

Appréciation du potentiel des images satellitaires Sentinel1 et Sentinel2 pour la cartographie du parc marin des mangroves, en République Démocratique du Congo

[Assessment of the potential of satellite imagery Sentinel1 and Sentinel2 for the mapping of the mangrove marine park in the Democratic Republic of Congo]

B. MUYAYA KALAMBAY¹, J.P. RUDANT², R. LUMBUENAMO SINSI¹, P. MUAMBA MUAMBAZAMBI¹⁻³, A. WAYAWO MANDATA⁴, G. KONUNGA MBOTEKOLA⁵, and M. COLLET⁶

¹Laboratoire de Géomatique Appliquée et Environnement, École Régionale Post Universitaire d'Aménagement et de Gestion Intégrés des Forêts et Territoires Tropicaux, Kinshasa, RD Congo

²Université de Paris Est Marne, LaSTIG, UPEM – IGN, Paris, France

³Espace Géomatique et Environnement Tropical – EGET, Kinshasa, RD Congo

⁴Université de Douala, Informatique Appliquée aux Systèmes d'Informations Géographiques – IASIG, Douala, Cameroon

⁵Laboratoire d'Hydrobiologie, Ecole Régionale Post Universitaire d'Aménagement et de Gestion Intégrés des Forêts et Territoires Tropicaux, Kinshasa, RD Congo

⁶Parc Marin des Mangroves, Institut Congolais pour la Conservation de la Nature, Moanda, Kongo – central, RD Congo

Copyright © 2017 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The mangrove marine park (MCP), like any ecosystem under threat of anthropogenic pressures, needs to be monitored in order to guide its governance strategy. In this paper, we present the preliminary results of the potential of satellite images Sentinel2, optical and Sentinel1, radar, for the mapping of PMM. In general, the use of satellite imagery is justified notably by the potential it offers to carry out multiple studies (multi-scale and multi-temporal) as well as by the difficulties of access to the site which is essentially marine, and therefore Difficult to access by land. In particular, the use of radar is justified by the limitation of optical imagery which is inoperative under cloudy skies while PMM is during long weeks of the cloudy year. To perform this work, we used a Sentinel2 scene of June 18, 2016 and a Sentinel1 scene of May 21, 2016. We used an object-oriented classification, after photo-interpretation of the scene extracts. The results show that S1 can detect savannah, high mangrove, low mangrove, inhabited areas, (large) buildings and water with satisfactory accuracy. Like S1, S2 can detect savannah, high mangrove, low mangrove, inhabited areas, water, (large) buildings in addition to bare soil. These results highlight the potential of scenes S1 and S2 for the mapping of coastal zones in the tropical context. S1 thus makes it possible to detect the same objects as S2, with the exception of the bare ground. This is an important asset for monitoring this ecosystem because it is free from the clouds that cover the area of many weeks during the year and limits its monitoring by optical imaging. In terms of prospects, we consider the detection of oil slicks using S1 images and the use of images with better spatial resolution (Pleiades, SPOT6 and 7) in order to assess the importance of anthropogenic activities Within the PMM (encampments, carbonization ...).

KEYWORDS: Potential, satellite imagery, Sentinel1 and Sentinel2, Cartography, mangrove Marine Park, Democratic Republic of Congo.

RÉSUMÉ: Le parc marin des mangroves (PMM), comme tout écosystème sous menaces des pressions anthropiques, a besoin d'être surveillé dans le but d'orienter la stratégie de sa gouvernance. Dans ce papier, nous présentons les résultats

préliminaires du potentiel des images satellitaires Sentinel2, optiques et Sentinel1, radar, pour la cartographie du PMM. De manière générale, le recours à l'imagerie satellitaire est justifié notamment par le potentiel qu'elle offre de réaliser des études multiples (multi échelle et multi temporelle) ainsi que par les difficultés d'accès au site qui est essentiellement marin, et donc difficile d'accès par voie terrestre. En particulier, le recours au radar se justifie par la limitation de l'imagerie optique qui est inopérante sous ciel nuageux alors que le PMM est durant des longues semaines de l'année couvert des nuages. Pour réaliser ce travail, nous avons utilisé une scène Sentinel2 du 18 juin 2016 ainsi qu'une scène Sentinel1 du 21 mai 2016. Nous avons recouru à une classification orientée objet, après photo-interprétation des extraits des scènes. Les résultats montrent que S1 permet de détecter la *savane*, la *mangrove haute*, la *mangrove basse*, les *zones habitées*, le *bâti* (de grandes dimensions) et l'*eau* avec une précision satisfaisante. De même que S1, S2 permet de détecter la *savane*, la *mangrove haute*, la *mangrove basse*, les *zones habitées*, l'*eau*, le *bâti* (de grandes dimensions) en plus du *sol nu*. Ces résultats mettent en évidence le potentiel des scènes S1 et S2 pour la cartographie des zones littorales dans le contexte tropical. S1 permet donc de détecter les mêmes objets que S2, à l'exception du sol nu. Ceci constitue un important atout pour la surveillance de cet écosystème car il s'affranchit des nuages qui couvrent la zone des nombreuses semaines durant l'année et en limite le suivi par imagerie optique. En termes de perspectives, nous envisageons la détection des nappes d'hydrocarbures à l'aide des images S1 ainsi que l'utilisation d'images de meilleure résolution spatiale (Pléiades, SPOT6 et 7) afin d'évaluer l'importance des activités anthropiques au sein du PMM (campements, carbonisation ...).

MOTS-CLEFS: Potentiel, images satellitaires, Sentinel1 et Sentinel2, Cartographie, parc marin des mangroves, République Démocratique du Congo.

