



HAL
open science

Images satellites pour l'évaluation de l'occupation du sol dans les sites de gestion au Gabon

Jocelyne Alicia Janice Akoma Miyono, Jean-Sylvestre Makak, Florence Palla,
Hervé François Trebossen

► **To cite this version:**

Jocelyne Alicia Janice Akoma Miyono, Jean-Sylvestre Makak, Florence Palla, Hervé François Trebossen. Images satellites pour l'évaluation de l'occupation du sol dans les sites de gestion au Gabon. Conférence OSFACO : Des images satellites pour la gestion durable des territoires en Afrique, Mar 2019, Cotonou, Bénin. hal-02189351

HAL Id: hal-02189351

<https://hal.science/hal-02189351>

Submitted on 19 Jul 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Images satellites pour l'évaluation de l'occupation du sol dans les sites de gestion au Gabon

AKOMA MIYONO Jocelyne Alicia Janice ⁽¹⁾, MAKAK Jean-Sylvestre ⁽¹⁾, PALLA Florence ⁽²⁾, TREBOSEN Hervé François Marc ⁽³⁾

⁽¹⁾ Geospatial Company

⁽²⁾ COMIFAC - OFAC

⁽³⁾ Consultant indépendant

* Auteur correspondant : Jocelyne Alicia Janice AKOMA MIYONO, akomaalicia@gmail.com

Résumé

Dans le cadre de sa participation à l'Initiative pour les Forêts d'Afrique Centrale, le Gabon a développé et mis en œuvre un Plan National d'Affectation des terres et un Système National d'Observation des Ressources Naturelles et des Forêts pour contribuer à la réduction de la déforestation et de la dégradation forestière. Cette étude vise à montrer l'apport des images SPOT 6/7 et Sentinel 1A pour l'évaluation de l'occupation du sol dans les sites de gestion des parcs nationaux (Lopé et Waka) et des concessions forestières (Compagnie des Bois du Gabon et Société des Bois de Lastourville). Pour ce faire, une analyse par photo-interprétation a été privilégiée, suivie d'une classification supervisée orientée objet et basée sur l'algorithme de maximum de vraisemblance. La tranche temporelle des images obtenues concerne les dates 2010 et 2015 pour les SPOT et 2015 à 2017 pour les Sentinel1A, avec des polarisations VV et VH (difficilement lisibles). Les résultats des traitements des images SPOT pour les sites des parcs et des concessions forestières ont permis d'obtenir neuf principales classes d'occupation du sol notamment la forêt dense, forêt dégradée, savane, eau, sol nu, nuages, ombres de nuages, bâtis et un phénomène non identifié. Par contre, les classifications à partir des images radar ne se limitent qu'à six classes (forêt dense, forêt dégradée, savane, savane perturbée, eau, sol nu), il est très difficile d'identifier des petites déforestations inférieures à 1ha. Ces résultats révèlent la bonne complémentarité entre les images utilisées, mais que la résolution des images radar Sentinel n'est pas suffisamment adaptée aux activités pratiquées par les populations dans les sites de gestion dans un contexte où l'on a une forêt quasi-inexploitée et un milieu faiblement anthropisé.

Mots clés : Concessions forestières durables, parcs nationaux, photo-interprétation, classifications supervisées occupation du sol, changements d'utilisation des terres, Gabon

Abstract

As part of its participation in the Central African Forests Initiative, Gabon will develop and implement a National Land Use Plan and a National Natural Resources Conservation System. forests to help reduce deforestation and forest degradation. The purpose of this study is to show SPOT 6/7 and Sentinel 1A images for land cover assessment at national park management sites (Lopé and Waka) and logging concessions (Compagnie des Bois du Gabon et Société des Bois de Lastourville). To do this, a photo-interpretation analysis was preferred, followed by a supervised object-oriented classification and according to the maximum likelihood algorithm. The temporal slice of the images obtained dates from 2010 and 2015 for the SPOTs and 2015 to 2017 for the Sentinels 1A, with VV and VH polarizations (difficult to read). The SPOT image processing results for the park and forest concession sites have made it possible to occupy nine main classes of land use, in particular dense forest, degraded forest, savannah, water, soil, clouds, shadows of clouds, built and an unidentified phenomenon. On the other hand, the classifications based on radar images are not limited to six classes (dense forest, degraded forest, savannah, disturbed savannah, water, bare soil), it is very difficult to identify small deforestation smaller than 1 ha. These results are easily stored between the images used and the resolution of the radar images. Sentinel is not known for activities practiced by populations in management sites in a context where an almost untapped forest and a weakly anthropized environment.

Keywords : Sustainable forest concessions, national parks, photo interpretation, supervised classifications land use, land use changes, Gabon

1. INTRODUCTION

De nombreux chercheurs s'accordent à dire qu'il est possible de développer une surveillance automatisée de la couverture forestière afin d'évaluer l'occupation du sol et ses changements. (Bruneau et al., 1981 ; Collins et Woodcock, 1994 ; Coppin et Bauer, 1996). En effet, en raison de l'importance de connaître l'état de l'occupation du sol, notamment de la couverture forestière, la recherche par télédétection a beaucoup progressé (Lu et al., 2004). La tendance générale des résultats de ses recherches de détection de couvert forestier par télédétection montre que les forêts du monde subissent des changements d'occupation du sol soit à cause de l'homme et de ses activités ou tout simplement à cause des changements climatiques (Hobbs, 1990 ; Kpedenou et al., 2016).

Considéré comme objet d'enjeux, les ressources forestières et leurs usages sont conflictuels car les attentes et les intérêts des acteurs sont souvent contradictoires. Pourtant, au Gabon, une stratégie de conservation de la biodiversité a vu le jour. Elle passe par la création, l'aménagement et la gestion du couvert forestier par la mise en place des aires protégées (environ 11% du territoire) et des concessions forestières (57% du territoire) (République Gabonaise ; Plan National Affectation des Terres, 2013). Cependant, des incertitudes importantes demeurent sur la manière dont la cohabitation est organisée sur ses portions du territoire (les concessions d'exploitation forestière et les zones tampons des parcs nationaux) revendiquées à la fois comme lieux d'usages par les populations et inscrites comme secteurs d'intérêt économique (Makak, 2016).

L'article qui est proposé, participe aux activités post doctorales de Palla (2011) et Makak (2016) dans le cadre du projet Observation Spatiale des Forêts d'Afrique Central et de l'Ouest (OSFACO). Il permet d'enrichir l'objectif poursuivi de mise en place d'un observatoire local de gestion des conflits d'usages des ressources forestières. L'étude présente l'apport potentiel de la combinaison des images optiques (SPOT 6/7) et RADAR à Synthèse d'Ouverture (RSO) Sentinel 1A aux objectifs d'évaluation et de caractérisation des paysages dans les sites de gestion des ressources forestières notamment les concessions forestières durables de la Compagnie des Bois du Gabon (CBG) et Société des Bois de Lastourville (SBL) et les parcs nationaux (Lopé et Waka) pour une surveillance effective des changements.

