



HAL
open science

**Apport de la télédétection optique et radar dans
l'analyse de l'impact de la réduction des feux et sur la
structure et la composition floristique des savanes à
Bismarckia nobilis Hildebr. & H.Wendl. de l'Aire
protégée d'Antrema (Madagascar)**

Mouna Chambon, Edmond Roger, Miadama Faramalala, Joro Rakotoarinivo,
Solofo Rakotondraompiana, Camélias Rasoamanantaniaina, Tony Arison,
Bruno Simmen, Anoumou Kemavo, Tian Li, et al.

► **To cite this version:**

Mouna Chambon, Edmond Roger, Miadama Faramalala, Joro Rakotoarinivo, Solofo Rakotondraompiana, et al.. Apport de la télédétection optique et radar dans l'analyse de l'impact de la réduction des feux et sur la structure et la composition floristique des savanes à Bismarckia nobilis Hildebr. & H.Wendl. de l'Aire protégée d'Antrema (Madagascar). 2021. hal-03455738

HAL Id: hal-03455738

<https://hal.science/hal-03455738v1>

Preprint submitted on 29 Nov 2021

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.

Apport de la télédétection optique et radar dans l'analyse de l'impact de la réduction des feux et sur la structure et la composition floristique des savanes à *Bismarckia nobilis* Hildebr. & H.Wendl. de l'Aire protégée d'Antrema (Madagascar)

Mouna CHAMBON¹, Edmond ROGER², Miadama FARAMALALA², Joro RAKOTOARINIVO³, Solofo RAKOTONDRAOMPIANA³, Camélias RASOAMANANTENANIAINA², Tony ARISON³, Bruno SIMMEN⁵, Anoumou KEMAVO⁶, Tian LI¹, Olivier MANZI¹, Jean Paul RUDANT⁴, Bernard RIERA¹.

¹ UMR 7279 (Mecadev) CNRS et MNHN, Département AVIV, Muséum national d'Histoire naturelle, 4 avenue du Petit Château, 91800 Brunoy, France.

✉ mouna.chambon@gmail.com

² Département Biologie et Ecologie Végétales (DBEV), Université d'Antananarivo, BP 566, Antananarivo 101, Madagascar

³ Institut et Observatoire de Géophysique d'Antananarivo (IOGA), Université d'Antananarivo, BP 566, Antananarivo 101, Madagascar

⁴ Université Gustave Eiffel, Lastig (UGE-IGN), bat ADN, 5 Bd Descartes, 77454 Marne-la-Vallée.

⁵ UMR 7206 (Eco-Anthropologie et Ethnobiologie) CNRS et MNHN, Département Homme et Environnement, Muséum national d'Histoire naturelle, Paris et Brunoy, France

⁶ ONFI

Résumé

La gestion durable des ressources naturelles est devenue un enjeu primordial dans le contexte du changement climatique. Bien que les savanes représentent un puits de carbone important, elles ont longtemps été négligées dans les inventaires de carbone. La fréquence des images optique Sentinel2 et radar Sentinel1 permet d'observer la dynamique de la biodiversité dans la savane au travers du cas particulier de trois espèces : le palmier endémique, *Bismarckia nobilis* Hildebr. & H.Wendl., *Acridocarpus excelsius* A.Juss. une Malpighiaceae et *Erythroxylum platyclados* Bojer une Erythroxylaceae dans la Nouvelle Aire Protégée (NAP) d'Antrema au nord-ouest de Madagascar. L'objectif de la présente étude est d'évaluer la durabilité de la gestion actuelle des populations de *Bismarckia nobilis* dans la NAP et l'impact des feux sur la dynamique de ces trois espèces. Nous avons quantifié les niveaux de séquestration de carbone du palmier *Bismarckia nobilis* sur la base de relations allométriques et d'une analyse spatiale avec des images Sentinel2. Ces données nous ont permis de construire un modèle d'évolution de la dynamique des populations de *Bismarckia nobilis* pour les 50 prochaines années. Nos résultats montrent que l'espèce *Bismarckia nobilis* présente une capacité de stockage de carbone importante, estimée à 90 000 tonnes pour la surface totale de la savane à Antrema. En outre, notre modèle d'évolution prévoit une augmentation des populations de *Bismarckia nobilis* pour les 50 prochaines années.

