

Étude comparative de Sentinel-2 et Landsat-8 Oli à l'évaluation de l'occupation du sol du site Ramsar d'Azagny, Sud de la Côte d'Ivoire

Kadio Saint Rodrigue AKA^{1*}, Hyppolite N'Da DIBI^{2,3}, Jephthé N'dri KOFFI¹
et Crystel Natacha BOHOUSOU³

¹ Université Félix Houphouët-Boigny, UFR Sciences de la Terre et des Ressources Minières (UFR STRM), Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (CURAT), 22 BP 801 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

² Université Félix Houphouët-Boigny, UFR Biosciences, Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (CURAT), 22 BP 801 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

³ Université Félix Houphouët-Boigny, UFR Biosciences, Laboratoire de Milieux Naturels et Conservation de la Biodiversité, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

(Reçu le 21 Mars 2022 ; Accepté le 10 Mai 2022)

* Correspondance, courriel : saintrouigueaka@live.fr

Résumé

En Afrique de l'Ouest, les politiques de gestion, jusque-là développées et mises en œuvre au niveau des zones humides demeurent très sensibles et vulnérables aux changements environnementaux et sociétaux et ont de ce fait montré leurs limites. De plus, très peu de zones humides d'importance internationale sont actuellement suivies avec des données d'observation de la terre. C'est le cas du site Ramsar d'Azagny qui, depuis quelques décennies est le théâtre de très fortes pressions agricoles. La présente étude vise à déterminer l'occupation du sol du site Ramsar d'Azagny par une étude comparative des images satellitaires Landsat-8 Oli et Sentinel-2. L'approche méthodologique adoptée pour cette étude est basée sur la télédétection et les SIG sans oublier la collecte des données de terrains qui sont entre autres les points de contrôles de validation de la classification des images satellitaires et l'analyse des strates. A l'issue de cette étude, nous avons obtenus 11 classes d'occupation du sol avec Landsat-8 Oli et 15 avec Sentinel-2. Il en résulte que certaines classes telles que Savane Incluse Inondée ou Non et Sol nu et Habitats de Landsat-8 ont pu être scindées en deux classes respectives avec Sentinel-2 en Savane Incluse Marécageuse et Savane Incluse Temporairement Inondée pour l'un et en Sols nus puis en Habitats pour l'autre. Il est donc important de souligner que Sentinel-2 est plus spécifique grâce à sa haute résolution spatiale (10 m) par rapport à Landsat-8 (30 m).

Mots-clés : Landsat-8 Oli et Sentinel-2, occupation du sol, Télédétection et SIG, Azagny, Ramsar, Côte d'Ivoire.

Abstract

Comparative study of Sentinel-2 and Landsat-8 OLI to the land use/cover assessment of Azagny Ramsar site, south of Côte d'Ivoire

In West Africa, the management policies hitherto developed and implemented in wetlands remain very sensitive and vulnerable to environmental and societal changes and have therefore shown their limits. In addition, very few internationally important wetlands are currently monitored with earth observation data.

This is the case of the Ramsar site of Azagny which, for several decades, has been the scene of very strong agricultural pressures. This study aims to determine the land use/cover of Azagny Ramsar site by a comparative study of Landsat-8 OLI and Sentinel-2 satellite images. The methodological approach adopted for this study is based on remote sensing and GIS without forgetting the collection of field data which are, among other things, the validation checkpoints for the classification of satellite images and the analysis of strata. At the end of this study, we obtained 11 land cover classes with Landsat-8 OLI and 15 with Sentinel-2. As a result, certain classes such as Coastal Savannah Flooded or No and Bare Soil and Habitats from Landsat-8 could be split into two respective classes with Sentinel-2 into Swampy Coastal Savannah and Coastal Savannah Temporarily Flooded for one and into Bare Soil, then in Habitats for the other. It is therefore important to emphasize that Sentinel-2 is more specific thanks to its high spatial resolution (10 m) compared to Landsat-8 (30 m).

Keywords : *Landsat-8 and Sentinel-2, Land cover, Remote sensing and GIS, Azagny, Ramsar, Côte d'Ivoire.*

1. Introduction

Les zones humides sont parmi les milieux les plus productifs du monde. Elles sont des sources de diversité biologique et fournissent l'eau et la productivité primaire dont un nombre incalculable d'espèces de plantes et d'animaux dépendent pour leur survie. Elles entretiennent de fortes concentrations d'oiseaux, de mammifères, de reptiles, d'amphibiens, de poissons et d'invertébrés et sont aussi des greniers importants de matériel génétique végétal (convention Ramsar sur les zones humides). L'anthropisation des zones humides représentent actuellement un enjeu environnemental majeur, tant au niveau de la ressource en eau [1] que de la biodiversité [2] ou de l'état de l'atmosphère. En Côte d'Ivoire, le site Ramsar d'Azagny rencontrent quelques agressions qui sont autre des pressions agricoles, la pollution des eaux par les polluants chimiques, la coupe des bois des palétuviers constituant les mangroves, etc. Dans le but de gérer durablement ce site, plusieurs auteurs tels que [3, 4] ont mené des études dans la zone. A son tour, "GMES and Africa" à travers son programme d'appui à la surveillance de l'environnement et la sécurité en partenariat avec l'Union Africaine ont initié le projet GDZHAO « Gestion Durable des Zones Humides pour le renforcement de la sécurité alimentaire et la résilience des écosystèmes en Afrique de l'Ouest ». Le site Ramsar d'Azagny est l'une des deux zones humides d'importance internationale en Côte d'Ivoire qui a fait l'objet de cette étude. Vue l'hostilité de la zone, une maîtrise spatio-temporelle des outils d'observation de la terre s'impose.

Dans ce contexte, la Télédétection et les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG), sont deux outils qui offrent de nouvelles perspectives pour la cartographie de la couverture végétale. De plus, la bonne répétitivité des prises de vues des satellites permet le suivi de surfaces forestières quelque soit leur inaccessibilité [5 - 8]. Toutefois, le développement de la télédétection a augmenté les données satellitaires avec des résolutions moyennes à élevées. Leur disponibilité pour les utilisateurs du monde entier a conduit au développement croissant de plusieurs algorithmes de classification d'images basés sur le sujet [9,10]. Chaque classificateur à son processus de fonctionnement spécifique et, selon le classificateur et les capacités du logiciel, les résultats varient généralement. Des algorithmes non supervisés et supervisés peuvent être utilisés. Les algorithmes non supervisés n'utilisent pas de données de site et effectuent un regroupement uniquement sur la base d'attributs de réflexion [11] KMeans [12, 13] et ISODATA [14] sont des exemples de tels algorithmes. Ces méthodes sont utilisées lorsque la région étudiée n'est pas identifiée. Cependant, les algorithmes supervisés utilisent des échantillons de sites d'apprentissage pour la classification, c'est-à-dire que ces échantillons d'apprentissage sont des signatures spectrales uniques attribuées à chaque classe par l'utilisateur [15]. Par conséquent, le facteur humain (et le biais) est directement impliqué dans la décision des données d'entraînement et influence les résultats finaux. Les algorithmes supervisés incluent la distance minimale [16, 17], le maximum de vraisemblance [18 - 22], etc. Pour ce travail, nous avons utilisé la

classification supervisée par maximum de vraisemblance car c'est cette technique qui permettait d'obtenir de bons résultats. A partir de cette étude, nous allons évaluer les performances de classification d'occupation du sol des données satellitaires Landsat-8 et Sentinel-2 sur le site Ramsar d'Azagny et voir laquelle permet d'obtenir le meilleur résultat en vue de répondre à un besoin de gestion durable des ressources naturelles.