2. DONNEES ET METHODES

2.1. Localisation de la zone d'étude.

Situé au Gabon, pays d'Afrique centrale appartenant au continuum du bassin forestier du Congo, la zone d'étude concerne principalement les concessions forestières durables Compagnie des Bois du Gabon (CBG) et Société des Bois de Lastourville (SBL), mais aussi les parcs nationaux Lopé et Waka (Figure 1). Caractérisé par une forêt tropicale humide, la forêt gabonaise occupe 23,7 millions d'hectares, soit 85% de son territoire. Les sites d'études sont essentiellement constitués du complexe mosaïque forêt-

savane. La topographie, très escarpée et abrupte à l'approche des rivières, varie entre 100 m (vallée de l'Ikobey) et plus de 900 m sur les collines les plus élevées, entraînant le déploiement de plusieurs petits ruisseaux aux chutes spectaculaires.

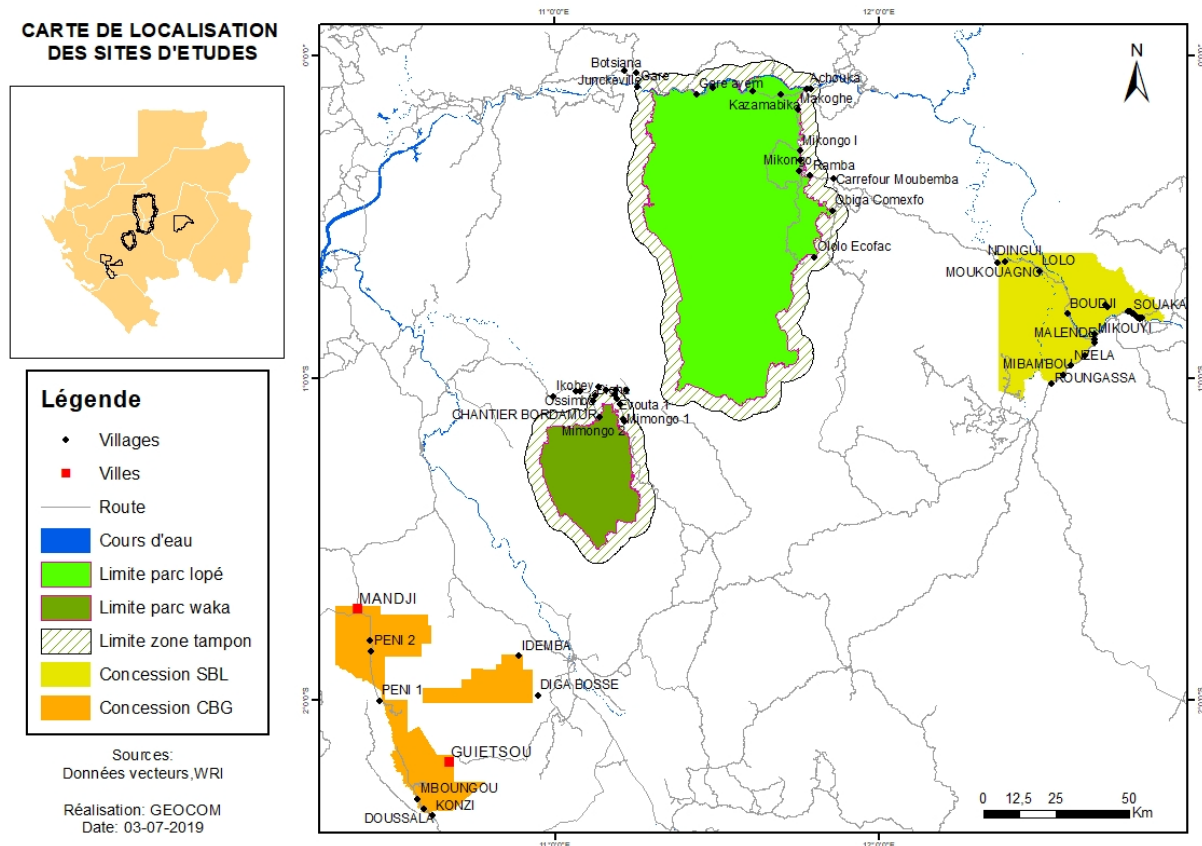


Figure 1 : Localisation géographique des sites d'études.

Plusieurs éléments expliquent l'intérêt porté sur ces sites dans le cadre de l'évaluation de l'occupation du sol. Au niveau des sites de parcs, l'étude va tenir compte aussi bien de la zone de conservation intégrale que de la zone tampon. Les enjeux sont tels que « dans la zone tampon, ne peuvent être autorisées que des activités anthropiques n'ayant pas d'impact négatif sur le parc » (cf. article 14 loi n°003/2007). Dans les concessions forestières par contre, l'organisation territoriale repose sur un principe de gestion durable des ressources forestières, par lequel « les textes de classement d'une forêt ou les plans d'aménagement d'une forêt de production, doivent prévoir une zone suffisante à l'intérieur de laquelle les populations riveraines peuvent exercer leurs droits d'usages coutumiers » (cf. article 31 du décret n°000689/PR/MEFEPEPN).

En outre, notons que ces territoires sont composés de villes secondaires (Lopé, Mandji, Lastouville) et quelques villages (Ololo, Mikongo).

2.2. Données et matérielles utilisées

Les données utilisées dans le cadre de cette étude concernent les images optiques SPOT 6/7 (seulement 10 scènes sur 29 acquises ont été utilisées) et Radar Sentinel 1A (6 scènes) d'une part et les couches vectorielles des sites d'études, des routes, des cours d'eau, des villes et villages d'autres part. Les images SPOT 6/7 étaient disponibles pour les années 2010 et 2015 selon les sites (seul celui SBL avait les deux années disponibles) et Sentinel 1A pour les années 2015, 2016, 2017. La résolution des images SPOT facilite grandement la détection d'un certains nombres d'informations. Les caractéristiques techniques des images satellites figurent dans le Tableau 1. En ce qui concerne le matérielles, nous avons utilisé les logiciels ArcGis 10.6, SNAP et QGIS 2.18.

Tableau 1 Caractéristiques techniques des données de télédétections.