L'utilisation d'images de la plateforme Sentinel1 a permis de tester les réponses de deux espèces (*A. excelsius* et *E. platyclados*) bien présentes en savane dans la région. Ces deux espèces s'observent à des densités différentes suivant les mécanismes de régénération et de dynamique des savanes en fonction de la fréquence des feux. Ces deux espèces se distinguent par leur port. *A. excelsius* présente des axes dressés dit orthotropes qui s'incurvent légèrement alors qu'*E. platyclados* a une architecture typique avec des branches

(plagiotropes) disposées horizontalement par niveau plus ou moins en plateau.

L'utilisation d'images Sentinel1 polarisée VV et VH a permis de bien mettre en évidence par la réponse des individus de ces deux espèces deux catégories de formations végétales dans les savanes à *Bismarckia nobilis*. Le développement des *E. platyclados* coïncide avec le changement de pratiques dans la gestion des milieux naturels avec la diminution des feux de savanes dans certaines zones. *E. platyclados* étant beaucoup moins résistant aux feux de savane qu'*A. excelsius*.

Nous avons pu observer que l'architecture de la végétation génère des réponses différentes, avec des signatures spécifiques « VH » pour les plagiotropes et « VV » pour les orthotropes. Ces architectures et données radar représentent donc de bons outils pour suivre l'évolution de la végétation dans le contexte de notre étude, en relation avec les impacts des activités humaines.

Par ailleurs, nos résultats mettent en avant l'importance de la savane d'Antrema en matière de séquestration de carbone à moyen terme.

Mots clefs : Savane tropicale, végétation, formation, typologie, cartographie, images optiques, radar, Sentinel1, Sentinel2, polarisation HV et VV, atténuation du changement climatique, biologie de la conservation, climat tropical, durabilité, solutions fondées sur la nature.

Abstract

Sustainable management of natural resources has become a critical issue in the context of climate change. Although savannas represent a significant carbon sink, they have long been neglected in carbon inventories. Here, we addressed the potential win-wins of biodiversity conservation and climate change mitigation in savanna through a particular focus on three species: the endemic palm, *Bismarckia nobilis* Hildebr. & H.Wendl., *Acridocarpus excelsius* A.Juss. a Malpighiaceae and *Erythroxylum*

platyclados Bojer an Erythroxyloaceae in the New Protected Area (NPA) of Antrema, North West of Madagascar. The aim of this study was to assess the sustainability of current management of *Bismarckia nobilis* populations in the NAP and the impact of fire on the dynamics of these three species.

We quantified the carbon sequestration levels in *Bismarckia nobilis* by using allometric relationships and spatial analysis with Landsat images. The data allowed us to build a model of change in *Bismarckia nobilis* population dynamics for the next 50 years. Our findings demonstrated the importance of carbon storage capacity of the species, with 90,000 tonnes of carbon currently stored in the total surface area of the savanna. Furthermore, we found that anthropogenic activities do not have a negative impact on the population size of the species in the NPA and rather, contribute to its expansion through regulated burnings. These results indicate the role of the savanna of the NPA as an important carbon sink in the middle term.

The use of images from the Sentinel1 platform has allowed us to test the responses of two species (*A. excelsius* and *E. platyclados*) well present in the savannah in the region. These two species can be observed at different densities depending on the regeneration mechanisms and dynamics of the savannah as a function of fire frequency. These two species are distinguished by their habit. *A. excelsius* has upright axes known as orthotropic that curve slightly, whereas *E. platyclados* has a typical architecture with branches (plagiotropic) arranged horizontally by level more or less on a plateau.

The use of VV and VH polarized Sentinel1 images has allowed us to highlight two categories of plant formations in the savannah at *Bismarckia nobilis* through the response of individuals of these two species. The development of *E. platyclados* coincides with the change of practices in the management of natural environments with the reduction of savannah fires in some areas. *E.* being much less resistant to savannah fires than *Acridocarpus excelsus*.

The vegetation architecture generates a different response VH for plagiotropes and VV for orthotropes. These architectures and radar data represent good tools to monitor the evolution of vegetation and the impacts of human activities.

The results of this study highlight the importance of the Antrema savannah in terms of carbon sequestration in the medium term.