1 INTRODUCTION

Avec une superficie de 76 800 hectares, le parc marin des mangroves (PMM) fait partie du réseau d'aires protégées in situ (parcs nationaux, réserves, domaine de chasse, ...) de la République Démocratique du Congo qui est géré par l'institut Congolais pour la conservation de la nature (ICCN).

Créé en 1992, le PMM est, depuis 1996, parmi les deux sites Ramsar de la RDC qui sont : le PMM et le parc national de Virunga (PNVi) [1 – 2]. C'est une aire protégée de catégorie II de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) dont l'objectif premier de gestion est non seulement de protéger la biodiversité naturelle, la structure écologique et les processus environnementaux sous-jacents mais aussi de promouvoir l'éducation et les loisirs [3 - 9].

Parmi les problèmes que connaît ce site, il y a le fait qu'il reste encore relativement mal connu. D'abord parce que très peu d'études y ont été réalisées et, ensuite, parce que le site est totalement marin, et donc difficile d'accès par voie terrestre. Ceci rend la tâche difficile aux chercheurs qui voudraient se lancer dans sa connaissance, au vu des moyens réduits dont dispose l'ICCN en particulier, et les chercheurs Congolais en général. Ceci justifie donc l'intérêt de l'utilisation de la télédétection spatiale comme outil de premier choix [10 – 15].

Le site est menacé par des activités anthropiques au nombre desquelles nous pouvons citer le braconnage (fig.1), le déboisement et la carbonisation (fig.2), la pêche non conventionnelle utilisant des techniques non admises (filet à maille réduite, ...), les pollutions par hydrocarbures car le site est souvent emprunté par les navires de haute-mer qui se rendent dans la ville de Matadi.



Fig.1. Viande des tortues marine saisie par les éco gardes
(photo Collet M, 2016)



Fig.2. Sacs des charbons à bois saisies par les éco gardes
(photo Collet M, 2016)

Il existe aussi divers sites d'extraction et de raffinage pétrolier qui se trouvent dans les environs du site (fig.3) et qui nécessitent son suivi spatiotemporel.



Fig.3. Pompe cheval localisée aux environs du PMM (photo Ntadi S, 2014)

Pour se faire, il est indiqué de recourir à l'utilisation couplée de l'imagerie optique et radar car l'imagerie optique seule, est limitée par le fait qu'elle est inopérante dans un contexte de nébulosité élevée, ce qui est le cas de notre site où le ciel est pendant des nombreuses semaines de l'année couvert des nuages.

L'objectif de la présente étude est d'apprécier le potentiel des images Sentinel2 (optiques) et Sentinel1 (radar) pour la cartographie du PMM et ses environs. Ceci pourrait fournir des indications sur le potentiel de suivi spatiotemporel de ce site à l'aide des images produites par les deux missions (Sentinel1 & 2) du projet *Copernicus* de l'agence spatiale européenne [16 – 17].

Nous partons de l'hypothèse de base selon laquelle l'association de l'imagerie radar et optique augmente la capacité de suivi temporel de l'environnement, dans la mesure où, le radar permet de lever la limite de la télédétection optique liée à la présence nuages.

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 SITE D'ÉTUDE

Créé en 1992, le PMM est localisé à l'Ouest de la République Démocratique du Congo; son emprise géographique est précisément située entre 5.91825° et 6.06174° des latitudes Sud et 12.3481° et 12.6052° des longitudes Est (fig.4 et 5) [18].

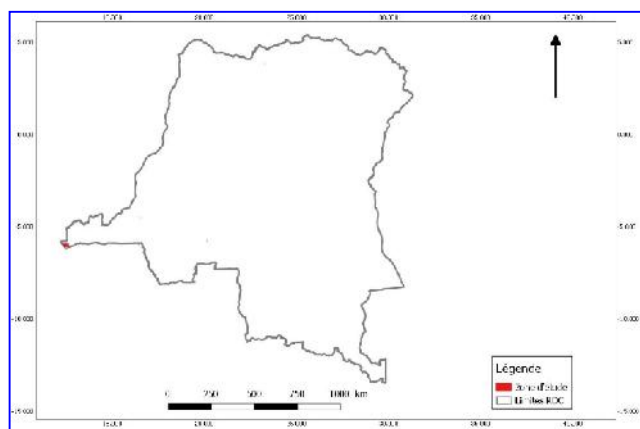


Fig.4. Localisation de la zone d'étude sur la RDC (MUYAYA B, 2017)

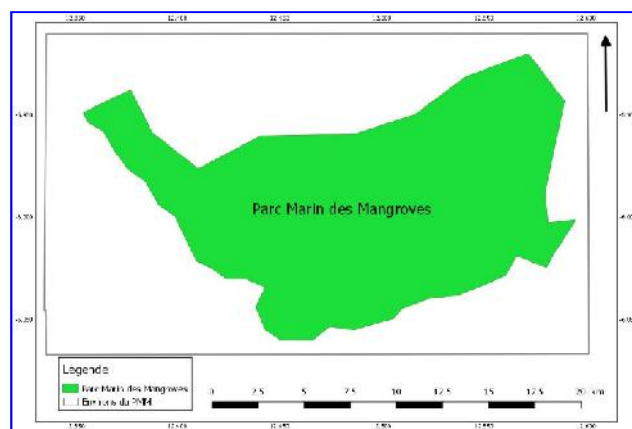


Fig.5. Carte de la zone d'étude (MUYAYA B, 2017)

Avec ses 76 800 hectares, le PMM est, depuis le 18 janvier 1996, un site Ramsar de la RDC [19], soit quatre années seulement après sa création. C'est une aire protégée de catégorie II de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) dont l'objectif premier de gestion est non seulement de protéger la biodiversité naturelle, la structure écologique et les processus environnementaux sous-jacents mais aussi de promouvoir l'éducation et les loisirs [20 – 23].

