occupation du sol est le plus élevé (30,30%), avec 23,135% de confusion avec les sols nus. Ce résultat pourrait s'expliquer par le fait que les pistes sont des surfaces non végétalisées caractérisées par une absence de géométrie régulière. Ensuite, elles sont le fait de pressions anthropiques et sont créées à travers la végétation sur le sol nu non couvert par la végétation. Enfin, la classification orientée objet serait une approche qui apporte plus de précisions dans la discrimination des objets urbains, surtout avec une structure régulière [8].

3.3.2. Parcellaire et codification des salles d'enseignement

La méthode adoptée au cours de cette étude a amené à mettre à jour les données portant sur la codification des infrastructures d'enseignement à l'UJLoG. Elle a également permis d'avoir un fichier numérique apte à intégrer un système de gestion de base de données. Le découpage du bâti en parcelles formant les salles de cours, inspiré des travaux de [29,30] a permis de valider et d'adopter un plan d'adressage des infrastructures d'enseignement à l'UJLoG. Ce découpage en zones a facilité la codification des bâtiments et des salles suivant le modèle, **Bâtiment, Numéro, type d'enseignement. Cette approche** s'appuie sur les travaux de [31] qui ont permis un adressage de la voirie suivant le modèle **Boulevard, Avenue, Rue**. Ce qui permet alors de mieux connaître et comprendre les différentes organisations urbaines et leurs phases de développement. Les amphithéâtres en tant que bloc unique gardent leur configuration et codification de base (Amphi A, B, C, D) pour des raisons d'identification plus simple. En ce qui concerne les salles de TD et TP, les anciennes codifications ont été modifiées pour permettre une meilleure compréhension de celles-ci et une meilleure manipulation.

Morceler et codifier les bâtiments répondent à des fins polyvalentes. D'abord, ces deux actions permettent la reconnaissance distincte de chaque bâtiment et salle de cours. Ensuite, elles orientent dans la délimitation de chaque bâtiment et admet un meilleur référencement dans la base de données à concevoir. Enfin ce travail sera également utile à l'aménagement de l'espace universitaire pour le suivi de la dynamique du bâti. Par ailleurs, la mise à jour de la codification dans le cadre de l'automatisation des tâches universitaires démontre l'importance de la planification de tels projets, de la mise en place de mécanismes de gestion et de l'identification d'indicateurs de performance de l'institution. Cet encadrement administratif est nécessaire afin d'évaluer et réorienter ci-possible, l'état d'avancement des projets d'extension et d'y apporter des ajustements et des mesures correctives. En effet, Le système de codification des bâtiments et salles est un élément essentiel pour l'organisation de l'usage des infrastructures d'enseignement et surtout au développement du campus. Ils ont permis de jeter les bases à des services éducatifs de qualité et facilitent l'organisation des enseignements. De plus, ils renforcent l'efficacité de l'organisation de l'espace universitaire, facilitent la localisation des salles d'intervention et contribue à la démocratie participative en rapprochant les acteurs (enseignants, administration, étudiants, etc.) de la formation à l'université. La vision que ce travail apporte, à l'instar des travaux de [30], ne

se limite donc pas au baptême des bâtiments et salles d'enseignement. Il jette les bases pour le développement d'applications géomatiques dans les domaines de l'éducation, du géomarketing, de la navigation et de la géolocalisation. Dans le même sens, plusieurs études portant sur des tendances d'adressage menées aboutissent à des résultats similaires, à savoir l'élaboration de stratégies de gestion et de planification de l'espace répondant aux enjeux locaux et aux politiques de gestion urbaine mises en œuvre [30-33]. Toutefois, pour des raisons d'objectivité et de respect du calendrier d'exécution dudit travail de recherche, cette étude s'est limitée à la codification des bâtiments destinés aux enseignements. Elle n'a donc pas pris en compte l'administration et autres bâtiments (achevés ou en construction). Cette partie pourra être intégrée au cours de l'extension du présent travail à l'ensemble de l'UJLoG.