Translated with www.DeepL.com/Translator (free version)

Keywords: Arecaceae, climate mitigation, conservation biology, images radar, sentinel1, polarisation HV and VV, nature-based solutions, participatory approach, sustainability, tropical climate

1. Introduction

Couvrant la moitié du continent Africain et 20% de la surface terrestre du globe, la savane constitue l'un des biomes les plus vastes de la planète (Campbell, 1996). Dans sa définition large, la savane désigne toute formation végétale herbacée comprenant des arbres et des arbustes (Eiten, 1972). Ce type de végétation tropicale est caractérisé par une très riche biodiversité et fournit de nombreux services écosystémiques aux populations locales. A titre d'exemple, les plantes de la savane ghanéenne occupent une place importante dans la médecine traditionnelle locale, assurant les besoins de santé de près de 70% des ghanéens (Sarpong, 2000).

La savane est également le biome au monde le plus vulnérable aux feux de végétation avec des implications directes sur le système climatique mondial (Grace, 2006). Les feux de savane sont responsables de 62% des émissions brutes moyennes de méthane (CH₄) et d'oxyde nitreux (N₂O) du monde (Lipsett-Moore et al., 2018). La libération de ces gaz dans l'atmosphère contribue directement à l'effet de serre, à l'origine du réchauffement climatique en cours (Russell-Smith et al., 2017). Du fait de la croissance démographique observée dans les régions savanicoles, les chercheurs prévoient une augmentation de l'intensité et de la fréquence des feux anthropogéniques au cours des prochaines décennies, exacerbant ainsi les effets du changement climatique (Ribeiro et al. 2017).

Dans ce contexte, les politiques de conservation en Afrique sub-saharienne se sont progressivement orientées vers la mise en place d'aires protégées pour encadrer et réduire les feux de végétation (Hugh et al., 2003). Madagascar en particulier, un pays recouvert à 70% par la savane, a connu un rapide développement de son réseau d'aires protégées depuis le début des années 2000 (Razanajatovo, 2013). La Grande île est connue pour avoir l'un des taux d'endémisme les plus élevés au monde avec notamment 90% de plantes vasculaires endémiques (Goodman & Benstead, 2003). Afin de protéger cette biodiversité exceptionnelle et d'atténuer les effets du changement climatique, les feux de végétation sont strictement réglementés au sein du réseau d'aires protégées national (Goodman et al., 2019).

Cependant, à ce jour la communauté scientifique manque de données suffisamment fiables sur les feux de végétation à Madagascar pour évaluer de manière complète l'effet de la réduction des feux sur l'équilibre naturel des milieux savanicoles du pays. Depuis des siècles, la structure et la composition de la savane sont façonnées par des épisodes réguliers de feux de végétation (van Wilgen, 2009). La réduction ou l'exclusion de ces feux peut alors causer la modification de cet écosystème fragile (Hassan, et al., 2007). Face à cet enjeu, la mise à disposition récente de jeux de données d'images satellites représente un potentiel encore trop peu exploité pour la surveillance et l'évaluation de l'effet des modifications des régimes de feu de savane. (Référence OSEI).

Dans cet article, nous discutons de l'effet de la réduction des feux de végétation sur la dynamique des écosystèmes savanicoles malgaches, à travers le cas particulier de l'Aire protégée d'Antrema, située au nord-ouest de Madagascar. Notre étude se propose de mettre en évidence grâce aux données satellites les changements dans la composition floristique de la savane liés à la fréquence des feux. Trois espèces ont fait l'objet d'une étude plus particulière : le palmier emblématique *Bismarckia nobilis* Hildebr. & H.Wendl. et deux autres espèces : *Acridocarpus excelsius* A.Juss. une Malpighiaceae et *Erythroxylum platyclados* Bojer une Erythroxylaceae qui sont très présentes en savane.

2. Matériels et méthodes.

2.1. Site d'étude

La Nouvelle Aire Protégée (NPA) d'Antrema est située sur la côte nord-ouest de Madagascar (Figure 1). Elle couvre 20 620 ha dont 1 000 ha de parc marin. Tout au long de l'année, les températures restent élevées, avec une température annuelle moyenne d'environ 26°C. La moyenne annuelle des précipitations est assez élevée, avec une valeur de 1 498 mm par an. La station est caractérisée par deux saisons bien distinctes : une saison chaude et humide (novembre à avril) et une saison sèche et fraîche (mai à octobre). La NPA d'Antrema fait partie de la "Région Ouest" de Madagascar (Humbert, 1955). Elle est incluse dans la zone éco-floristique occidentale de 0 à 800 m d'altitude caractérisée par une végétation climatique (Pioch, 2015).