2.2 MATÉRIELS

2.2.1 IMAGES SATELLITAIRES

Nous avons utilisé une scène optique Sentinel2 (S2) du 18 juin 2016 (fig.6), dont l'extrait de la zone d'étude est illustré à la figure suivante (fig.7) et une scène radar Sentinel1 (S1), à double polarisation (VV – VH) du 16 mai 2016 (fig.8) et dont l'extrait de la zone d'étude est illustré à la figure ci-après (fig.9).

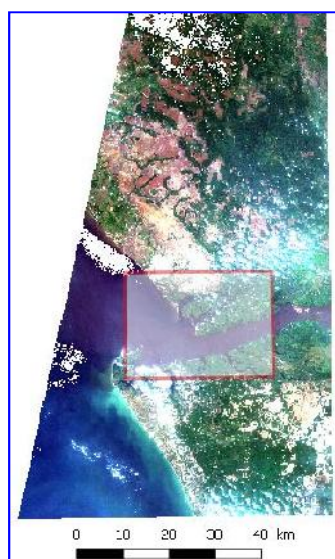


Fig.6. La scène S2 du 18 juin 2016 (432)



Fig.7. Extrait de la scène S2 correspondant de la zone d'étude (432)

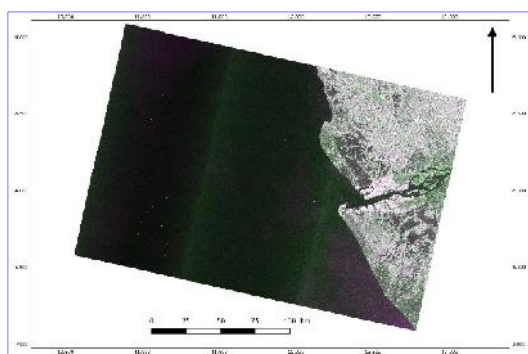


Fig.8. La scène S1 du 21 mai 2016 (VV-VH-VV)

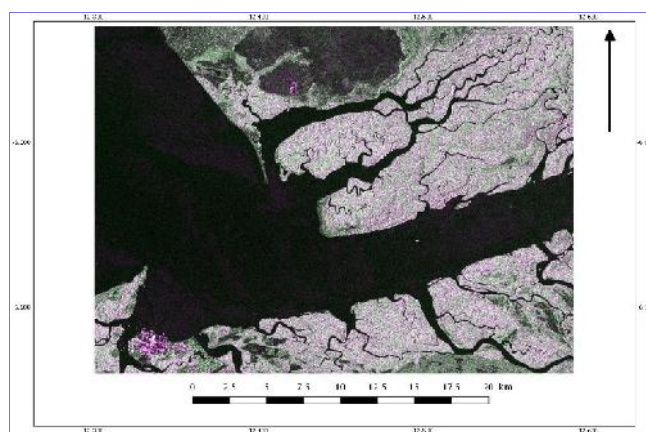


Fig.9. Extrait de la scène S1 correspondant de la zone d'étude (VV-VH-VV)

Les caractéristiques de la scène S1 utilisée sont résumées dans le tableau ci-après (tab.1) et celles de la scène S2 dans le tableau suivant (tab.2).

Tableau 1. Caractéristiques de la scène S1 utilisée [24 – 26]

Fréquence (bande)	5,331 GHz (bande C)
Polarisation	VV – VH (double polarisation)
Résolution spatiale	25 m x25 m
Résolution temporelle	35 jours

Précisons que la scène S1 initiale est composée de 28 612 x 22 349 pixels alors que l'extrait de la zone d'étude est quant à lui composé de 3 233 x 2 335 pixels, c'est-à-dire 32,3 km*23,3 km.

Tableau 2. Caractéristiques de la scène S2 utilisée [27 – 28]

Capteur	Bandes	Résolution spatiale	Longueur d'onde moyenne (nm)
MSI	B1	60 m	443
	B2	10 m	490
	B3	10 m	560
	B4	10 m	665
	B5	20 m	705
	B6	20 m	740
	B7	20 m	783
	B8	10 m	842
	B8A	20 m	865
	B9	60 m	945
	B10	60 m	1375
	B11	20 m	1610
B12	20 m	2190	

2.2.2 DONNÉES DE TERRAIN

Des données de terrain ont été collectées aux fins de la description des principales classes d'occupation de sol de la zone d'étude ainsi que la validation de la classification réalisée. Les classes suivantes ont été retenues :

- *Classe des mangroves hautes*, avec pour principale espèce le *Rhizophora racemosa*, elles sont de couleur « vert foncé » en couleur naturelles (fig.10) et de plus grande taille ; elles ne peuvent survivre que dans l'eau.
- *Classe des mangroves basses*, avec pour principale le *Rhizophora mangle*, elles sont de couleur « vert citron » en couleurs naturelles (fig.11), elles sont de moins grande taille que les premières et ne supportent pas beaucoup d'eau en permanence.
- *Classe de savane herbeuse*, avec plusieurs espèces d'herbacées parmi lesquelles le *Pandanus tectorius* (fig.12) *Imperata cylindrica* (fig.13).
- *classe eau*, avec pour occupation du sol l'eau (fig.14).
- *classe des sols nus*, caractérisée par un sol naturellement ou artificiellement nu (sans végétation, sans eau et sans activités humaines).
- *classe des zones habitées*, faite des zones d'habitations comprenant les maisons, les routes et d'autres infrastructures humaines.