2. Matériel et méthodes

2-1. Zone d'étude

Situé dans la région des Grands ponts dans le secteur littoral, à environ 130 kilomètres à l'ouest de la ville d'Abidjan, le site Ramsar d'Azagny (**Figure 1**) est une presqu'île délimitée par le fleuve Bandama à l'Ouest, le canal d'Azagny au Sud, la lagune Ebrié à l'Est et le pays rural de Tiebiéssou au Nord. Avec une superficie de 21850 hectares, il s'étend entre les Départements de Grand-Lahou et de Jacqueville et se trouve entre les latitudes Nord 5°09' et 5°16'' et les longitudes Ouest 4°48' et 4°58' [23].

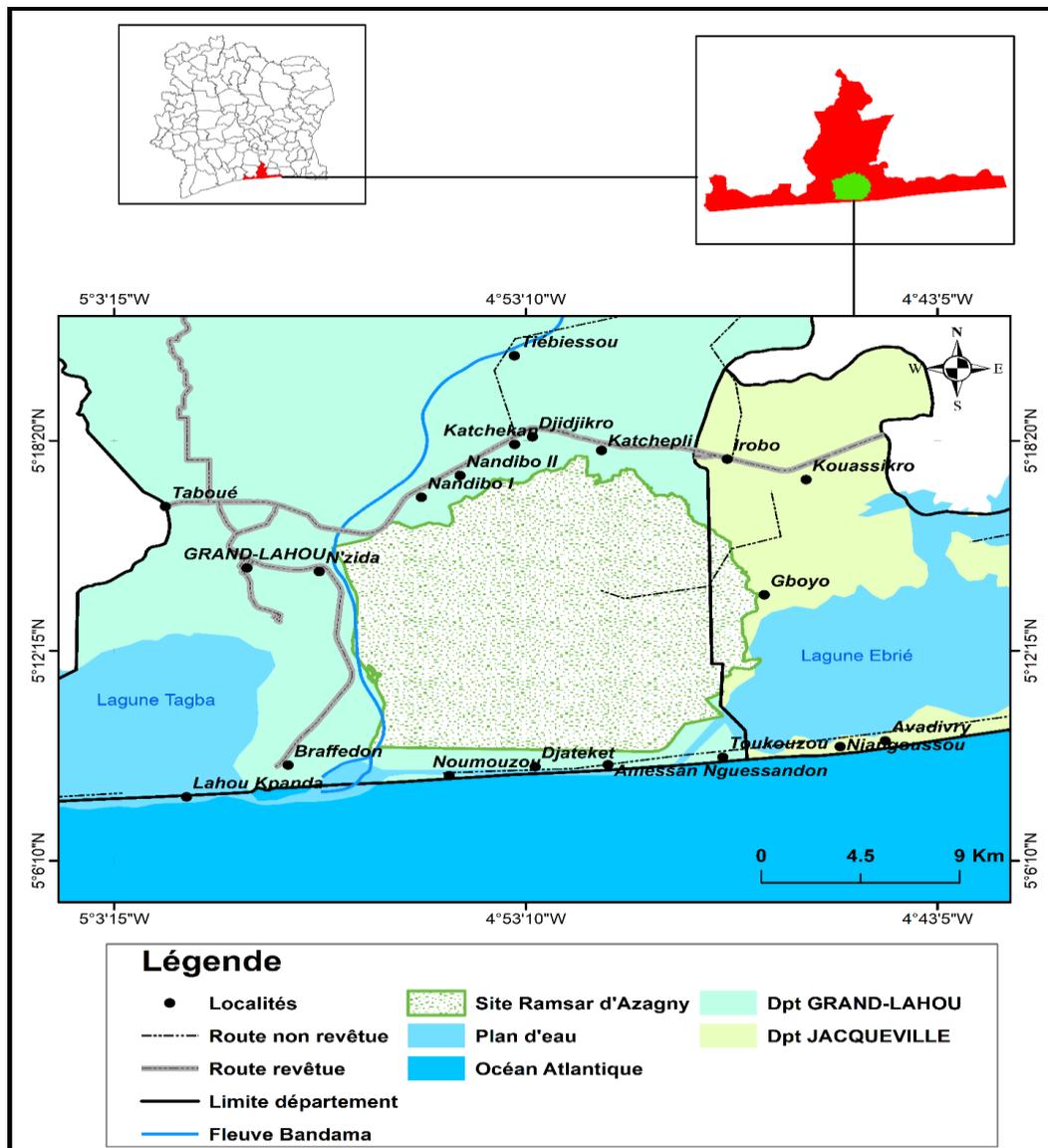


Figure 1 : Carte de la localisation géographique de la zone d'étude

2-2. Matériel et données

Les données utilisées se composent, essentiellement, d'images satellitaires, de données cartographiques composées des couches vecteurs (contour site Ramsar, piste, réseau routier, réseau hydrographique, localités) issues de la base de données de OIPR et des points GPS. Une image Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) de 2019, 30 m de résolution spatiale et de path 196, row 56 acquise le 20-01-2019 sur la plateforme Américaine USGS (<https://earthexplorer.gov>) a été utilisé. Puis, une image satellitaire de Sentinel-2A de résolution spatiale 10 m a été téléchargé sur le site internet de l'Agence Spatiale Européenne (ESA) (<https://scihub.copernicus.eu>). Cette image a servi de support (donnée de référence) pour la mission de terrain et la caractérisation des formations végétales du site Ramsar d'Azagny. Elle a été acquise le 26-12-2018. Le matériel de l'étude se compose essentiellement de logiciels et de matériels de terrain. Le logiciel Envi 5.3: développé par Exelis, est un logiciel de traitement numérique des images. Il a servi dans : les prétraitements puis le traitement des images Landsat et Sentinel-2A ; les transformations d'images, l'amélioration du contraste des images prétraitées et la classification. Le logiciel QGIS 3.2 : Logiciel libre de cartographie et de traitement d'image satellitaire à partir de son extension « SCP » qui signifie 'Semi-Automatique-Plugin' a été utilisée pour les prétraitements des images de sentinel-2A. le Logiciel ArcGis Desktop version 10.5: logiciel SIG de ESRI, développé pour faciliter la gestion et l'analyse des données spatiales afin de répondre à une problématique donnée. Il a été utilisé pour les géotraitements des données d'occupations du sol, l'extraction du réseau hydrographique de la zone d'étude, le MNT et les différents rendus cartographiques. Puis Microsoft Excel : logiciel de traitement de données Statistiques développé par Microsoft. Il a servi dans la réalisation des différents graphiques et l'analyse statistique des résultats obtenus. Le matériel de terrain utilisé est composé de matériels technique et informatique à savoir: Un GPS (Global Position Système) récepteur de marque Garmin pour enregistrer les coordonnées (X ; Y) des différents types d'occupations du sol présent dans le site Ramsar ; Un appareil photographique pour la prise de vue des paysages observés ; Des fiches d'inventaire et des stylos pour la consignation des données collectées ; Des machettes pour se frayer un chemin à l'intérieur du site Ramsar ; Des bottes pour la sécurisation des pieds.

2-3. Méthode de Cartographie de l'occupation du sol (Sentinel-2A et Landsat-8) du site Ramsar d'Azagny

Cette méthode est essentiellement basée sur la télédétection et les SIG.