Satellites	Niveaux de produit	Types	Fauchée (Km)	Bande spectrale/ Polarisation	Résolution spatiale (m)
SPOT	ortho rectifié	Optique multi-spectrale	60	Vert, Rouge, Proche infrarouge	10 à 6
Sentinel 1 1A	GRD	RADAR Bande C	250	HV et VV	20

2.3. Méthode de traitement des images

La méthode utilisée consiste en la combinaison de classification multi-dates et de post classification. La première permet de classer visuellement ou numériquement, la seconde consiste à comparer des classifications indépendantes d'images et de dates différentes (Mas, 2000). De ce fait, les étapes de traitement des images sont les suivantes.

2.3.1 Le prétraitement

Les opérations réalisées pour le pré-traitement des images Sentinel 1A ont été la mise à jour de l'orbitographie, le découpage de l'image sur la zone d'intérêt et l'ortho rectification. Les pré-traitements des images SPOT ont été effectués au niveau 1C (ortho) par Airbus avant leur mise à disposition.

2.3.2 Le traitement

Pour ce qui est du le traitement, les opérations suivantes ont été réalisées :

a) phase 1 : préparation des images.

- Pour les SPOT : Les principales étapes ont consisté à réaliser tout d'abord une mosaïque des images pour chaque site, suivie d'un clip afin de n'avoir que les sites d'étude. Après cela, nous avons effectué une composition colorée en 4-3-2

- Pour les Sentinel 1A : nous avons effectué le « *stacking* » puis procéder à la réduction du chatouement (*speckel*) par filtrage multi temporel ; filtre spatial utilisée était Lee (7×7) la composition colorée des Sentinel 1A s’est faite en VV, VH, VH-VV

b) phase 2 ; la photo-interprétation.

Elle a consisté en une analyse scrupuleuse des différents sites. Les capteurs SPOT ont beaucoup aidé pour l’identification des différentes classes d’occupation du sol. Pour ce qui est des Sentinel 1, une nomenclature limitée au grand paysage distinguable a été élaborée. Aussi, la nomenclature élaborée par l’AGEOS et le JICA nous a servi de base en sus de nos analyses. Cette nomenclature se décline comme suit (Tableau 2).

Tableau 2 : Synthèse des nomenclatures arrêté par l’AGEOS, le JICA et GEOCOM

Classes	Paysages
Forêt	Forêt mature ou dense, forêt secondaire ou dégradé, forêt galerie
Non forêt	Savane, plantation active ou récente
Autre territoire	Eau libre, bâti, sol nu, nuage, ombre des nuages

Source : Geocom, 2017

c) phase 3 : délimitation des parcelles d’entraînement.

Sur la base de la photo-interprétation et des connaissances a priori du terrain, nous avons créé des régions d’intérêts. Elles correspondent au groupe de pixel ayant des caractéristiques spectrales similaires, de fait, à un type d’occupation du sol (Kouta S. et al. 2018). Nous sommes partis sur la base de 20 échantillons en moyenne par classe.

d) phase 4 : classification supervisée et vectorisation

L’objectif de ce procédé est de définir des règles permettant de classer des objets dans des classes à partir de variables qualitatives ou quantitatives caractérisant ces objets. Pour reprendre l’explication de S. Arlot, (2009) dans ses notes de cours, la classification est dite supervisée car toutes les données sont étiquetées, c’est-à-dire que Y_i est observé pour $i = 1, \dots, n$. Les régions d’intérêts sélectionnées en phase 3 ont servi pour le calcul de l’algorithme. Dans notre cas, le choix s’est porté sur l’algorithme Maximum de Vraisemblance (MDV). Soulignons au passage que cet exercice de classification s’est effectué à partir de variables qualitatives.

e) phase 5 : cartographie du paysage.

Après ces phases, a suivie celle de la vectorisation. Cette phase consiste en la conversion de l'image classifiée (fichier raster issu de la classification) en fichier de vecteur. A ce stade, les classes identifiées se singularisent et peuvent être dès lors modifiable. Notons que la modification dont on parle ici concerne le mode de représentation, l'attribution des champs dans lesquels sont spécifiées les unités paysagères.

3. RESULTATS

Les résultats obtenus s'articulent autour des classifications des données optiques et des données radar Sentinel 1.

3.1. Classifications issues des données optiques SPOT

L'analyse par photo-interprétation a relevé les faits suivants : 1) des bâtis observés en 2010 dans le parc de la Lopé ont disparu en 2015 ; 2) la zone tampon du parc Waka connaît par contre une légère dégradation du couvert forestier en sa zone Nord-Est ; 3) pour ce qui est des concessions forestières, les phénomènes de petites déforestations (< ~ 1 ha) semblent être difficilement identifiables essentiellement à cause de la résolution (6 à 10m). Par ailleurs, le résultat de l'analyse des réponses spectrales des images SPOT a permis de retenir 9 classes au lieu de 8 comme suggéré dans la mise au point des nomenclatures par AGEOS et le JICA. Ces classes sont la forêt dense, forêt dégradée, savane herbacée, eau, sol nu (souvent identifié comme étant la route), bâti, nuage, ombre de nuage et ainsi que la présence d'une occupation non identifiée nommée « phénomène NI » localisé dans les zones de savane. Selon les caractéristiques des différents sites, on a obtenu l'apparition de la classe savane herbacée sur le site du parc de la Lopé ou de la concession forestière CBG tandis que sur les sites du parc Waka et de la concession forestière SBL, cette classe n'apparaît pas (Figures 2a et 2b). En outre, la superposition des images SPOT aux données vectorielles des villages a laissé entrevoir un lien entre les petites zones de déforestations et de nombreuses pistes forestières.