Fig.10. Mangroves hautes à *Rhizophora racemosa* (MUYAYA B Fig.11. Mangroves hautes à *Rhizophora mangle* (RUDANT 2016) JP, 2016)

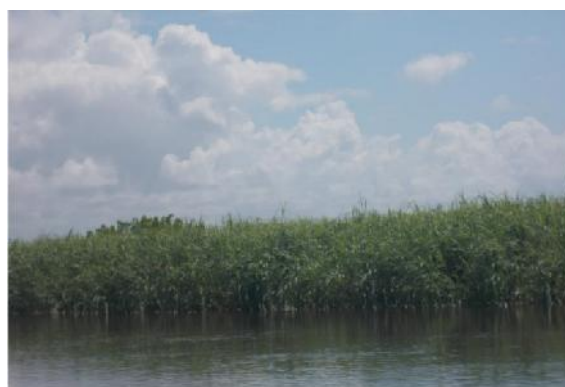


Fig.12. Savane herbeuse à *Pandanus tectorius* (MUYAYA B, Fig.13. Savane herbeuse *Imperata cylindrica* (NTADI S, 2016) 2014)



Fig.14. Eau (MUYAYA B, 2016)

2.2.3 TECHNIQUES UTILISÉES

2.2.3.1 PHOTO-INTERPRÉTATION

Nous avons premièrement recouru à la photo-interprétation des scènes afin d'y extraire, de manière visuelle, les objets d'intérêt.

La photo-interprétation de l'extrait S1 est directement faite sur les extraits des scènes suivants (fig.15 - 17).

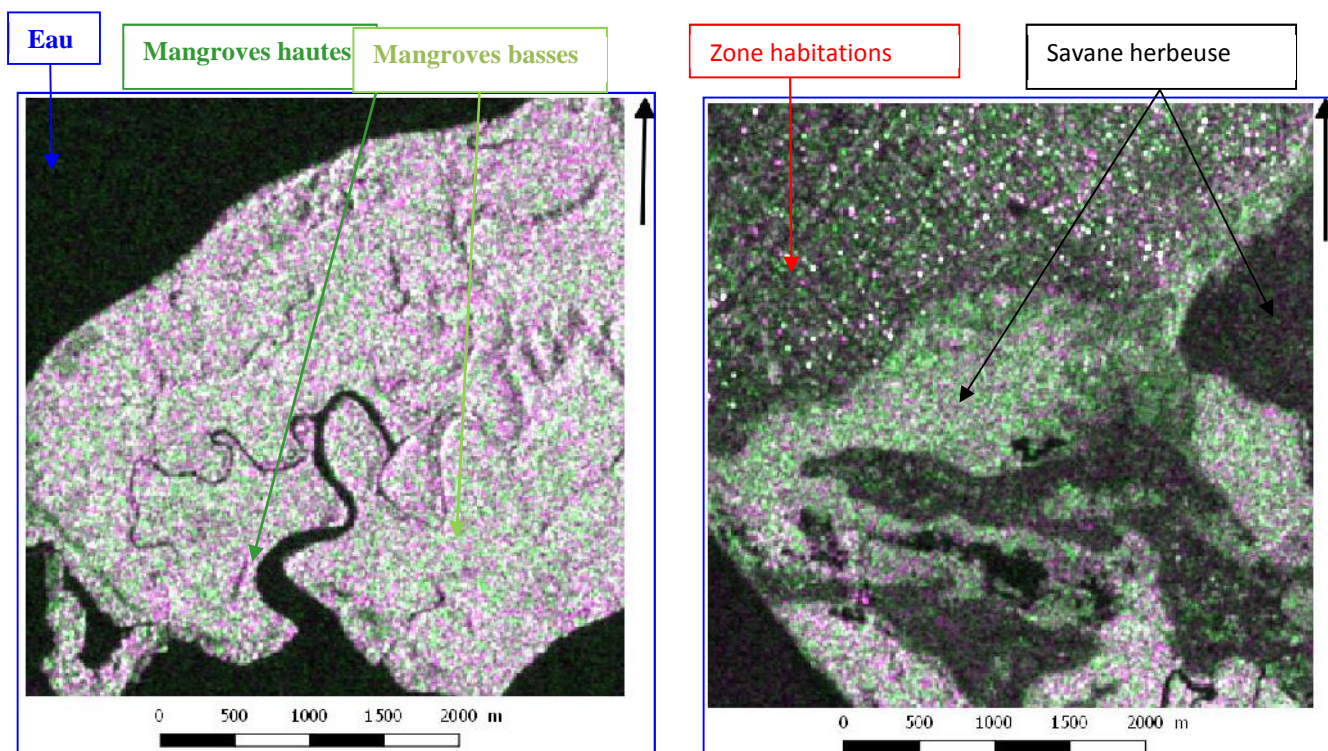


Fig.15. Extrait S1 : mangrove haute, basse et eau (VV-VH- VV) Fig.16.Extrait S1 : Habitations et savane (VV-VH- VV)

Sur la figure 15, l'eau est en couleurs sombres, les mangroves hautes sont de couleurs rosâtres alors que les mangroves basses sont de couleurs vert citron. Sur les figures 16 et 17, les habitations et le bâti peuvent être reconnues par leurs formes géométriques plus ou moins régulières, malgré la faible résolution spatiale.