2-3-1. Prétraitement des images satellitaires

2-3-1-1. Prétraitement de l'image satellitaire de sentinel-2A

Les images acquises étant corrigées géométriquement, mais présentent des perturbations atmosphériques (gaz, aérosols, etc.) qui contrastent la netteté et la qualité visuelle des scènes. Alors il nous importe d'effectuer des corrections radiométriques et atmosphériques sur les images [24] (Girard, 1999). A partir de l'extension Semi-Automatic-Plugin (SCP) du logiciel Qgis, nous avons réalisé le prétraitement. *L'algorithme DOS/ de SCP* appliqué sur les images a permis de convertir les valeurs des pixels de l'images passant de valeurs de luminance en valeurs de réflectance. Elle permet de corriger les effets perturbateurs de l'atmosphère.

2-3-1-2. Prétraitement des images satellitaires de Landsat-8

2-3-1-2-1. Correction radiométrique de l'image landsat-8

L'amélioration radiométrique consiste à corriger les effets des différents bruits qui perturbent la mesure radiométrique, notamment les défauts du capteur et le voile atmosphérique. Elle permet de convertir les

comptes numériques (les valeurs des pixels de l'image) en valeur de radiance. Pour ce traitement, l'outil *Radiometric calibration* a été utilisé dans le logiciel *ENVI 5.3*

2-3-1-2-2. Correction atmosphérique de l'image landsat-8

Traversant l'atmosphère, le rayonnement subit une atténuation due aux interactions (absorption et diffusion) avec les particules qui entraîne des dérangements de Rayonnement électromagnétique. La méthode de correction atmosphérique utilisée est celle qui fait intervenir les paramètres du capteur, lors de la prise de vue appelé la méthode *Flaash*. Ainsi, l'outil *FLAASH Atmospheric correction* dans *ENVI 5.3*, permet d'afficher l'onglet d'intégration des paramètres. On commence par faire entrer les paramètres suivants : l'image de radiance (*input radiance image*); nommer fichier de sortie de la réflectance (*output reflectance file*); nommer les fichiers de sortie directrices de la correction atmosphérique *FLAASH(output directory FLAASH files)*; et le nom d'origine des fichiers *FLAASH (rootname for flaash files)* Ensuite, les paramètres (de date, de l'heure de la prise de vue, d'altitude du satellite et de la taille du pixel de l'image), sont renseignés. Enfin, l'opération finale est lancée. Cette correction est importante vu qu'elle améliore la visibilité de l'image.

2-3-2. Traitement des images satellitaires

2-3-2-1. Indice de végétation et transformation tasseled Cap

NDVI : (Normalized Difference Végétation Index) a été utilisé pour augmenter le contraste au niveau du thème « végétation chlorophyllienne » et de réduire ceux des autres thèmes des images satellitaires [25]. Ainsi, le NDVI se calcule selon la **Formule** suivante :

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

NDBI : (Normalized Difference Brightness Index) [25] a permis de discriminer les sols nus des autres typologies d'occupation de sol selon la **Formule** suivante :

$$NDBI = (R^2 + PIR^2)^{1/2} \quad (2)$$

NDWI : (Normalized Difference Water Index) [25] a permis de maximiser la réflectance de l'eau en utilisant le proche infrarouge selon la **Formule** suivante :

$$NDWI = (PIR-MIR)/(PIR+MIR) \quad (3)$$

2-3-2-2. Composition Colorée

Pour cette étude, les compositions colorées choisies sont celles des bandes 4/8/10 pour Landsat-8 et 8/11/3 pour Sentinel-2A car ce sont elles qui présentaient une meilleure discrimination des types d'occupation du sol retenues. Dans la faisabilité, il a été affecté respectivement les bandes 4 et 3 du visible, les bandes 8 du proche infrarouge et les bandes 8 et 11 du moyen infrarouge aux canaux rouge (R), vert (V) et bleu (B).

2-3-2-3. Analyse en Composante Principale (ACP)

L'ACP a permis de convertir les bandes Multispectrales corrélées en un nouvel ensemble de composants non corrélés. Les bandes de l'ACP alors obtenues présentent des informations non redondantes.

2-3-2-4. Rehaussement d'image

Dans le but d'améliorer la qualité visuelle des images traitées, des rehaussements ont été appliqués sur les différentes compositions colorées et indices calculés.

2-3-3. Choix des sites à visiter

Le choix des sites à visiter s'est fait sur l'image Sentinel-2A déjà prétraitée. Les compositions colorées avec les bandes brutes (8/11/3) et les néo-canaux de l'analyse en composantes principales (ACP1-2-3) réalisées en complément des indices ont permis la sélection des sites à visiter sur le terrain (**Figure 2**). Pour la caractérisation de la typologie d'occupation du sol, les sites sont choisis dans les surfaces du site Ramsar et de sa zone périphérique. Les coordonnées géographiques des points prélevés sur les images, seront intégrées au GPS pour la préparation de la mission de terrain.