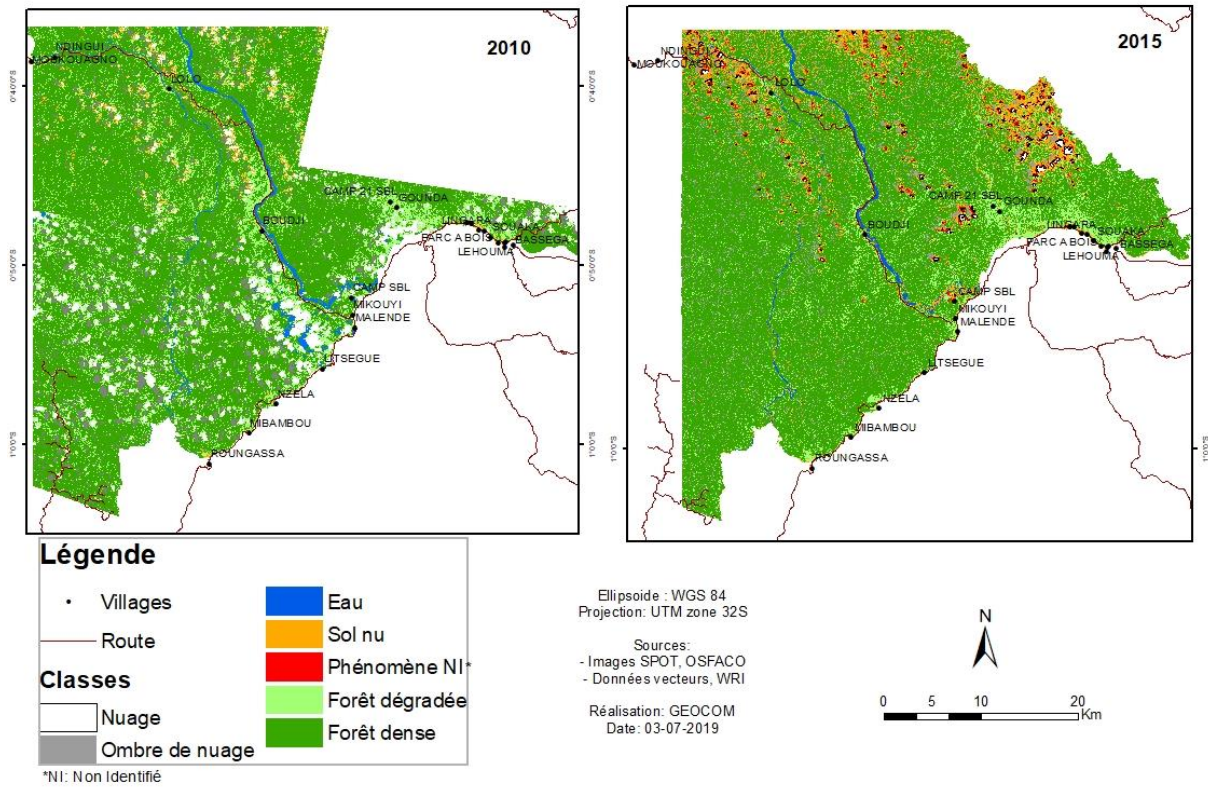


Figure 2 a : Résultats de l'occupation du sol, image SPOT SBL.

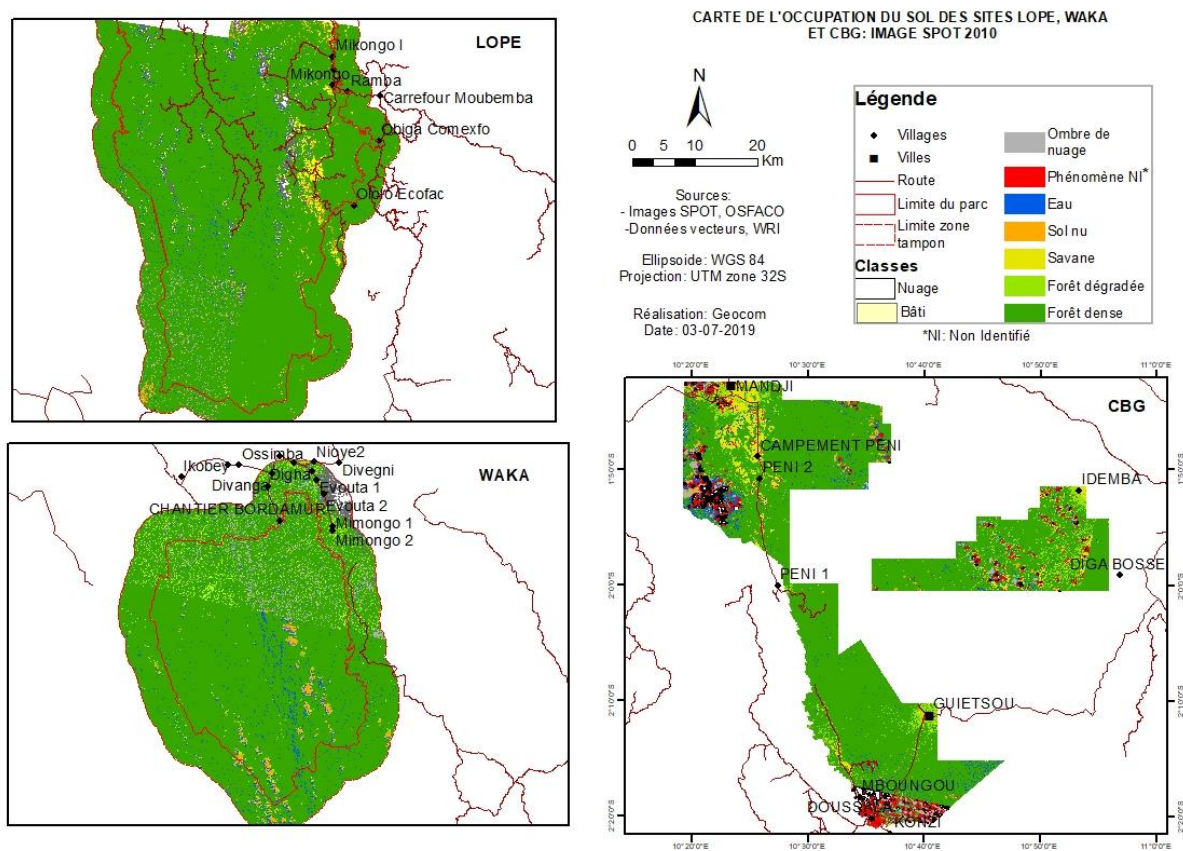


Figure 2b : Résultats de l'occupation du sol, image SPOT 2010, LOPE, WAKA, CBG

3.2. Classification issues données Sentinel 1A

Au titre des acquis du traitement de ces images, on note que l'absence de nuage a permis de visualiser l'ensemble des étendues des sites et de plus, ce capteur a favorisé la très bonne discrimination entre les paysages forêt et savane. Le traitement a permis d'obtenir six (6) classes tous sites confondus. Il s'agit des classes sol nu, eau, forêt dense, forêt dégradée, savane et des phénomènes NI (Non Identifié). Cette dernière classe fait référence aux zones de savane présentant des zones avec des radiométries faibles pouvant être liées à une humidité du sol ou à un brûlis récent.

Comme limites, on note des problèmes de dilatation (ombre) et, au contraire, de contraction des radiométries liées au relief ; les espaces artificialisés sont difficilement distinguables bien qu'ils soient connus a posteriori. Même constat pour la classe sol nu.

De plus, la combinaison VV, VH, VH-VV n'a pas facilité l'identification des occupations du sol. La réflectance était si forte malgré l'application du filtre Lee (7×7). En conséquence, le bâti avait la même signature que les lignes de crête (en géomorphologie, correspond à la ligne des points hauts d'un relief séparant deux versants) et certains cours d'eau notamment sur les sites de SBL et WAKA n'ont pas pu être représentés car leur signature correspondait aux zones d'ombre (Figures 3a, 3b, 3c, 3d).