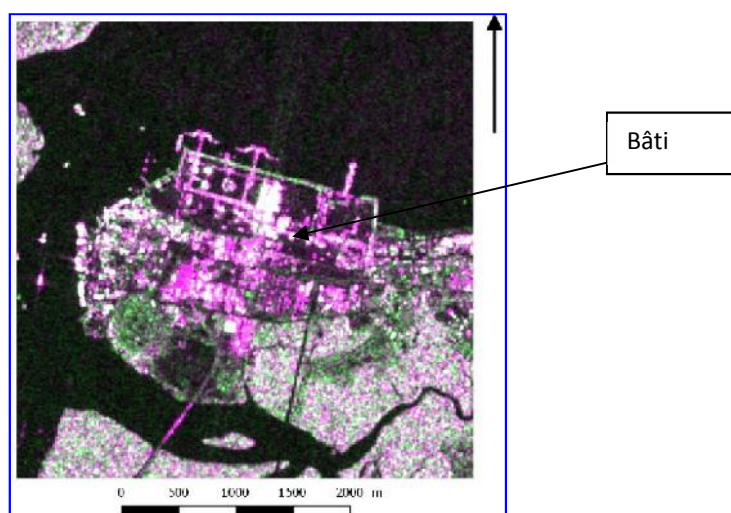


Fig.17. Extrait S1 ; Constructions de grandes dimensions (VV-VH-VV)

Nous avons aussi appliqué un filtre directionnel afin de séparer les « zones eau » des « zones non eau » (fig.18)

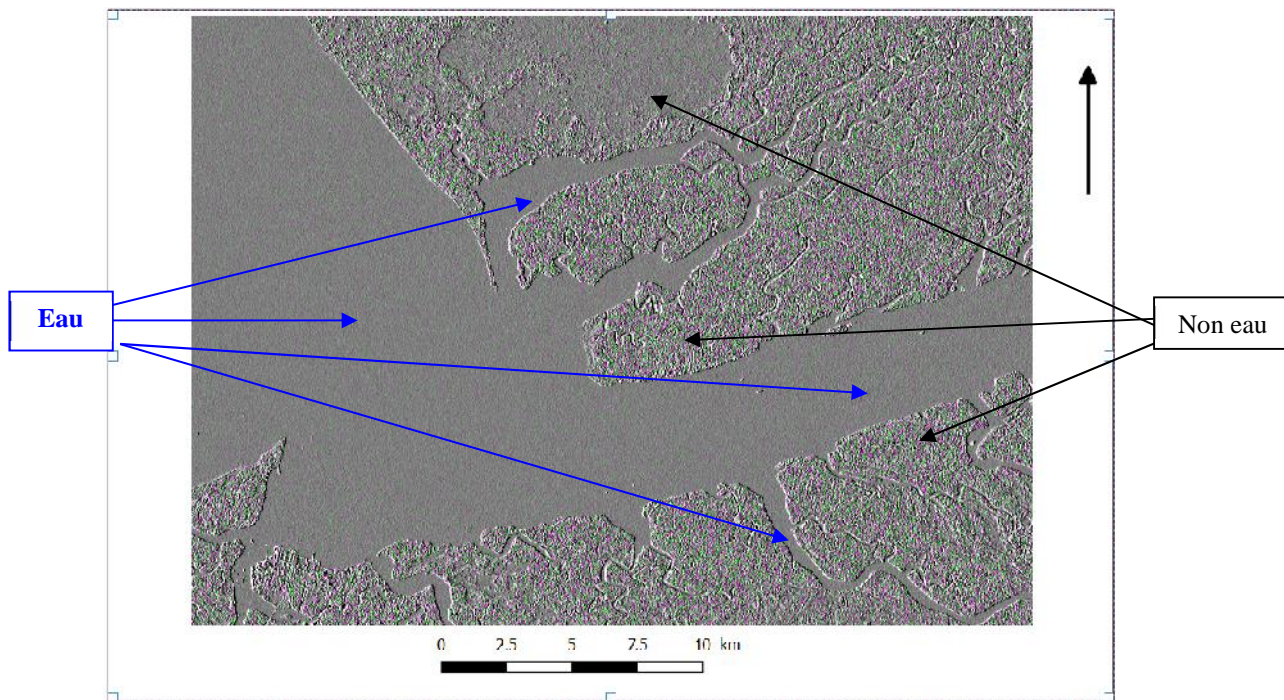


Fig.18. Extrait de la scène S1 de la zone d'étude filtré (directionnel) photo interprété (VV-VH-VV)

Pour la scène S2, la photo-interprétation a été directement réalisée sur les extraits des scènes (fig.19-20).