Figure 1. Carte des formations végétales de la nouvelle zone protégée d'Antrema. Image Landsat 8 (2017, résolution 15m). QGIS (Version 2.14.3-Essen). (Source Mouna ?)

Ou figure ci dessous

2.2. Espèces étudiées.

Madagascar est célèbre pour sa flore de palmiers remarquablement diversifiée avec 171 espèces de palmiers réparties en 16 genres et représentatives de 4 des 6 sous-familles reconnues dans le monde (Dransfield et al., 2008). La majorité des espèces de palmiers de Madagascar se trouvent dans les forêts tropicales de l'Est et du Nord de l'île.

Cependant, il existe quatre espèces de palmiers, comme *B. nobilis*, qui se sont adaptées à des habitats secondaires comme les savanes (Dransfield & Rakotoarinivo, 2011). *B. nobilis* est une espèce de palmier monotypique, l'un des trois représentants du sous-groupe Hyphaeninae de la famille des Arecaceae (Dransfield, 2006). C'est un palmier solitaire et robuste qui est endémique de l'île rouge. C'est l'un des palmiers les plus communs dans le Nord et l'Ouest de Madagascar et c'est l'espèce dominante dans les savanes. Bien qu'il soit très répandu sur la côte ouest du pays, on sait peu de choses sur son histoire (Dransfield & Rakotoarinivo, 2011). *B. nobilis* a la capacité de survivre au feu, ce qui explique son succès dans

l'invasion de tels habitats anthropiques au fil du temps (Koechlin et al., 1974).

Figure 2 : *Bismarckia nobilis*



Les deux autres espèces étudiées : *Acridocarpus excelsius* A.Juss. une Malpighiaceae et *Erythroxyllum platyclados*

Bojer une Erythroxyllaceae s'observent à des densités différentes suivant les mécanismes de régénération et de dynamique des savanes en fonction de la fréquence des feux. Le port d'*A. excelsius* (**Fig. 3**)

Orthotropic sympodial modules by affixing the branches *Acridocarpus*



Figure 3 : *Acridocarpus excelsius*

présente des axes dressés dit orthotropes qui s'incurvent légèrement alors qu'*E. platyclados* (**Figure 4**) a une architecture typique avec des branches (plagiotropes) disposées horizontalement par niveaux plus ou moins étagés.

Figure 4 : *Erythroxyllum platyclados*

L'utilisation d'images Sentinel1 double polarisation VV et VH a permis de bien mettre en évidence par la réponse des individus de ces deux espèces deux catégories de formations végétales dans les savanes à *Bismarckia nobilis*. Le développement des *E. platyclados* coïncide avec le changement de pratiques dans la gestion des milieux naturels avec la diminution des feux de savanes dans certaines zones. *E.* étant beaucoup moins résistant aux feux de savane qu'*Acridocarpus excelsius*.

L'architecture de la végétation génère une réponse différente VH pour les plagiotropes et VV pour les orthotropes. Ces architectures et données radar représentent de bons outils pour suivre l'évolution de la végétation et des impacts des activités humaines. Les résultats de cette étude mettent en avant l'importance de la savane d'Antrema en matière de séquestration de carbone à moyen terme.

2.3. Mesures des données structurales de la végétation

Le choix des sites d'étude a été défini sur la base d'une prospection de terrain. Au total, six sites d'étude ont été sélectionnés (tableau 1). Le choix est lié à la typologie des zones et des formations végétales.

Tableau 1. Les coordonnées GPS des sites d'études.