En conséquence, ils ont été classés en phénomène Non Identifié (NI). Bien que les nuages ne soient pas présents sur ce type d'image, nous avons été confrontés au problème de rugosité. En effet, sur ce type d'image, le relief est fortement marqué (caractéristique spécifique du capteur). Après l'application des filtres Lee sur SNAP, la réduction du speckel a légèrement amélioré la qualité de l'image. Toutefois, l'identification des classes n'a pas été facile car certains objets possèdent la même signature spectrale notamment les classes bâtis et la Forêt (domaine de la forêt se trouvant sur les versants en particulier).

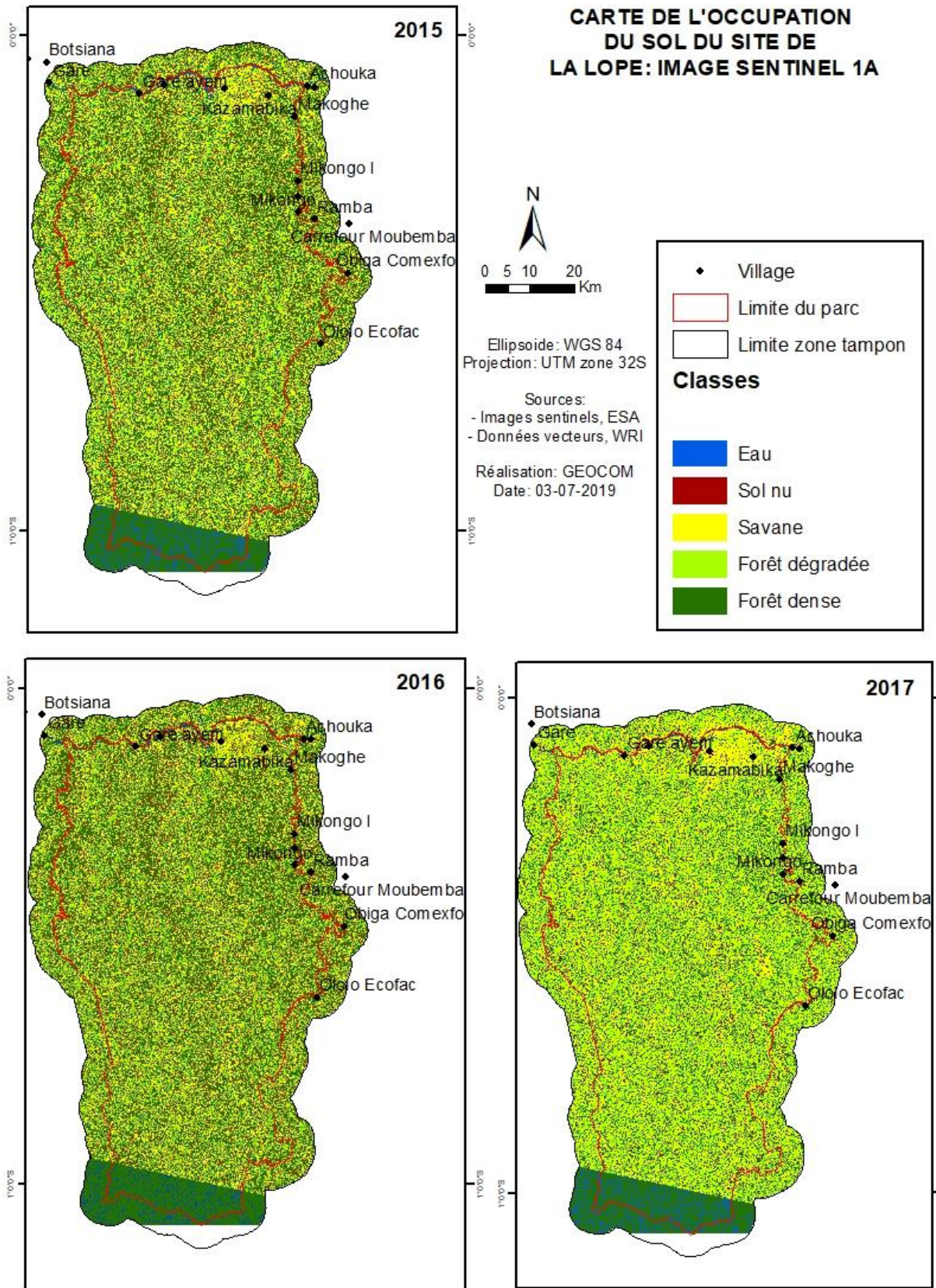


Figure 3a : Résultats de l'occupations du sol, images Sentinel 1A LOPE

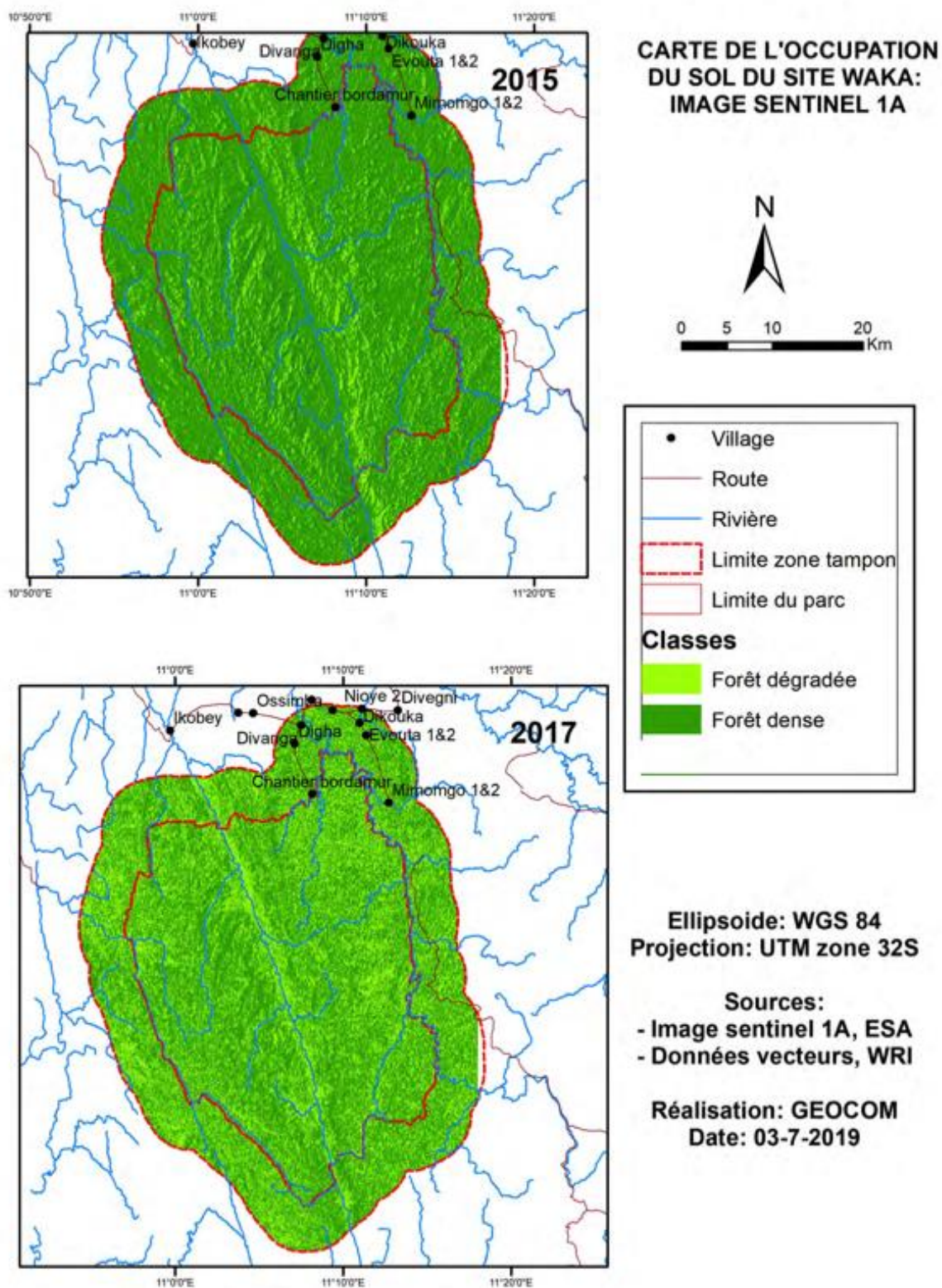


Figure 3b : Résultats de l'occupations du sol, images Sentinel 1A WAKA

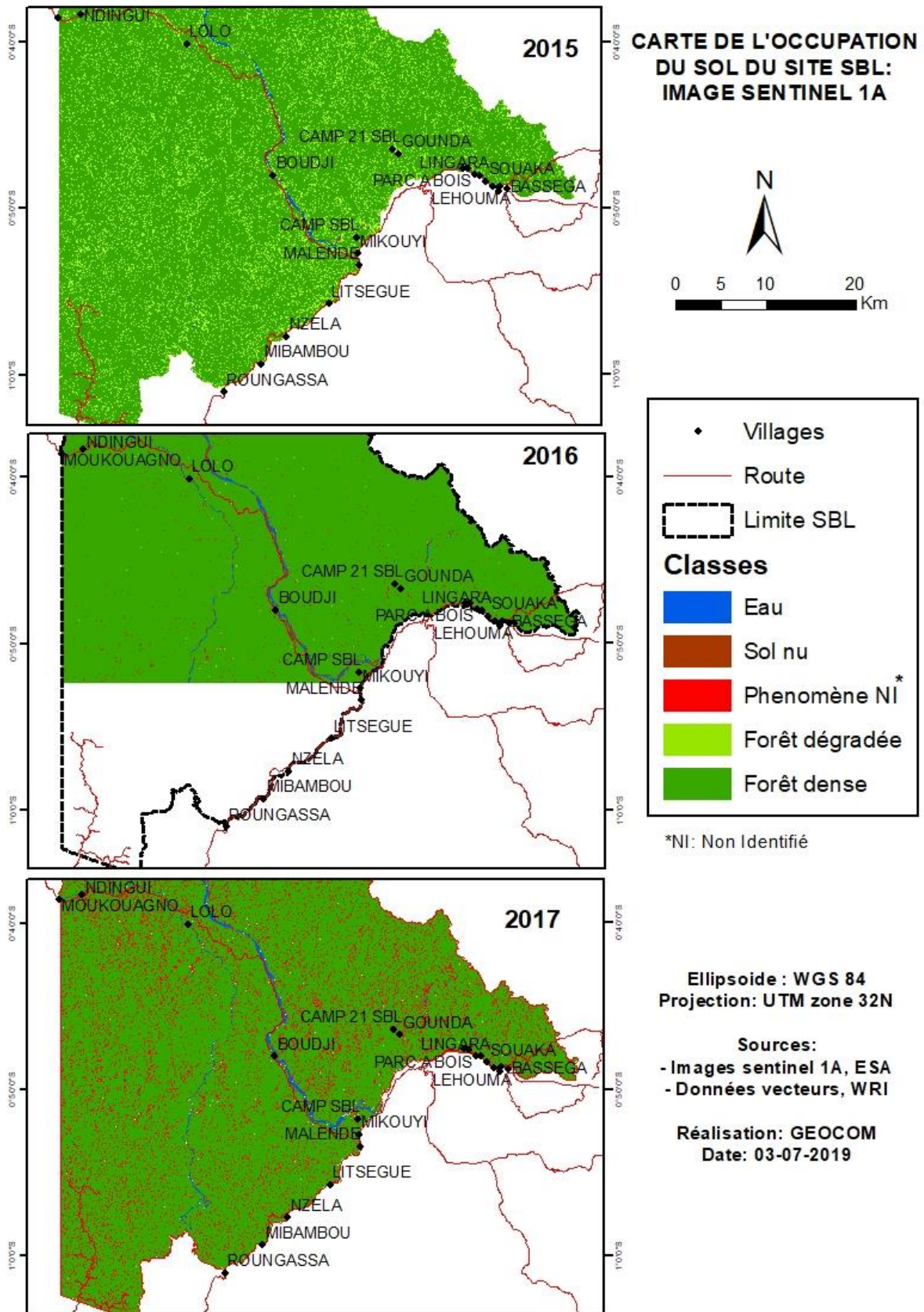


Figure 3c : Résultats de l'occupations du sol, images Sentinel 1A SBL

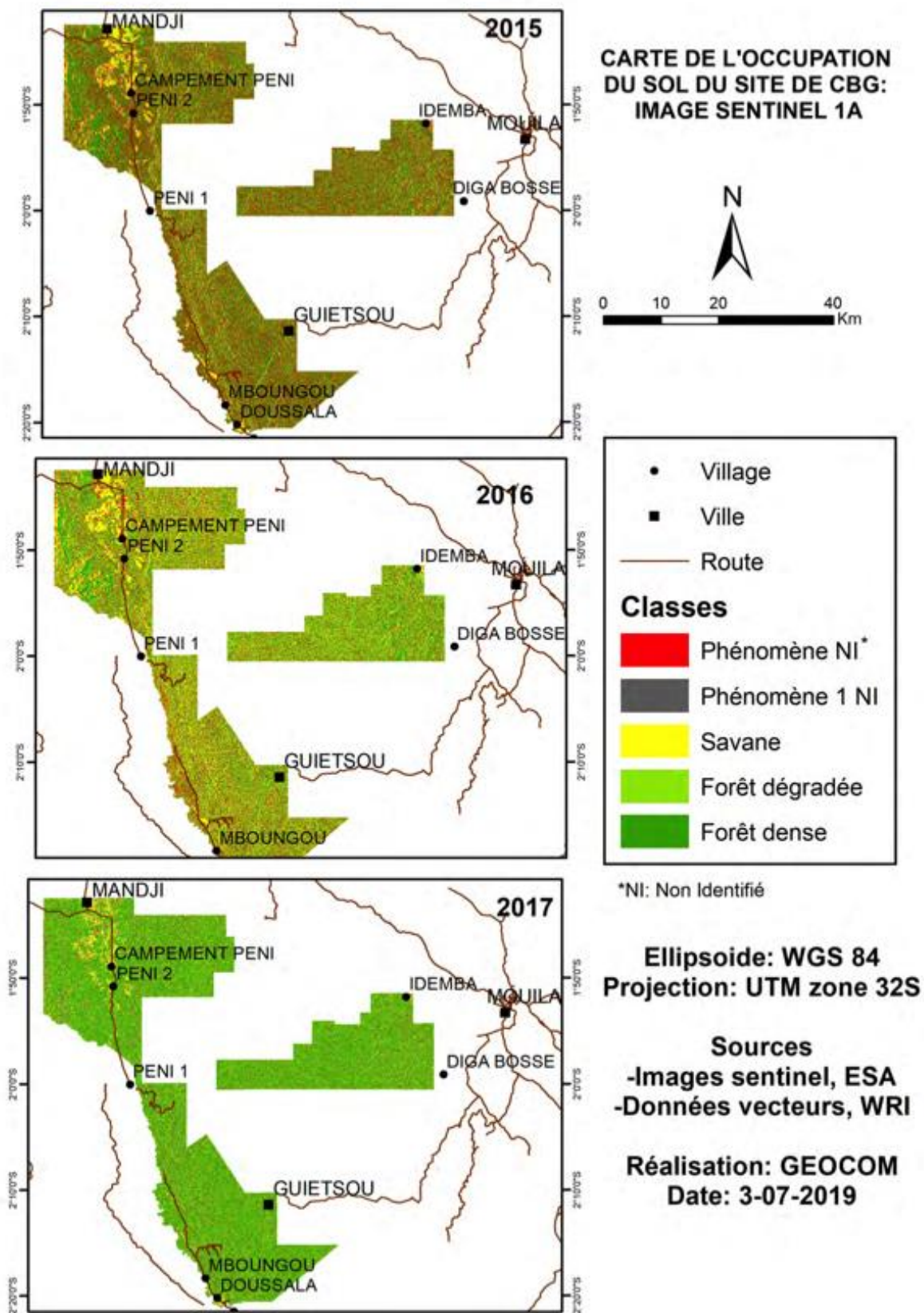


Figure 3d : Résultats de l'occupations du sol, images Sentinel 1A CBG

4. DISCUSSION ET CONCLUSION

4.1. Discussion

Les résultats qualitatifs obtenus lors de la classification sont satisfaisants dans l'ensemble à quelques exceptions près. Au niveau des images SPOT, l'appréciation de la classification reste moyenne pour deux raisons : la perturbation nuageuse et le mélange des classes bâtis et nuage. L'apport principal des images SPOT 6/7 repose donc sur une cartographie détaillée de l'occupation du sol dans les sites d'études bien que le problème de nuage et le mélange des classes biaisent faiblement les