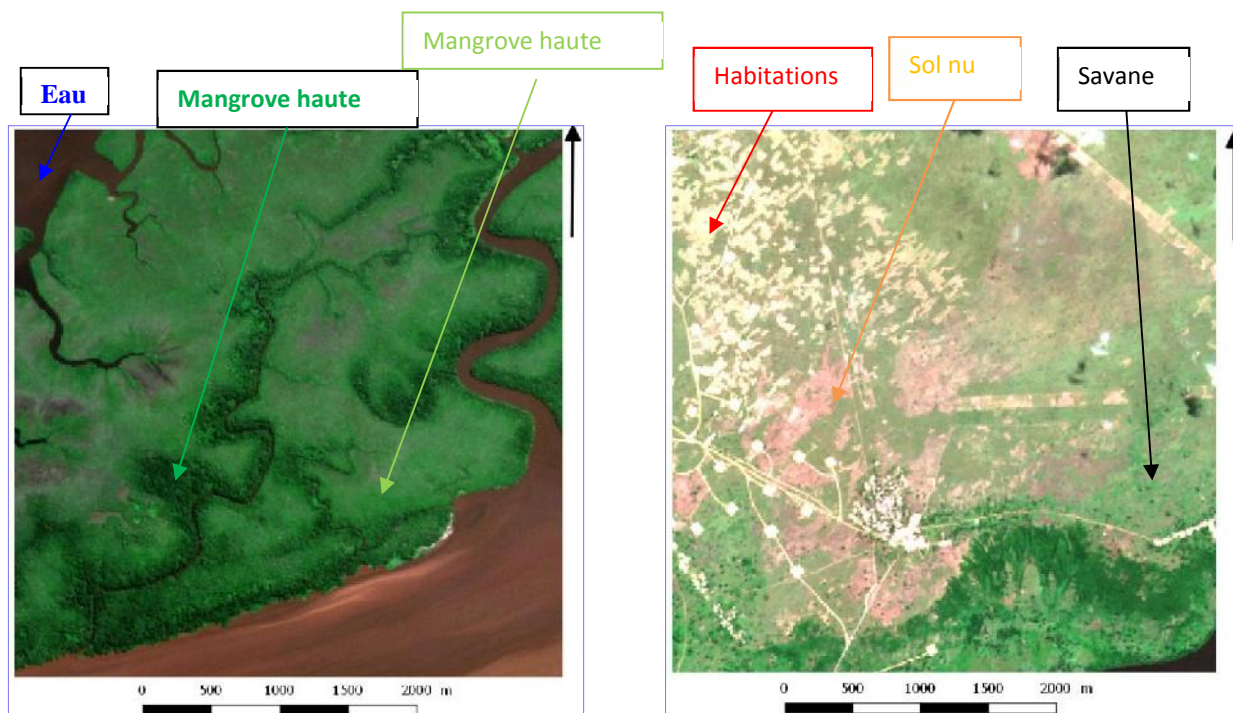


Fig.19 Extrait S2 : mangrove haute, basse et eau (432) Fig.20 Extrait S2 : habitation, sol nu et savane (432)

Ainsi, sur la figure 19, l'eau est de couleur sombre, la mangrove haute de couleur vert foncée et la mangrove basse de couleur vert citron. Sur la figure 20, la savane est de couleur vert pâle, le sol nu de couleur rosâtre alors que les habitations sont blanchâtres.

2.2.3.2 CLASSIFICATION

Nous avons recouru à la technique de classification seulement pour l'extrait de la scène S2. Pour cela, nous avons recouru à la classification orientée objet [29 - 31] qui est passée par la segmentation de la scène (fig.21-23)

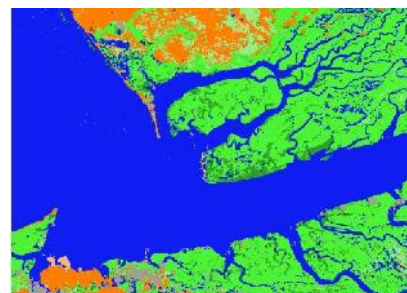
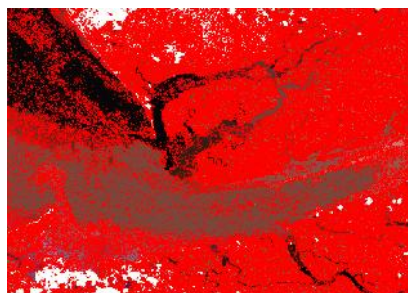


Fig.21. Extrait de la scène S2 de la zone d'étude (432)

Fig.22. Extrait de la scène S2 de la zone d'étude segmenté

Fig.23. Extrait de la scène S2 de la zone classifié

Les résultats de la classification ont été contrôlés à partir de la photo interprétation et des observations de terrain (fig.20 – 26).

La validation de l'interprétation et de la classification a été réalisée grâce aux données collectées sur terrain (vérités de terrain).

3 RESULTATS

Les résultats présentés dans le présent papier sont issus, pour la scène S1, de la photo-interprétation seulement voir figures ci-dessus (fig.15 - 18) alors que pour la scène S2 nous avons, en plus de la photo-interprétation, réalisé la classification qui a donné l'occupation du sol (fig.24).

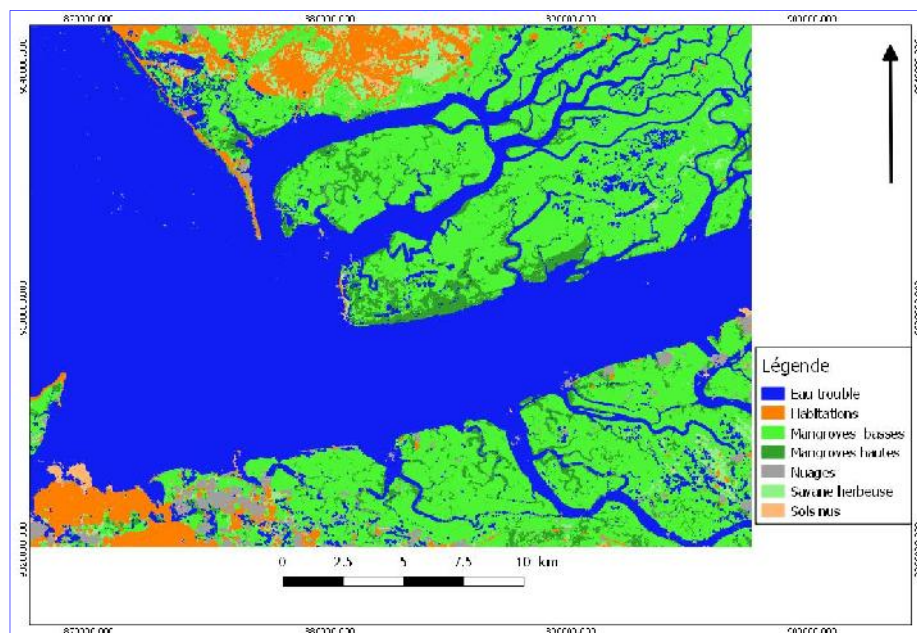


Fig.24. Carte d'occupation du sol de la zone d'étude à partir de la scène S2 du 18 juin 2016

4 DISCUSSION ET PERSPECTIVES

Les résultats montrent que les images S1 et S2, permettent toutes deux, de détecter la *savane*, la *mangrove haute*, la *mangrove basse*, les *zones habitées*, *l'eau*, le *bâti* (de grandes dimensions : bâtiments et installations à caractère industriel). S2 permet, en plus, de détecter le *sol nu*.