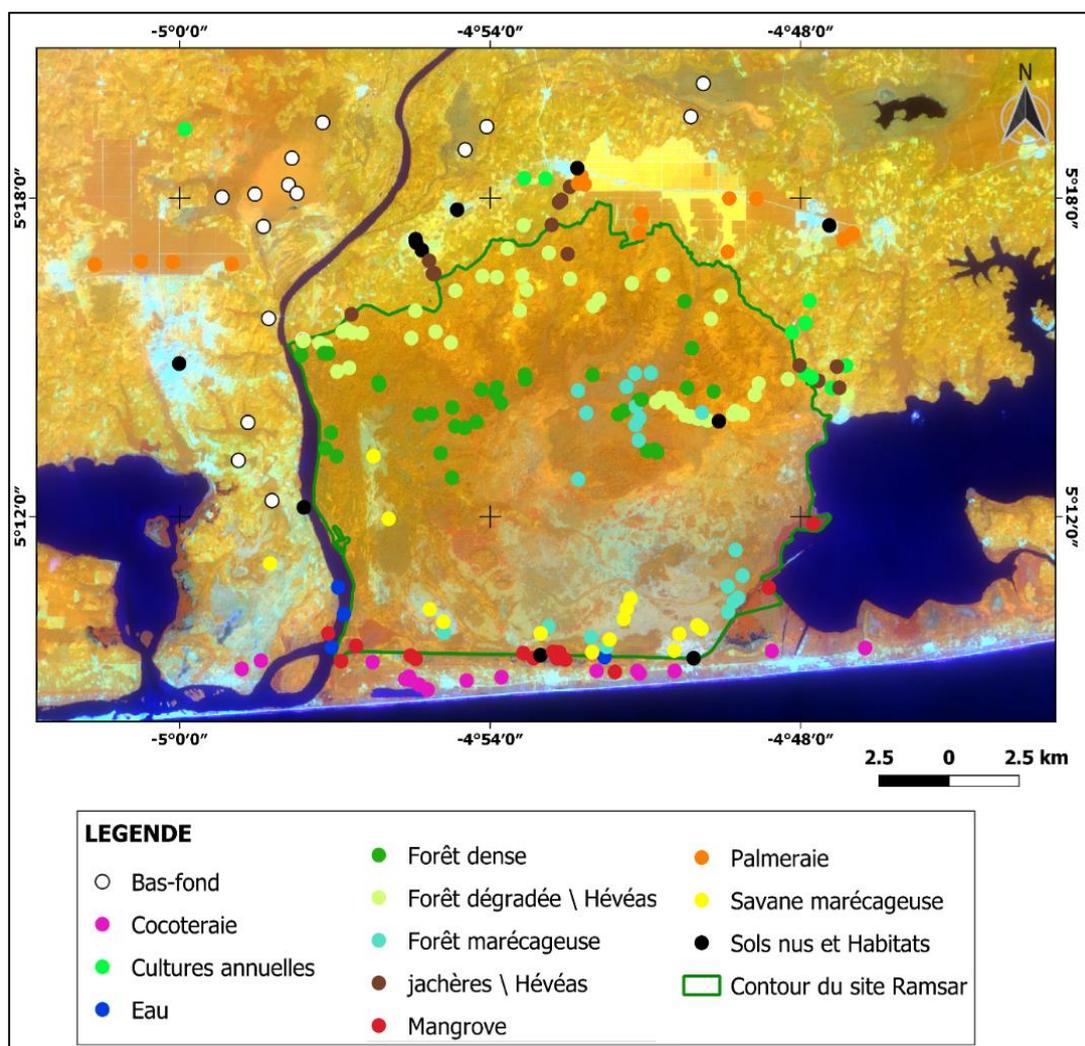


Figure 2 : Carte de Répartition des sites à visiter

2-3-4. Mission de terrain et collecte de données

Il a été question de prendre des points GPS des formations végétales et tout autre unité d'occupation du sol visités, suivi de descriptions et des photos à l'appui de ces entités d'une part et d'autre part de vérifier et confirmer les points GPS sélectionnés à partir de l'image satellitaire

2-3-5. Traitement numérique de données : classification d'image

La méthode de classification adoptée dans le cadre de cette étude est celle de la Classification Orienté Pixels (COP) dans le logiciel Envi à partir de l'algorithme Maximum de vraisemblance. Elle s'est faite en deux étapes : La première a consisté à identifier les grands groupes d'occupations du sol à savoir : les formations denses, les formations peu denses, les surfaces en eaux, les sols nus et sites habités. La seconde étape a permis d'extraire les sous-unités par classification orientée pixel par la méthode de maximum de vraisemblance [26] sur les images Sentinel-2A et Landsat-8 dans le logiciel Envi. Ces deux étapes de classifications sont effectuées de façon similaire sur les 2 images dont les classifications obtenues au format raster sont exporté dans le logiciel ArcGis pour des conversions au format vecteur (shapefile) C'est ainsi que de proche en proche nous avons obtenues nos classes d'occupation du sol avec Sentinel-2A et Landsat-8.

2-3-6. Evaluation et validation de la classification supervisée

La validation du traitement a comporté deux étapes : La première concerne l'analyse thématique visuelle issue des compositions colorées de base 4/8/10 pour Landsat-8 et 8/11/3 pour Sentinel- 2A, et les résultats de la classification. La seconde est consacrée à l'analyse des matrices de confusion, pour évaluer le niveau de performance global du traitement mais également des classes d'occupation du sol. La précision globale et le coefficient de Kappa. Selon [27] l'indice de Kappa caractérise le rapport entre les pixels bien classés et le total des pixels sondés. Une fois la classification validée, un filtre médian 3*3 permet de réduire l'hétérogénéité intra classes par élimination des pixels isolés et nous procédons à l'habillage des cartes en tenant compte des éléments sémiologiques.

3. Résultats

3-1. Précisions cartographiques des 2 types d'images

Les 2 cartographies du site d'étude réalisée avec les images Sentinel-2A de 26-12-2018 et l'image Landsat-8 de 20-01-2019 ont permis d'obtenir les précisions suivantes : La précision globale de la classification est de 90,63 % pour Sentinel = 2A (**Tableau 1**) et de 88,21 % pour Landsat-8. (**Tableau 2**). Les valeurs des matrices de confusions sont présentées en pourcentages. Nous avons obtenu quinze (15) classes avec Sentinel à savoir : Forêt dégradée (FD) ; Forêt dense temporairement inondée (FDTI) ; Forêt marécageuse (FM) ; Forêt de raphia (FRa); Savane incluse marécageuse (SIM) ; Savane incluse temporairement inondée (SITI) ; Mosaïque jachères cultures pérennes à dominance d'hévéa (MJCPH); Mosaïque cocoteraie/jachères (MJC) ; Mosaïque jachères cultures pérennes à dominance de Palmier à huile (MJCPPH) ; Mosaïque jachères/cultures annuelles (MJCA) ; Bas-fonds marécageux à tapis herbacé (BFMTH) ; mangrove (M) ; Plan d'eau (PE) ; Sols nus (SN) ; Habitats (H). Au niveau de l'image avec Landsat, nous avons obtenu onze (11) classes à savoir : FD = forêt dégradée ; FDTI = forêt dense temporairement inondée ; FM = forêt marécageuse, SIMN = savane incluse marécageuse ou non ; MJCPHC = mosaïque jachères cultures pérennes à dominance d'hévéa et cocoteraie ; MJCPPH= mosaïque jachères cultures pérennes à dominance de palmier à huile ; MJCA = mosaïque jachères cultures annuelles ; BFMTH = bas-fonds marécageux à tapis herbacé ; M = mangrove ; PE = plan d'eau et SNH = sols nus et habitats. On constate que les résultats sont plus prolifiques en termes d'unités d'occupations du sol au niveau de Sentinel que Landsat.

Tableau 1 : Matrice de confusion de la classification de l'image Sentinel-2A

classified Data	FD	FDTI	FM	Fra	SIM	SITI	MJCPH	MCJ	MJCPPH	MJCA	BFMTH	M	PE	SN	H	Row Total
FD	98,18	1,39	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,01
FDTI	0,36	94,44	2,65	0,00	0,00	0,00	0,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	98,08
FM	0,00	4,17	95,59	1,43	0,00	0,00	0,00	0,77	0,00	0,00	3,33	3,85	0,00	0,00	0,00	109,13
Fra	0,00	0,00	0,29	90,48	0,00	1,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	92,10
SIM	0,00	0,00	0,00	2,38	95,83	0,00	0,00	0,26	0,00	0,00	3,33	0,00	0,00	0,00	0,00	101,80
SITI	0,00	0,00	0,29	0,00	0,00	93,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	93,63
MJCPH	0,36	0,00	0,44	0,00	0,00	0,00	96,88	0,00	3,13	1,11	0,00	0,00	0,00	7,14	0,00	109,06
MCJ	0,00	0,00	0,00	1,90	0,00	0,00	0,94	97,44	0,00	1,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	101,39
MJCPPH	0,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	93,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	94,48
MJCA	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	0,94	0,26	3,13	97,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	103,90
BFMTH	0,00	0,00	0,29	0,00	0,00	3,33	0,00	0,51	0,00	0,00	93,33	0,00	0,00	0,00	0,00	97,47
M	0,00	0,00	0,00	1,43	0,00	0,00	0,00	0,77	0,00	0,00	0,00	96,15	12,50	0,00	0,00	110,85
PE	0,00	0,00	0,00	2,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	87,50	0,00	0,00	89,88
SN	0,00	0,00	0,00	0,00	4,17	0,00	0,63	0,00	0,00	0,56	0,00	0,00	0,00	92,86	0,00	98,20
H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100	100,00
Column Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1500