résultats. Pour ce qui est des Sentinel 1, la forte sensibilité du Radar aux pentes fait que certaines unités paysagères observées sur les SPOT soient difficilement ou quasiment pas perceptibles. On peut citer la classe bâtie en exemple. De plus, les résultats des classifications des Sentinel 1 restent surprenants. Une anomalie est observée sur les résultats des classes en général. On a par exemple une extension de la forêt dégradée sur l'ensemble du parc de la Lopé même si l'on sait a priori que ce site est quasiment désertique en population humaine et non exploité à cause de son statut. Toutefois, elle a permis d'affiner les classifications dans l'optique sur certaines zones à forte nébulosité (Catry et al, 2018). La classe savane réagit bien au Radar.

Les SPOT révèlent un grand nombre d'unités paysagères par rapport aux Sentinel 1. Cependant, selon T. le Toan (2014) les Sentinel 1 sont bien adaptées pour la surveillance des forêts sujettes au déboisement notamment dans la détection précoce de déforestation et le suivi des coupes de forêts gérées. Malheureusement, notre expérience des Sentinel 1 montre le contraire. Les zones d'exploitation forestière n'ont pu être observées bien que nous ayons sur une base de données vecteur les localisations des sites de coupe de bois au niveau des concessions forestières. Le même constat est fait pour les images SPOT. La également, il a été difficile, quasiment impossible à extraire ce type d'information. L'une des hypothèses permettant de justifier cela reste celui de la résolution des deux capteurs : 10 à 6m pour les SPOT et 20m pour les Sentinel 1 en sus du chatoiement (pour les Sentinel 1). Les phénomènes de petites déforestations (< 1 ha) semblent être difficilement identifiables.