IV. CONCLUSION

Cette étude a permis de cartographier l'occupation du sol à l'UJLoG, particulièrement les infrastructures d'enseignement et d'établir par la suite un parcellaire général des dites infrastructures en vue de leur modélisation future. La méthodologie utilisée, basée sur la classification dirigée orientée objet, appliquée à l'image satellitaire GeoEye-1 et l'observation de terrain ont servi à différencier sept principaux thèmes dans la zone d'étude. Cette classification qui fournit des résultats avec une précision globale de 92.76%, a permis de distinguer les différents unitsthématiques. Comparée aux cartes de base à notre disposition (GeoEye-1 et Quickbird de Google Earth), le résultat a relativement amélioré le niveau de distinction de l'occupation du sol. Par ailleurs, cette carte est d'une grande utilité pour le suivi des différentes infrastructures destinée aux enseignements car elle permet d'établir avec plus de précision une cartographie codifiée des bâtiments de cours.

V. REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (CURAT) de l'Université Félix Houphouët-Boigny (UFHB, Abidjan-Cocody) pour son appui technique, ainsi que l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa (UJLoG, Daloa -Côte d'Ivoire) pour la collecte de données de terrain et de celle portant sur des enseignements.

REFERENCES

- [1]. DRH-UJLoG, Organisation de la Direction des Ressources Humaines, formation, 2020-URL : <https://www.ujlog.ci>, page consultée le 10 Mars 2019.
- [2]. M. T. Demaze, A. Trebouet. Evaluation multi-échelle de l'étalement urbain à l'aide d'image Spot XS : exemple du Mans (Ouest-France), colloque, Tananarive- Madagascar, 2008, 11 p.
- [3]. CSFD. La télédétection : un outil pour le suivi et l'évaluation de la désertification, Dossier thématique du Comité Scientifique Français de la Désertification, n°2, 2005, 49 p.
- [4]. P. Thi-Thanh-Hiên, H. Dong-Chen. Classification orientée objet d'une image quickbird de la ville de Hanoi (Viêt Nam): étude empirique des paramètres de segmentation. Télédétection, Editions des Archives Contemporaines / Editions scientifiques GB / Gordon and Breach Scientific Publisher, 2013, 11 (2), pp.287-305.
- [5]. A. Puissant. Information géographique et Images à Très Haute Résolution : utilité et application en milieu urbain. Thèse de Doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 2003, 443p.
- [6]. M. Aubert et M. Despinoy. Mise à jour de la cartographie de l'occupation des sols à Efate (Vanuatu) par l'utilisation d'image Très Haute Résolution Spatiale (THRS) du satellite Formosat-2. Rapport technique N°1A-projet 1A4, CRISP, Nouvelle Calédonie, 2008, 21 p.
- [7]. A. Puissant, C. Weber. Démarche orientée objet « objet-attributs » et classification d'image THRS, revue française de photogrammétrie et de télédétection, n°173, 2004, 12 p.
- [8]. N.P. Akonguhi. Evaluation des méthodes de classifications dirigées (orientée objet et spectrale) sur les images à Très Haute Résolution Spatiale pour la cartographie urbaine : cas de la commune de Cocody (Sud de la Côte d'Ivoire), mémoire de master, 2013, 57 p.
- [9]. UJLoG, Infrastructures et informations, <https://www.ujlog.ci/organisation.php>, consulté le 10 Décembre 2017
- [10]. U. C. Benz, G. Hoffmann, I. Lingenfelder, M. Heynen. Multi-resolution, object-resolution fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. ISPR journal of photogrammetry and remote sensing, n°58, 2004, 239-258.
- [11]. S. Lassieur. Utilisation de la télédétection et des techniques SIG pour détecter et prévenir les activités de déforestation illégale. Mémoire de Master 2 en SIG et Gestion de l'espace, Université Jean Monnet, Saint-Etienne (France), 2006, 54 p.
- [12]. CIRAD, Analyse orientée objet d'images de télédétection. Prise en main d'eCognition Developer <https://www.cirad.fr/>, consulté le 14 Mars 2018.
- [13]. E. Landoiset D. Barache. Nouvelle outil Envi FX de segmentation et classification d'objets : extraction automatique de nuages. Colloque MSG-Dijon, 2007, 22 p.
- [14]. F. Bonn, G. Ronchon. Précis de télédétection : principes et méthodes. Presse universitaire du Québec/AUPELF, volume 1, 1996, 485 p.
- [15]. R. Caloz, C. Collet. Précis de télédétection. Traitements numériques d'images de télédétection. Presse universitaire du Québec, Vol. 3, 2001, 386 p.
- [16]. C. Corbane, N. Baghdadi, S. Hosford, J. Somma, S. Chevrel. Application d'une méthode de classification orientée objet pour la cartographie de l'occupation du sol, revue française de photogrammétrie et de télédétection, 200, n°175, 2004, 26 p.
- [17]. A. Kemsol Nagorngar, Dynamique spatiale des cultures de décrue dans les zones lacustres Soudano-Sahéliennes de 1985 à 2015 : cas des lacs Fitri et Iro au Tchad, thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny Abidjan-Côte d'Ivoire, 2018, 166 p.