Overall Accuracy = [%] 90,63 ; indice Kappa = 0,94

FD : Forêt dégradée ; FDTI : Forêt dense temporairement inondée ; FM : Forêt marécageuse Fra : Forêt de raphia ; SIM : Savane incluse marécageuse ; SITI : Savane incluse temporairement inondée ; MJCPH : Mosaique jachères cultures pérennes à dominance d'hévéa ; MCJ : Mosaique cocoteraie / jachères ; MJCPPH : Mosaique jachères cultures pérennes à dominance de Palmier à huile ; MJCA : Mosaique jachères / cultures annuelles. BFMTH : Bas-fonds marécageux a tapis herbacé ; M : mangrove ; PE : Plan d'eau ; SN : Sols nus ; H : Habitats

Tableau 2 : Matrice de confusion de la classification de l'image Landsat-8 (2019)

Overall Accuracy = [%] 88,21 ; indice Kappa = 0,93

Data Classified	FD	FDTI	FM	SIMN	MJCPHC	MJCPPH	MJCA	BFMTH	M	PE	SNH	Row Total
FD	94,55	1,69	0,81	0,00	2,24	0,00	1,67	0,00	0,00	0,00	0,00	100,95
FDTI	2,18	94,81	2,90	0,00	0,34	0,00	0,00	0,00	5,38	0,00	0,00	105,62
FM	0,91	3,12	95,16	0,00	0,00	1,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	101,06
SIMN	0,91	0,13	0,32	96,15	0,00	0,00	0,00	1,33	0,00	0,00	4,44	103,29
MJCPHC	0,91	0,26	0,00	1,15	96,55	3,13	2,78	0,00	0,00	0,00	1,11	105,89
MJCPPH	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	93,75	2,78	0,00	0,00	0,00	0,00	96,53
MJCA	0,55	0,00	0,00	0,00	0,52	0,00	88,89	2,00	0,00	0,00	0,00	91,95
BFMTH	0,00	0,00	0,00	1,92	0,00	0,00	2,78	93,33	3,85	0,00	0,00	101,88
M	0,00	0,00	0,81	0,00	0,00	1,25	0,00	3,33	84,62	0,00	0,00	90,01
PE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,15	100	0,00	106,15
SNH	0,00	0,00	0,00	0,77	0,34	0,00	1,11	0,00	0,00	0,00	94,44	96,67
Column Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1100

FD = forêt dégradée ; FDTI = forêt dense temporairement inondée ; FM = forêt marécageuse, SIMN = savane incluse marécageuse ou non ; MJCPHC = mosaïque jachères cultures pérennes à dominance d'hévéa et cocoteraie ; MJCPPH = mosaïque jachères cultures pérennes à dominance de palmier à huile ; MJCA = mosaïque jachères cultures annuelles ; BFMTH = bas-fonds marécageux à tapis herbacé ; M = mangrove ; PE = plan d'eau ; SNH = sols nus et habitats.

3-2. Evaluation cartographique des 2 types d'occupation du sol

Le traitement des 2 types d'images ont permis d'avoir des résultats sous forme de cartes (*Figure 3 et 4*). Pour chaque carte d'occupation du sol, les zones périphériques ont été pris en compte pour une vue large des activités autour du site Ramsar.

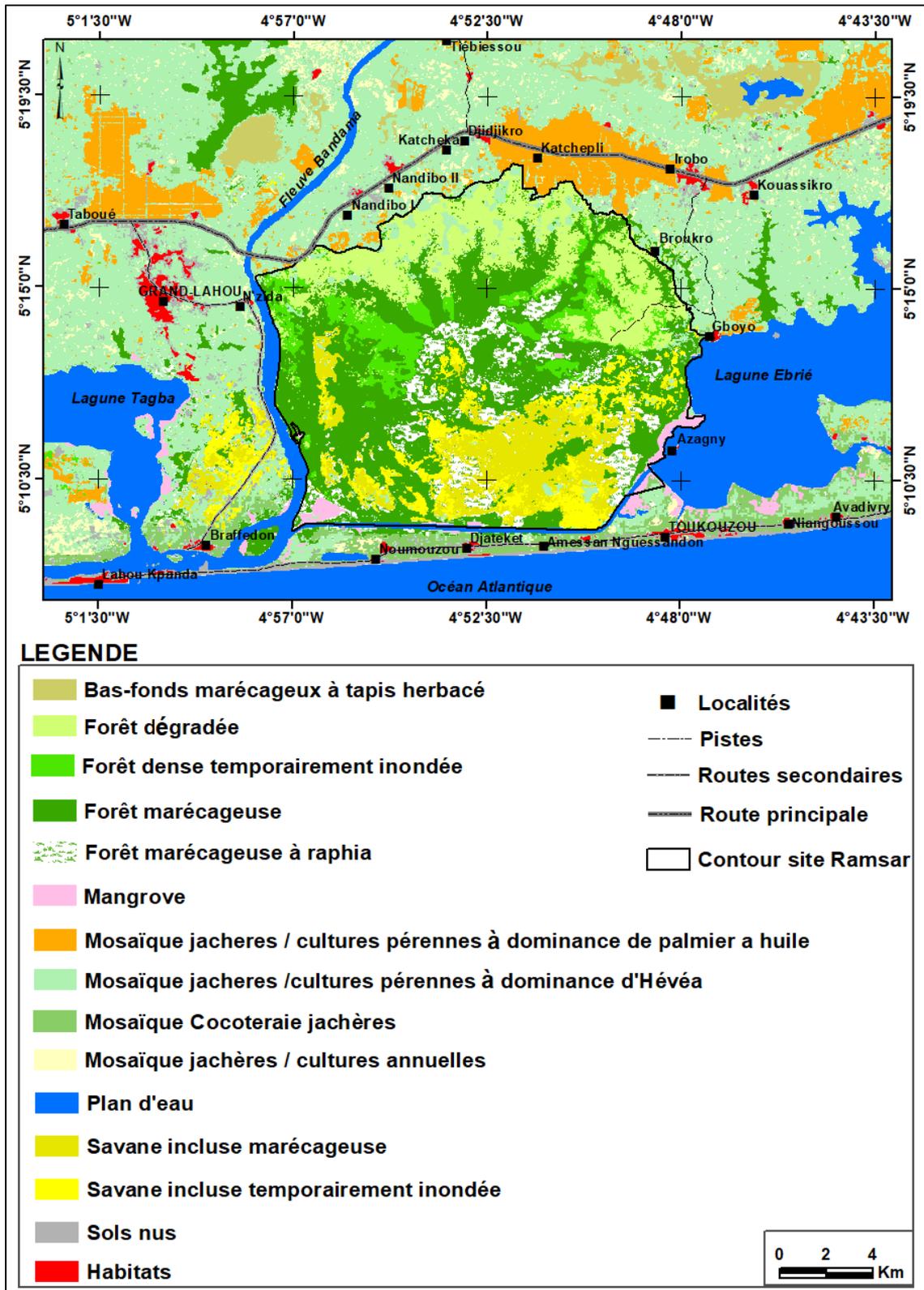


Figure 3 : Carte d'occupation du sol du site Ramsar d'Azagny à partir de Sentinel-2A



Figure 4 : Carte d'occupation du sol actualisée du site Ramsar d'Azagny à partir de Landsat-8

On constate Qualitativement qu'il y'a une exhaustivité d'entités discriminées et extrait à partir de Sentinel-2, ce qui lui confère une supériorité de classes que Landsat-8. Les classes : 'Sols nus et Habitats' par exemple fusionnées dans Landsat ont été extrait individuellement avec Sentinel-2. Pareillement pour les classes de 'savanes incluses' et les classes de 'mosaïque jachères cultures pérennes à dominance d'hévée et cocoteraie', fusionnées avec Landsat-8, et extrait individuellement avec Sentinel-2. Et enfin, la classe de 'foret marécageuse a raphia' extrait en intégralité avec Sentinel-2 alors que fusionne avec la classe 'foret marécageuse' au niveau de landsat-8. Les **Tableaux 3 et 4** montrent quantitativement les superficies des différents types d'occupation du sol obtenu par Landsat-8 et sentinel-2A.