Il semble dès lors que la qualité des images brutes et l'expérience du technicien ont été pour beaucoup. En effet, l'interprétation visuelle des pixels (teintes) associée à chaque classe est fonction de l'expérience du technicien. Aussi, il est important de souligner que cette approche préliminaire de l'évaluation de l'occupation du sol des sites de gestion au Gabon par télédétection est une première. Les méthodes d'analyse d'images prenant en compte à la fois des images de différents types de capteurs et des données exogènes sont peu fréquentes dans la littérature (Poulain, 2010). De fait, la présente recherche a permis aux techniciens de s'approprier de nouvelle méthode qui toutefois reste à améliorer. La possibilité d'utiliser le filtre spatio-temporel (conserve mieux les informations contenues dans les acquisitions) au lieu du multi-temporel reste une option envisageable pour la suite du projet mais aussi de procéder aux différents calculs qui permettront cette fois une évaluation quantitative.

Pour l'heure, les analyses par photo-interprétation sont privilégiées avec quelques limites pour la caractérisation et la quantification des changements. A l'image des toutes forme de production de données (Fortier et Alphantery, 2017). Ces résultats cartographiques peuvent dès lors servir de base référentielle pour ces sites de gestion et alimenter le débat public dans le sens de rompre avec l'inadaptation massive des législations sources de conflits d'usages (Philippe, 1998).