- [18]. V. Godard. Typologie des paysages forestiers du sud du massif de Fontainebleau après la tempête de décembre 1999. Évaluation des dégâts forestiers à l'aide d'un semis de points et d'imagerie satellitale optique. *Revue Internationale de Géomatique*, vol. n°15, 2005, 281-302.
- [19]. R. Congalton. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *RemoteSensing of Environment*, n° 35, 1991, 35-46.
- [20]. Ducrot D., Méthodes d'analyse et d'interprétation d'image de télédétection multi-sources : extraction de caractéristiques du paysage, HDR, INP Toulouse-France, 2005, 240 p.
- [21]. R. Congalton, K. Green, Assessing the accuracy of remote sensed data: principles and practices, 3rd Edition, 2009, 183 p.
- [22]. A. Puissant. *Information géographique et Images à très haute résolution: utilité et application en milieu urbain*, Thèse de Doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg-France, 2003 445 p.
- [23]. S. Rakotoniana, C. Collet, Amélioration de la qualité de la classification d'une image multispectrale à l'aide d'un classifieur contextuel. *Revue de télédétection*, vol. 9, n° 4, 2009, 20 p.
- [24]. S. Lhomme. *Identification du bâti à partir d'images satellitaires à très haute résolution spatiales*. Thèse de Doctorat, Université de Sherbrooke-Canada, 2005, 279 p.
- [25]. Karsenty T., Collin S., Harper-Merett T., Intégration pédagogique des TIC: succès et défis de 100 écoles africaines, communication, 2012, n°3, IDRC-Ottawa, 358 p.
- [26]. L. Sparfel, F. Gourmelon, I. Le Berre, Approche orientée objet de l'occupation des sols en zone côtière. *Revue de télédétection*, vol. 8, n°4, 2008, 20 p.
- [27]. C. Revillion., Système d'Information environnement sur les Caraïbes : du satellite aux décideurs ; Méthodologie pour la classification orientée objet de l'occupation du sol des petites Antilles. *Rapports d'activités, IRD*, 2012, 11 p.
- [28]. F. Benkouider, L. Hamami, A. Abdellaoui et M. Salamou. Extraction de routes par classification supervisée et par réseaux de neurones artificiels à partir d'image spot : cas d'une ville oasienne (Algérie), *revue de télédétection*, vol. 11, n°1, 2012, 14 p.
- [29]. P. Affian. Apport de la géomatique dans l'adressage de l'Université Félix Houphouët-Boigny en vue de la réalisation d'un réseau intelligent. Mémoire de Master 2, UFHB-Abidjan, 2014, 62 p.
- [30]. C. Farvacque-Vitkovic, L. Godin, H. Leroux, F. Verdet, R. Chavez. Adressage et gestion des villes. *Le développement en marche*, bulletin de la Banque Mondiale, 2005, 292 p.
- [31]. D. Badariotti. Les noms de rue en géographie. Plaidoyer pour une recherche sur les odonymes / *Street names, an argument for a geographicresearch*, *anales de géographie, Persée*, n° 625, 2002, 20 p.
- [32]. ADEMA-Haïti, Guide de procédure pour la préparation et la mise en œuvre du projet d'adressage urbain, *adressage et gestion des villes*, 2002, 33 p. <http://ademahaiti.org/fr/images/PDF/Guide%20Adressage%20Bombardopolis.pdf> (Consulté en Juin 2020).
- [33]. J. B. De-Boutandou, L'apport de l'adressage dans la gestion des collectivités locales : cas du projet d'adressage de Libreville. Mémoire de Master, Université Omar Bongo-Gabon, 2016, 75 p.