Tableau 3 : Superficies des classes d'occupation du sol à partir de l'image Sentinel 2A

Classes	Superficies (Ha)
FD	7081,2
FDTI	3552,3
FM	7157,8
FMaR	2049,7
SIM	3585,3
SITI	2259,9
MJCPH	22522,8
MCJ	2292,0
MJCPPH	4785,5
MJCA	5262,3
BFMTH	3916,1
M	1108,0
PE	19829,3
SN	2198,6
H	1922,6
TOTAL	89523,359

Tableau 4 : Superficies des classes d'occupation du sol à partir de l'image Landsat-8

Classes	Superficies (Ha)
FD	5342,669
FDTI	5088,987
FM	9073,341
SIMN	6018,292
SNH	3988,817
M	895,204
MJCA	2669,669
MJCPhC	28805,562
MJCPhH	6633,642
BFMTH	2065,861
PE	18941,315
TOTAL	89523,359

3-3. Proportion de chaque unité d'occupation du sol

Sur les 11 classes d'occupation du sol obtenues avec Landsat-8 Oli, 2 classes de plus ont été discriminées individuellement avec Sentinel-2. Ce sont : Forêt de raphia (FRa) et Mosaique cocoteraie/jachères (MJC). 2 autres classes, présentes au niveau de la classification avec Landsat-8 (savane marécageuse ou non et sols nus et habitats) ont pu être scindées en 4 entités d'occupation du sol avec Sentinel-2, respectivement à savoir: savane incluse marécageuse ; savane incluse temporairement inondée ; sols nus ; Habitats. Ces résultats montrent à quel point la classification d'occupation du sol donne plus de détails en termes d'entités avec Sentinel-2 et Landsat-8. Il faut noter que Sentinel-2 a une résolution spatiale de 10m, donc plus grande en terme de visibilité que celle de Landsat-8 qui enregistre à 30m donc plus petite. On peut constater aussi que la proportion de chaque unité d'occupation du sol (*Figure 4 et Figure 5*) est inégale, même pour les entités inchangées sur les classifications des deux images. Par exemple les classes de bas-fonds marécageux à tapis herbacé, forêt dense temporairement inondée, forêt dégradée, mosaïque jachères cultures pérennes à dominance de palmier à huile, mosaïque jachères cultures annuelles et le plan d'eau, représentent respectivement 4 %, 4 %, 8 %, 5 %, 6 % et 22 % de la superficie totale avec Sentinel-2 contre respectivement 2 %, 6 %, 6 %, 7 %, 3 % et 21 % avec Landsat-8. Les classes dont les superficies restent approximativement les mêmes sur l'ensemble des deux classifications sont les classes de mangroves (1 % de part et d'autre), l'association sols nus et habitats (5 % de part et d'autre). Il faut aussi noter que la classe de forêt de raphia est une sous-classe des forêts marécageuses, elle peut donc être associée à la forêt marécageuse au niveau

de la classification avec Sentinel-2. Dans ce cas, l'association des deux aura la même proportion que celle obtenue (forêt marécageuse) avec Landsat-8 avec 10 % de superficie de part et d'autres.

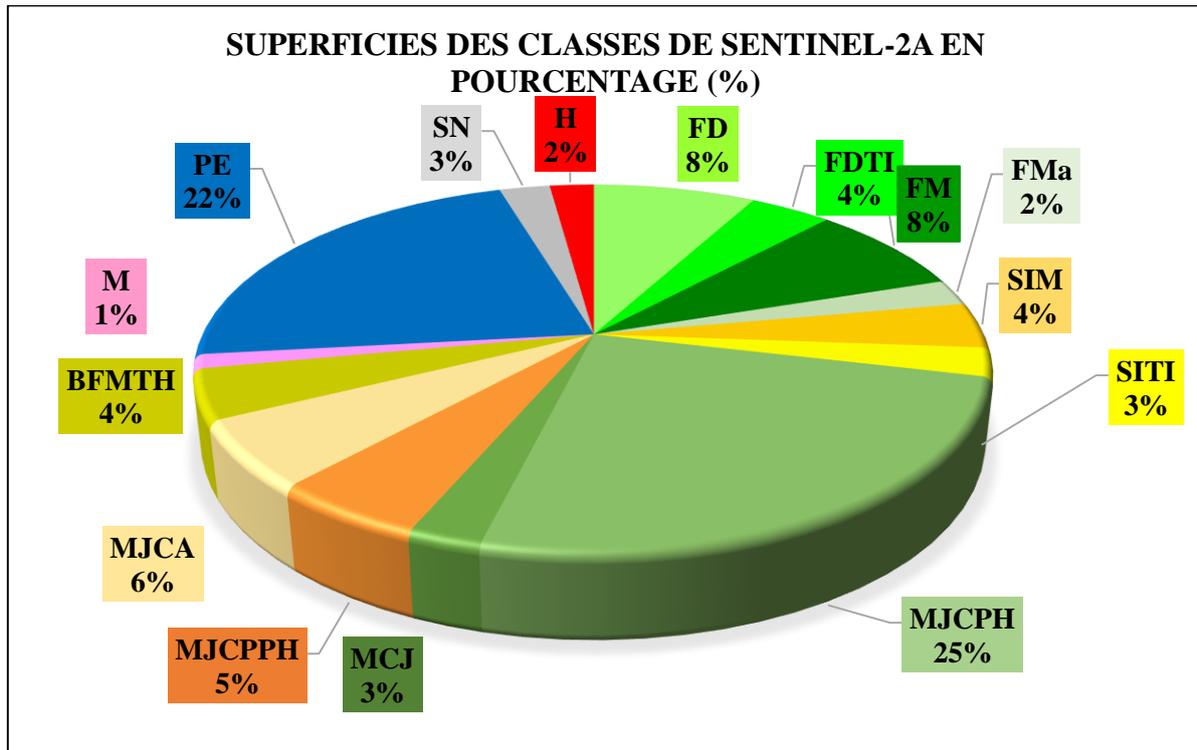


Figure 5 : Répartition spatiale des types d'occupation de sol à partir de l'image Sentinel 2A