Ces résultats sont appréciables au regard du statut de la zone d'étude qui est non seulement une aire protégée, mais aussi une zone littorale qui joue un rôle important dans la conservation de la biodiversité et la protection des côtes. Ils mettent en évidence la capacité des images S1 et S2 à discriminer les principales classes de végétation de la zone. L'application de filtre directionnel sur la scène S1 a permis de distinguer la *classe eau* de la *classe non eau*, ce qui peut s'avérer déterminant pour le suivi de la dynamique des traits de côtes dans un contexte de forte nébulosité sur des longues semaines de l'année. L'apport de l'imagerie radar, en l'occurrence, S1, est donc très appréciable dans la mesure où, elle s'affranchit des effets climatiques (nuages, pluie, et de l'alternance jour nuit (obscurité de nuit).

En termes de perspective, nous envisageons principalement deux pistes. En premier lieu, l'utilisation de la très haute résolution pour détecter les activités anthropiques au sein du PMM (déboisement, carbonisation ainsi que les activités agricoles). Cela peut être réalisé en recourant aux images SPOT 6/7 et Pléiades.

En deuxième lieu, nous envisageons la détection des pollutions marines des hydrocarbures car celles-ci sont nombreuses dans cette zone traversée par des bateaux transportant des cargaisons d'hydrocarbures. Aussi, faut-il préciser que les alentours de la zone connaissent des activités de production de pétrole.

Pour l'utilisation des images radar S1, nous envisageons l'utilisation de plusieurs images pour mettre en œuvre les filtres multi temporels et afin de réduire l'effet de chatoiement et ainsi d'améliorer la lisibilité des images.

En termes de perspective, nous envisageons deux pistes principalement. D'abord, l'utilisation de la très haute résolution pour détecter les activités anthropiques au sein du PMM (déboisement, carbonisation ainsi que les activités agricoles). Cela peut être réalisé en recourant aux images SPOT 6/7 et Pléiades.

En deuxième lieu, nous envisageons la détection des pollutions marines des hydrocarbures car la zone étant traversée par des bateaux transportant des cargaisons d'hydrocarbures et ayant dans ses alentours des activités de production de pétrole.

Pour l'utilisation des images radar S1, nous envisageons l'utilisation des filtres multi temporels afin de réduire l'effet de chatoiement qui rend difficile l'interprétation et le traitement d'images radar.

5 CONCLUSION

L'objectif de la présente étude étant d'apprécier le potentiel des images optiques S2 et radar S1 du projet *Copernicus* de l'agence spatiale européenne, l'étude nous a effectivement permis de savoir ce que les images S1 et S2 sont toutes deux capables de détecter la *savane*, la *mangrove haute*, la *mangrove basse*, les *zones habitées*, *l'eau*, le *bâti* (de grandes dimensions : bâtiments et installations à caractère industriel) dans le contexte de la zone de notre étude. S2 permet, en plus, de détecter le *sol nu*. Ces résultats mettent en évidence le potentiel des images S1 et S2 pour la cartographie et la surveillance des écosystèmes littoraux dans un contexte des pressions anthropiques de plus en plus fortes et de changement climatique dont les effets doivent être évalués et quantifiés dans l'optique de l'orientation des stratégies et des politiques de gestion de ces milieux très fragiles mais dont le rôle dans la conservation de l'environnement peut s'avérer déterminant, notamment à l'échelle locale.

REFERENCES

- [1] C Béné, A Gordon, B Kambala Lwadia, A Samafu Samene, Etude des activités de pêche sur les rivières bordant le parc national de la Salonga en République Démocratique du Congo, Recommandation sur la mise en place d'une gestion collaborative entre les populations riveraines et l'ICCN, Une collaboration entre WoldFish et WWF-RDC, Rapport, Kinshasa, République Démocratique du Congo, 52 p, 2012.
- [2] ICCN, Stratégie nationale de la conservation de la biodiversité dans les aires protégées de la République Démocratique du Congo, Kinshasa, Kinshasa - République Démocratique du Congo, 18 p, 2008.
- [3] F Brassard, Que conserve-t-on avec le réseau d'aires protégées au Québec ?, Le naturaliste Canadien, Vol.135 n°2, La société Provencher d'Histoire naturelle du Canada, pp.12-23, 2011.
- [4] J Day, N Dudley, M. Hockings, G Holmes, D Laffoley, S Stolton et S Wells, Application des catégories de gestion aux aires protégées : lignes directrices pour les aires marines n° 19, Gland, Suisse, UICN, 36 p, 2012.