Sites	Coordonnées GPS
North-west of Sahariaka Lake	N° 1: 15° 44,658' S, 046° 07,492' E
	N° 2: 15° 44,698' S, 046° 07,312' E
West Kapahazo	N° 3: 15° 45,675' S, 046° 06,634' E
	N° 4: 15° 45,696' S, 046° 06,666' E
Ankokoala	N° 5: 15° 45,974' S, 046° 09,504' E
	N° 6: 15° 45,917' S, 046° 09,538' E
Maskoamena	N° 7: 15° 45,623' S, 046° 10,621' E
	N° 8: 15° 45,606' S, 046° 10,656' E
South-east Antrema	N° 9: 15° 43,400' S, 046° 10,350' E
	N° 10: 15° 43,442' S, 046° 10,341' E
South-west Antrema	N° 11: 15° 43,126' S, 046° 09,738' E
	N° 12: 15° 43,099' S, 046° 09,813' E

Dans chaque site, deux parcelles ont été analysées. La méthode Braun-Blanquet a été appliquée pour chacune des 12 parcelles (Braun-Blanquet, 1964). Cette méthode permet d'effectuer des relevés phytosociologiques et de caractériser floristiquement les zones observées. Chaque parcelle respectait trois critères : homogénéité floristique, homogénéité structurelle et physiologique et uniformité des conditions écologiques. Chaque parcelle était constituée d'un rectangle de 20 m x 50 m, perpendiculaire au niveau de la mer. Elles ont ensuite été subdivisées en dix parcelles de 10 m x 10 m. À l'intérieur de chaque parcelle, nous avons enregistré les facteurs environnementaux suivants pour tous les individus de *B. nobilis* d'une taille supérieure à 10 cm : Diamètre à hauteur de poitrine (DBH : hauteur de à 130 cm), hauteur maximale, état phénologique et nombre de feuilles. Nous avons estimé la hauteur en nous basant sur des méthodes trigonométriques utilisant un niveau d'Abney (Philip, 1994). Enfin, nous avons classé chaque individu enregistré en fonction de son état de développement. La localisation géographique de chaque parcelle a été obtenue en utilisant un GPS et la topographie avec un clinomètre.

2.4. . Analyse des données

2.4.1 Analyse spatiale

Nous avons utilisé une image Sentinel 2 du 8 avril 2021. Dans cette étude, nous avons utilisé une image à résolution spatiale modérée (15 m) du satellite Landsat 8 (lancé le 11 février 2013) de l'U.S. Geological Survey. Cette image a été acquise au-dessus du NPA d'Antrema en mars 2017 et comprenait 11 bandes spectrales au total. Nous avons prétraité l'image satellite (construction virtuelle de la trame, étalonnage des couleurs, découpage des polygones, délimitation de la zone) puis appliqué une classification supervisée impliquant sept régions d'intérêt (ROI). Toute l'analyse a été effectuée sur le logiciel QGIS (version 2.14.3-Essen). Les résultats de la classification nous ont permis de mener une

analyse plus approfondie basée sur l'estimation de la surface de la classe de savane avec *B. nobilis*.

2.4.2 Estimation de la sequestration du carbone par *Bismarckia nobilis*.

Nous avons quantifié le carbone de surface de *B. nobilis* en utilisant des relations allométriques. Deux équations ont été explorées afin de déterminer en premier lieu la biomasse aérienne (AGB) de *B. nobilis* (tableau S4). **Equation 1** ($AGB = 12.72H + 12.90$) (Razanajatovo, 2013) et **Equation 2** ($AGB = 24.553 + 4.921H + 1.017H^2$) (Delaney *et al.*, 1999; Brown *et al.*, 2001). L'équation 1 est une équation propre à l'espèce étudiée, *Bismarckia nobilis* tandis que l'équation 2 est utilisée comme équation générale pour le genre *Sabal*. Ces deux équations expriment l'AGB en fonction de la taille maximale des individus. La comparaison des résultats basés sur ces deux équations devrait confirmer la pertinence de l'utilisation d'équations allométriques spécifiques. Dans cette étude, nous n'avons pas pris en compte la biomasse des herbacées car nous avons supposé que les changements dans les réservoirs de carbone sont plus importants chez les palmiers que chez les espèces herbacées (Pellegrini *et al.*, 2016). Enfin, le carbone par site a été déduit des valeurs de l'AGB, en estimant que la biomasse est constituée de 50 % de carbone (Chave *et al.*, 2005). Les stocks totaux de carbone par site ont été obtenus en additionnant les valeurs des stocks de carbone des trois compartiments suivants : biomasse aérienne, racines et litière. Seule la biomasse aérienne a pu être mesurée. Nous avons utilisé les estimations d'études précédentes pour les racines (1,9-6t/ha) et la litière (7,13-4t/ha) (Razanajatovo, 2013). Enfin, le potentiel global de piégeage du carbone de *B. nobilis* dans la NAP d'Antrema a été calculé sur la base de l'analyse spatiale précédente en multipliant la surface totale de la savane par le stock moyen de carbone de l'espèce par hectare.