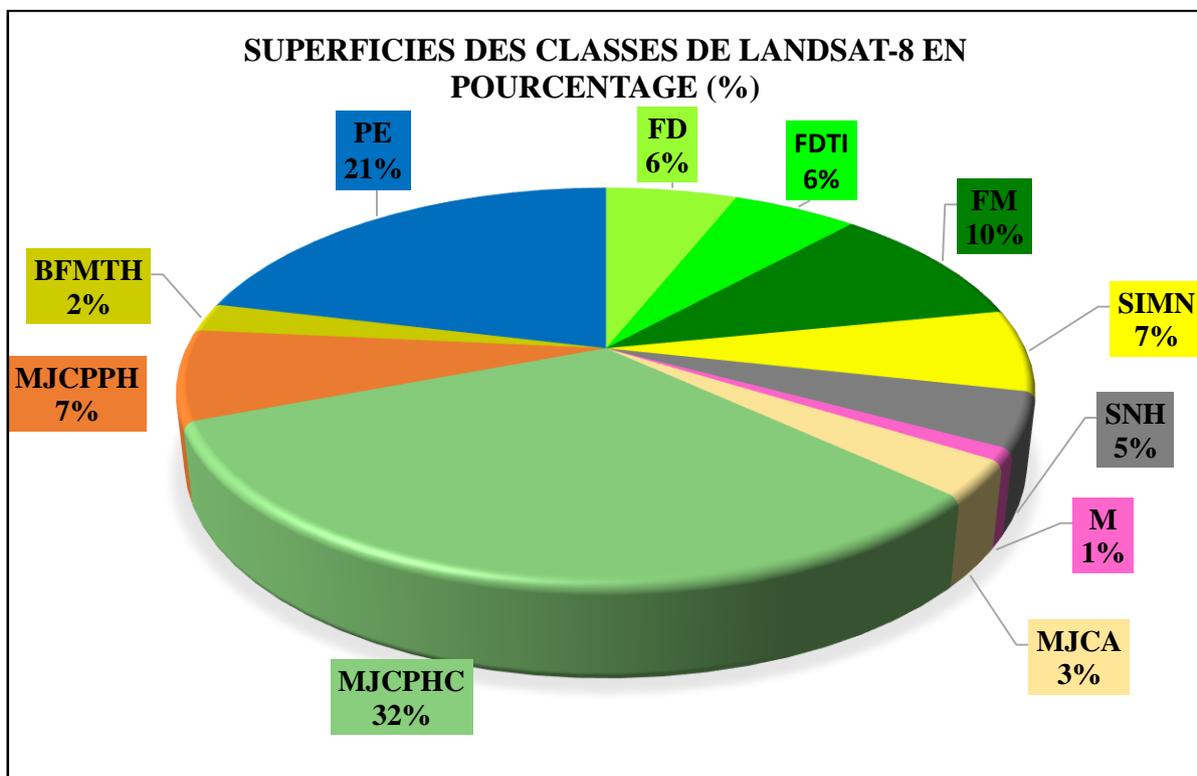


Figure 6 : Répartition spatiale des types d'occupation de sol à partir de l'image Landsat-8

4. Discussion

La présente étude a permis, de disposer d'une cartographie d'occupation actualisée à l'échelle du site Ramsar d'Azagny. Nous avons utilisé la même condition de traitement d'algorithme (avec une formation identique et ensemble de données de validation), pour comparer les données Sentinel 2 et Landsat-8 pour une cartographie d'occupation du sol optimale. Premièrement, nous avons comparé les précisions cartographiques des deux types d'images satellitaires. Les précisions globales résultantes (90,63 % pour Sentinel-2 et 88,21 % pour Landsat-8) et les coefficients Kappa (0,94 pour Sentinel-2 et 0,93 pour Landsat-8) ont montré que Sentinel-2 offre la meilleure classification que Landsat-8. Cela pourrait se justifier par le fait que Sentinel 2 a une résolution spatiale plus fine (10 m) que Landsat-8 Oli (30 m). Dans ses travaux de thèses sur la dynamique du couvert végétal du Parc National d'Azagny (site Ramsar d'Azagny actuel) avec l'imagerie Landsat, cet auteur a obtenu une précision globale de 76,4 % en 1987, 77 % en 2002, et 81 % en 2012 [28]. Effectivement, dans la littérature, une classification est jugée acceptable lorsque la valeur du coefficient Kappa est supérieure à 75 % [24]. Pour cette étude, la méthode de classification optée pour les classifications est celle de maximum de vraisemblance. C'est l'un des algorithmes de classification les plus connus et les plus utilisés en télédétection [20, 26, 29]. Il est considéré comme une méthode de base des pixels [30] ou un pixel est affecté à la classe qui a le maximum de vraisemblance (probabilité maximale). Plusieurs échantillons par classe communément appelés 'Region Of Interest' (ROI) ont été utilisés afin que l'algorithme puisse prendre en compte les nombreux changements dans les caractéristiques spectrales [31]. Au-delà de cette évaluation, nous constatons de façon général à travers les deux types de satellites que les superficies des classes incluant les cultures pérennes [Mosaique jachères cultures pérennes à dominance d'hévéa (MJCPH); Mosaique cocoteraie/jachères (MJC) ; Mosaique jachères cultures pérennes à dominance de Palmier à huile (MJCPPH)] sont très forte surtout dans la périphérie du site Ramsar par rapport aux formations végétales naturelles [Forêt dense temporairement inondée (FDTI) ; Forêt marécageuse (FM) ; Forêt de raphia (FRa); Savane incluse marécageuse (SIM) ; Savane incluse temporairement inondée (SITI)] qui sont plus ou moins dense vers le Sud du site Ramsar. Ce constat s'expliquerait du fait que la déforestation est fortement corrélée à la croissance démographique [26]. La recherche de nouvelles terres fertiles pour les cultures et d'endroits propices pour l'habitat affecte fortement les espaces naturels (parcs, site Ramsar). En effet, lorsque les populations s'installent, ils commencent par racler les zones périphériques et avec le temps, lorsque les ressources s'amenuisent, les espaces naturels sont pénétrés et cela favorise la dégradation des espaces naturels. Au niveau des proportions des unités d'occupations du sol, on peut remarquer que 44 % de la superficie totale du site Ramsar d'Azagny y compris la zone périphérique est occupée par les activités anthropiques majoritairement agricole et pérenne à travers Sentinel-2 et de même, 47 % à travers Landsat-8. Ces résultats pourraient être liés au nombre de classes d'occupation du sol que chaque satellite a pu détecter du site, à leur résolution spatiale mais aussi à leur résolution spectrale. Sentinel-2 possède au niveau spectrale 12 bands contre 7 pour Landsat-8. Au niveau spatial, Sentinel-2 à 10 m de résolution spatiale contre 30 m pour Landsat-8. Toutes ces raisons justifient la spécificité et le nombre de classes obtenues avec Sentinel-2 par rapport à Landsat-8. En effet avec Landsat-8, l'on a dû regrouper certaines classes car difficile d'être distingué individuellement comme le cas de sol nu et habitat et savane incluse marécageuse ou non. Alors qu'avec Sentinel-2, la catégorisation de ces classes a été possible.

5. Conclusion

La présente étude d'évaluation de l'occupation du sol du site Ramsar d'Azagny par les données satellitaires de Landsat-8 OLI et Sentinel-2 au sud de la cote d'ivoire, s'inscrit dans le cadre du projet GDHAO « Gestion Durable des Zones Humides pour le renforcement de la sécurité alimentaire et la résilience des écosystèmes en Afrique de l'Ouest ». Elle vise d'une part à contribuer à une gestion durable du site Ramsar d'Azagny par

le gestionnaire qu'est l'Office Ivoirien des Parcs et Réserves (OIPR) et d'autres part à aider à la décision de surveillance spatiale par les outils d'observation de la terre à travers Landsat-8 OLI et Sentinel-2. Les deux cartographies d'occupations du sol ainsi obtenus à partir du même algorithme de classification sont la résultante des caractéristiques radiométriques, spectrales et spatiales des capteurs des deux satellites. Il convient donc de préciser que Sentinel-2, à travers ses 15 classes obtenues contre les 11 de Landsat-8 Oli est le meilleur outil de surveillance spatiale des petites et moyennes étendues comme le site Ramsar d'Azagny.