- [5] G Borrini-Feyerabend, N Dudley, T Jaeger, B Lassen, N Pathak Broome, A Phillips et T Sandwith, Gouvernance des Aires Protégées : de la compréhension à l'action, Collection des lignes directrices pour les aires protégées n°20, Gland, Suisse : UICN, 114 p, 2014.
- [6] C Vermeulen et F Lanata, Le domaine de chasse de Bombo Lumene: un espace naturel en péril aux frontières de Kinshasa, Parcs et Réserves, Vol. 61, n°2, pp4-8, 2006.
- [7] T Trefon, P Assenmaker & Mutambwe Shango, Bombo-Lumene, espace protégé et menacé en périphérie de Kinshasa, étude de cas n° 4, in P. Assenmaker (Ed.) Gestion participative en Afrique Centrale, Quatre études de cas, GEPAC/ULB, pp127-150, 2007.
- [8] UICN-PAPACO, Renforcer la conservation des aires protégées d'Afrique, Synthèse de la rencontre de Weotenga (Burkina Faso du 25 au 27 octobre 2011), 58p, 2011.
- [9] A Huart, C Tombu, A Van der Elstraeten, Voyager dans le pays des 4 trésors, Eco Congo, Entrepreneuriat - Forêt - Environnement - Société, 13 p, 2012
- [10] Khedam Radja, Contribution au développement de méthodologies de fusion/classification contextuelles d'images satellitaires multi sources : Application à la cartographie thématique du milieu urbain de la ville d'Alger, thèse de doctorat en électronique, spécialité : traitement d'images, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, 214 p, 2008.
- [11] T Toutin, Multi source data fusion with an integrated and unified geometric modeling, EARSeL Advances in remote sensing, vol.4, n°2 – X, 1995, p118-122, 1995.
- [12] N Stach, Évaluation des dégâts de tempête par télédétection satellitaire, Inventaire forestier National - Unité Études et Prospectives, Séminaire GIP ECOFOR - « Forêt vent et risques » 16-17 mars 2005 – Paris, 21 p, 2005.
- [13] Y Guiet – Lycée et R Loewy - La Souterraine, La cartographie d'urgence à l'aide de l'imagerie spatiale, Les inondations causées par la tempête Xynthia (28 février / 1er mars 2010), Cartographie des zones touchées, académie de Limoges, 11 p, 2010.
- [14] JM Nicolas, Les Bases de l'Imagerie Satellitaire, notes de cours, Télécom – Paris Tech, p129, 2012.
- [15] Myldred Montabard, Observation de la Terre et support à la résilience : le projet ANR, Les satellites, un outil au service du développement Conférence AFD - Paris 11 avril 2013, 16 p.
- [16] Benjamin Koetz, Copernicus Space Segment for Agriculture Sentinel-1 & -2 update, European Space Agency, 37 p.
- [17] Mats Rosengren, Sentinel - Collaborative Ground Segment Sweden, User needs - Coverage, Product and Services, Final Report, Study for the Swedish National Space Board December 2014, 28 p
- [18] B Muyaya Kalambay, Rudant J.P., Lumbuenamo Sinsi R., Évaluation par imagerie satellitaire de la dynamique spatiale du parc marin des mangroves de la République Démocratique du Congo entre 2006 et 2015, Afrique SCIENCE 12(5) (2016) 316 - 325 316, ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.info>
- [19] B Muyaya, JP Rudant, R Lumbuenamo, P Muamba, R Tshimanga G Konunga, M Collet, A Wayawo, D Yina, Appréciation du potentiel de la complémentarité entre images satellitaires Sentinel1 et Sentinel2 pour la cartographie du parc marin des mangroves et ses environs en RDC » Séminaire J-Géo 2017 – Libreville – Gabon, du 08 au 10 février 2017.
- [20] UICN, 1978. Categories, objectives and criteria for protected areas. UICN, Gland, Suisse, (1978) p26.
- [21] UICN, 1993. Parks for Life: Report of the IVth World Congress on National Parks and Protected Areas, UICN, Gland, Suisse, (1993) 260 p.
- [22] UICN, 1994. Lignes directrices pour les catégories de gestion des aires protégées. CPNAP
- [23] Day J., Dudley N., Hockings M., Holmes G., Laffoley D., Stolton S. & Wells S., 2012. Application des catégories de gestion aux aires protégées : lignes directrices pour les aires marines UICN Gland, Suisse, (2012) 36 p
- [24] Wolfgang Wagner, Time Series Analysis of Sentinel-1 Backscatter Data on a High Performance Computing Platform, Department of Geodesy and Geoinformation (GEO) Vienna University of Technology (TU Wien), 47 p, <http://www.geo.tuwien.ac.at/>
- [25] Andrea Minchella, Sentinel-1 Overview, –“ESA SNAP-Sentinel-1 Training Course” Satellite Applications Catapult -Electron Building, Harwell, Oxfords 21-22/01/2016, 25 p
- [26] Donato Amitrano, Gerardo Di Martino, Antonio Iodice, Francesco Mitidieri, Maria Nicolina Papa, Daniele Riccio and Giuseppe Ruello, Sentinel-1 for Monitoring Reservoirs: A Performance Analysis, Remote Sens. 2014, 6, pp10676-10693; doi:10.3390/rs61110676, www.mdpi.com/journal/remotesensing
- [27] O Hagolle et al, La mission Sentinel-2, 17 Novembre 2015, 75 p.
- [28] O Hagolle et l'équipe MUSCATE du CNES, La distribution de données Sentinel-2A par THEIA/MUSCATE, Octobre 2016, 32 p.
- [29] Guigues L, Trias-Sanz R, Nesrine Chehata, Taillandier F & Deveau M, Segmentation multi- échelles d'images : théorie et applications, Bulletin d'Information, Scientifique & Technique de l'IGN n° 75 (2006/1), pp41-5, 2006.

- [30] Hanifi Majdoulayne, 2009. Extraction de caractéristiques de texture pour la classification d'images satellites, thèse de doctorat, l'Université Toulouse III – Paul Sabatier Discipline ou spécialité : Informatique et Télécommunications, p97.
- [31] Beghoura Mohamed Amine, Segmentation multi sources des Images Satellitaires par l'algorithme Firefly, mémoire de magister, Université des sciences et de la technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, Département d'informatique, 99 p, 2012.