4.2. Conclusion

Cette étude montre les avantages et les limites de l'approche d'évaluation de l'occupation du sol des sites de gestion au Gabon (zone équatoriale) par les images satellites. Au travers de ces dernières, le processus de traitement dont notamment la classification supervisée a permis de ressortir les différentes unités paysagères. De la photo-interprétation à la classification supervisée, des différences de résultats sont palpables bien qu'elle soit mineure. L'imagerie SPOT dans cette étude a permis de bien caractérisé l'occupation du sol, les sentinel 1A sont venue en complément. De manière générale, les milieux forestiers occupent une part importante des paysages (forêt dense et secondaire), suivi des savanes. Les zones d'études connaissent très peu de perturbation de paysage. La lecture des activités anthropiques sur l'ensemble des sites est très faible. Afin d'améliorer les connaissances sur les types d'occupations du sol par la méthode de télédétection, nous suggérons le recours à une analyse des changements de l'occupation et l'utilisation des images Très Haute Résolution (THR) optique (Pléiades et autres).

Références bibliographiques

Arlot S., Mars 2009, Classification supervisée : des algorithmes et leur calibration automatique, École Centrale de Paris, Cours de troisième année, Cnrs – École Normale Supérieure – Inria, Équipe-projet Willow, <http://www.di.ens.fr/arlot/>

Bruneau M, Cabaussel G., Saez G.,1981. Télédétection et cartographie de l'occupation du sol en milieu tropical densément peuplé (Thaïlande). In: Annales de Géographie, t. 90, n°499, pp.327-353;doi: <https://doi.org/10.3406/geo.1981.20021> https://www.persee.fr/doc/geo_0003-4010_1981_num_90_499_20021, consulté le 10/04/2019

Catry T., Pottier A., Marti R., Li Z., Roux E., Herbreteau V., Mangeas M., Demagistri L., Gurgel H. et Dessay N., « Apports de la combinaison d'images satellites optique et RADAR dans l'étude des maladies à transmission vectorielle : cas du paludisme à la frontière Guyane française – Brésil », *Confins* [En ligne], 37 | 2018, mis en ligne le 03 octobre 2018, consulté le 28 Janvier 2019. URL : <http://journals.openedition.org/confins/15027> ; DOI : 10.4000/confins.15027

Collins J.B., Woodcock, C.E.,1994. Change detection using the Gramm-Schmidt transformation applied to mapping forest mortality. *Remote Sens. Environ.* 50: p 267-279.

Coppin P.R., Bauer M.E. 1996. Digital change detection in forest ecosystems with remote sensing imagery, *Remote Sensing Reviews*, 13:3-4, 207-234, DOI: 10.1080/02757259609532305

Fortier A., Alphanféry P., 2017. « La maîtrise des données, un enjeu majeur pour les associations naturalistes à l'heure de la gouvernance de la biodiversité » *Revue française d'administration publique*, n°163 : p. 587-598.

Kouta Sébastien, SOGBOSSI Erick S., MAZO Ismaël, TOKO IMOROU Ismaila et THOMAS Omer, « Approche comparative des méthodes de classification d'images des unités d'occupation des terres dans le bassin cotonnier du Bénin » *Mélanges en hommage aux Professeurs HOUSOU C.S., HOUNDAGBA J.C, THOMAS O.* Vol 3, 303-313.

Kpedenou K.D., BoukpeSSI T., et Tchamie T.T., 2016. Quantification des changements de l'occupation du sol dans la Préfecture de Yoto (Sud-Est Togo) à l'aide de l'imagerie satellitaire Landsat. *Revue des Sciences de l'Environnement, Laboratoire de Recherches Biogéographies et d'Etudes Environnementales, Université de Lomé ; pp. 137-156*

Hobbs R., 1990. Remote Sensing of Spatial and Temporal Dynamics of Vegetation, in *Remote sensing of Biosphere functioning*, Hobbs & Mooney eds., Springer Verlag, New York, pp 203-219.

Lu D., Mausel P., Brondízio E. et Moran E. 2004. Techniques de détection de changement, *International Journal of Remote Sensing*, 25 :12, 2365-2401, DOI: 10.1080 / 0143116031000139863

Lu D. & Weng Q. 2007. Une enquête sur les méthodes de classification des images et techniques pour améliorer les performances de classification, *International Journal of Remote Sensing*, 28 : 5, 823-870, DOI : 10.1080 / 01431160600746456

Makak J.S., 2016. Aménagement foncier rural et juxtaposition des usages au Gabon : projet pilote d'observatoire local, enjeux et défis. Edition Universitaires Européennes, 349 p.

Mas J.F., 2000. Une revue des méthodes et des techniques de télédétection du changement, *Canadian Journal of Remote Sensing: Journal canadien de télédétection*, 26:4, 349-362, DOI: 10.1080/07038992.2000.10874785

Palla F., 2011. Caractérisation et distribution spatiale des groupements végétaux de la mosaïque forêt-savane du Parc National de la Lopé (Gabon) : apport des traits caractéristiques de la végétation (traits d'histoire de vie) et des images RADAR PALSAR. Thèse, Université de Marne de la vallée, Paris France, 200 p.

Philippe L.D. 1998. Comment articuler législation nationale et droits fonciers locaux : expériences en Afrique de l'Ouest francophone. Politique des structures et action foncière au service du développement agricole et rural, actes du Colloque de la Réunion, CNASEA/AFDI/FNSAFER., 25 pages

Poulain V., Octobre 2010. Fusion d'images optique et radar à haute résolution pour la mise à jour de bases de données cartographiques, Thèse, Université de Toulouse, 162 p.

République Gabonaise, juin 2017. Cadre d'investissement du Gabon pour l'initiative pour les forêts de l'Afrique centrale (CAFI) : soumission de la République Gabonaise au secrétariat du CAFI pour le conseil d'administration, 124 p.

République Gabonaise, 2013. Plan National d'Affectation du Territoire : Situation des terres affectées. Rapport technique Conseil National Climat, 244 pages

Thuy le Toan, Mars 2014, Sentinel1 pour l'observation de la végétation, Présentation PowerPoint pour 4ème Journée Thématique du PNTS, 24 mars 2016 - CNES, Paris

Remerciements

Nous remercions tout particulièrement l'ensemble des équipes du Projet Observatoire Spatiale des Forêts d'Afrique Central et de l'Ouest (OSFACO), de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD), l'Institut National de l'Information Géographique et Forestière (IGN FI) pour ses projets à l'international, et l'Agence Française de Développement (AFD).