Références

- [1] - M. P. MC CARTNEY and M. C. ACREMAN, "Wetlands and water resources". *The Wetlands Handbook*, (2009) 358 - 381. <https://doi.org/10.1002/9781444315813.ch17>
- [2] - E. MALTBY, T. BARKER, "Biodiversity in wetlands". *The Wetlands Handbook*, Oxford, (2009) 65 - 95. <https://doi.org/10.1002/9781444315813.ch17>
- [3] - K. E. KONAN, "Conservation de la diversité végétale et activités humaines dans les aires protégées du sud forestier ivoirien : l'exemple du Parc National d'Azagny". Thèse de doctorat. Université de Cocody, (2008) 269 p.
- [4] - K. A. KOFFI, "Dynamique de la végétation et valeurs de conservation des espaces anciennement cultivés du parc national d'Azagny (sud de la côte d'ivoire)". Thèse de Doctorat, UFR Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, (2016) 185 p.
- [5] - F. ACHARD, H. D. EVA, P. MAYAUX, T. RICHARDS, H. J. STIBIG, "Development of a global tropical forest monitoring system using Earth observation satellite data". Remote Sensing and Forest Monitoring Conference Proceedings. *European Commission*, Luxembourg, EUR 19530, (2000) 200 - 207
- [6] - J. IMBERSON and A. BRANTHOMME, "Characterization of landscape patterns of deforestation in tropical rain forest". *International Journal of Remote Sensing* ., Vol. 22, N°9 (2001) 1753 - 1765
- [7] - L. TOLE, "An estimate of forest extent and change in Jamaica using Landsat MSS data". *International Journal of Remote sensing* , Vol. 23, N° 1 (2002) 91 - 109
- [8] - K. E. N'GUESSAN ET D. H. N'DA D, "Caractérisation et cartographie par télédétection satellitaire de la végétation de la forêt classée de Bouaflé (Côte d'Ivoire)". *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 06 (2005) 161 - 172
- [9] - M. A. WULDER, N. C. COOPS, D. P. ROY, J. C. WHITE, T. HERMOSILLA, Land cover 2.0. *Int. J. Remote Sens.*, 39 (2018) 4254 - 4284
- [10] - H. SHAHABI, A. SHIRZADI, K. GHADERI, E. OMIDVAR, N. AL-ANSARI, J. J. CLAGUE, M. GEERTSEMA, K. KHOSRAVI, A. AMINI, S. BAHRAMI, "Flood detection and susceptibility mapping using sentinel-1 remote sensing data and a machine learning approach: Hybrid intelligence of bagging ensemble based on k-nearest neighbor classifier. *Remote Sens.*, 12 (2020) 266
- [11] - A. HALDER, A. GHOSH, S. GHOSH, Supervised and unsupervised landuse map generation from remotely sensed images using ant based systems. *Appl. Soft Comput.*, 11 (2011) 5770 - 5781
- [12] - P. SATHYA, L. MALATHI, "Classification and segmentation in satellite imagery using back propagation algorithm of ann and k-means algorithm". *Int. J. Mach. Learn. Comput.*, 1 (2011) 422
- [13] - J. AL-DOSKI, S. B. MANSORL, H. Z. M. SHAFRI, "Image classification in remote sensing". *J. Environ. Earth Sci.*, 3 (2013) 10
- [14] - O. ROZENSTEIN, A. KARNIELI, "Comparison of methods for land-use classification incorporating remote sensing and GIS inputs". *Appl. Geogr.*, 31 (2011) 533 - 544
- [15] - S. YOUSEFI, S. MIRZAEI, M. TAZEHI, H. POURGHASEMI, H. KARIMI, "Comparison of different algorithms for land use mapping in dry climate using satellite images : A case study of the Central regions of Iran". *Desert*, 20 (2015) 1 - 10

- [16] - F. AL-AHMADI, A. HAMES, "Comparison of four classification methods to extract land use and land cover from raw satellite images for some remote arid areas, Kingdom of Saudi Arabia". *Earth*, 20 (2009) 167 - 191
- [17] - S. K. BETT, L. G. PALAMULENI, T. M. RUHIGA, "Monitoring of urban sprawl using minimum distance supervised classification algorithm in Rustenburg, South Africa". *Asia Life Sci.*, 9 (2013) 245 - 261
- [18] - L. N. KANTAKUMAR, P. NEELAMSETTI, "Multi-temporal land use classification using hybrid approach". *Space Sci.*, 18 (2015) 289 - 295
- [19] - S. RIJAL, B. RIMAL, S. SLOAN, "Flood hazard mapping of a rapidly urbanizing city in the foothills (Birendranagar, Surkhet) of Nepal." *Land*, 7 (2018) 60
- [20] - B. RIMAL, S. RIJAL, R. KUNWAR, "Comparing Support Vector Machines and Maximum Likelihood Classifiers for Mapping of Urbanization". *J. Indian Soc. Remote Sens.*, 48 (2020) 71 - 79
- [21] - P. N. THANH, M. KAPPAS, "Comparison of random forest, k-nearest neighbor, and support vector machine classifiers for land cover classification using Sentinel-2 imagery". *Sensors*, 18 (2018) 18
- [22] - A. THAKKAR, V. DESAI, A. PATEL, M. POTDAR, "Land use/land cover classification using remote sensing data and derived indices in a heterogeneous landscape of a Khan-Kali watershed, Gujarat". *Asian J. Geoinformatics*, 14 (2015) 1 - 12
- [23] - F. LAUGINIE, "Conservation de la nature et des aires protégées en Côte d'Ivoire". *NEI/Hachette et Afrique Nature*, Abidjan, (2007) 668 p.
- [24] - M. C. GIRARD and C. M. GIRARD, *Traitement des Données de Télédétection*. Dunod, Paris, France, (1999) 529 p.
- [25] - E. P. CRIST and R. C. CICONE, *Application of the Tasseled Cap Concept to Simulated Thematic Mapper Data*, Environmental Research Institute of Michigan Ann Arbor, MI 48107, (1984) 10 p.
- [26] - H. D. N'DA, K. E. N'GUESSAN, E. M. WADDJA and K. AFFIAN, "Apport de la télédétection au suivi de la déforestation dans le Parc National de la Marahoué (Côte d'Ivoire)". *Télédétection*, 8 (1) (2008) 17 - 34
- [27] - G. SKUPINSKI, D. B. TRAN, C. WEBER, *Les images satellites Spot multi-dates et la métrique spatiale dans l'étude du changement urbain et suburbain : Le cas de la basse vallée de la Bruche (Bas-Rhin, France)*. In "*Cybergeo : European Journal of Geography*", 439 (2009) 95 p.
- [28] - K. A. KOFFI, *Dynamique de la végétation et valeurs de conservation des espaces anciennement cultivés du parc national d'Azagny (sud de la Côte d'Ivoire)*. Thèse Doctorat, UFR Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, (2016) 185 p.
- [29] - K. S. DAHAN, H. D. N'DA, C. A. KAUDJHIS, "Dynamique spatio-temporelle des feux de 2001 à 2019 et dégradation du couvert végétal en zone de contact forêt-savane, Département de Toumodi, Centre de la Côte d'Ivoire". *Afrique Science*, 19 (2) (2021) 94 - 113
- [30] - A. MONDAL, S. KUNDU, S. K. CHANDNIHA, R. SHUKLA, P. MISHRA, "Comparison of support vector machine and maximum likelihood classification technique using satellite imagery". *Int. J. Remote Sens. GIS*, 1 (2012) 116 - 123
- [31] - J. RICHARDS, *Remote Sensing Digital Image Analysis*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, (1999) 240 p.