2.4.3 Modèle prospectif de la dynamique de la population de *Bismarckia nobilis* dans le NPA

Nous avons créé un modèle de la dynamique de la population de *B. nobilis* dans le NPA en utilisant une régression linéaire. **Equation 3:** $Y = Pn - (87,333 \times m1 + 700,000 \times m2 + Pn \times m3 + Pn \times m4) + Pn \times r$. Nous avons pris en compte les six facteurs suivants : la taille actuelle de la population de *B. nobilis* dans la NAP (Pn) ; les taux de mortalité annuels de l'espèce liés aux prélèvements pour la toiture ($m1$), aux activités artisanales ($m2$) et au feu ($m3$) ; la mortalité naturelle ($m4$) et le taux de régénération (r) de l'espèce. La taille actuelle de la population de l'espèce a été estimée en multipliant la densité moyenne de palmiers par hectare (564 indiv/ha) par la surface totale de la savane. En outre, nous avons utilisé les résultats d'une étude complémentaire (ref) sur les utilisations locales de *B.nobilis* dans la NPA, qui estime que 87 333 individus de palmiers sont récoltés par an pour la toiture et 700 000 palmiers pour l'artisanat. La période de réitération s'étend sur 50 ans. Le modèle final comprend trois scénarios prospectifs qui diffèrent dans l'estimation des taux de mortalité comme indiqué dans le tableau 2.

Tableau 2

2.4.4 Distributions des *A. excelsius* et *E. platyclados*

Pour étudier, la distribution des *A. excelsius* et *E. platyclados*, nous avons utilisé des images Radar Sentinel1 de 2016-2017 avec des polarisations des bandes horizontales et verticales, les polarisations VV fournissent une réponse plus importante des structures verticales, les polarisations HV ont une réponse plus importante pour les structures horizontales. Les sorties ont été réalisées avec le logiciel SNAP. Nous avons complété les observations par des données de terrain sur la fréquence des individus des deux espèces. Nous avons utilisé les images : s1a_38LPH_vh_DES_20160116txxxxxx_filtered.tif.aux.xml s1a_38LPH_vv_DES_20160116txxxxxx_filtered.tif.aux.xml traitées avec le logiciel Snap

3. Résultats et discussion

3.1 Typologie des formations

Tableau 3 Matrice de confusion :

	1- Forêt Dense	2- Forêt Dégradée	3- Savane avec palmier	4- Savane	5- Mangrove	6- Eau	7- Sol Nu	Total	Précision utilisée
1- Forêt Dense	335	1	0	0	0	0	0	336	99,7%
2- Forêt Dégradée	0	329	7	0	0	0	0	336	97,9%
3- Savane avec palmier	0	5	320	0	10	0	1	336	95,2%
4- Savane	0	0	8	327	0	0	1	336	97,3%
5- Mangrove	0	1	0	0	335	0	0	336	99,7%
6- Eau	0	0	0	0	0	336	0	336	100,0%
7- Sol Nu	0	0	4	1	0	0	331	336	98,5%
Total	335	336	339	328	345	336	333	235	
Précision Producteur	100,0 %	97,9%	94,4 %	99,7%	97,1%	100,0 %	99,4%		
Précision Global	98,34%								
Kappa	98,07%								

A développer ou supprimer

3.1 Le carbone

Les stocks moyens de carbone par site d'étude selon les deux types d'équations allométriques sont résumés dans le Tab. 4.

Sites	Bioma sse Eq. 1 (t/ha)	Carbo nne Eq. 1 (t/ha)	Bioma sse Eq. 2 (t/ha)	Carbo ne Eq. 2 (t/ha)
NW Sahariaka	42.6	21.3	48.8	24.4
W Kapahazo	26.2	13.1	30.8	15.4
Ankokoala	29.8	14.9	33.2	16.6
Maskoamena	26.2	13.1	27.4	13.7
SE Antrema	9	4.5	9.42	4.71
SW Antrema	12.7	6.39	13.7	6.89
Moyenne	24.43 (+/- 6)	12.22 (+/- 6)	27.2 (+/- 7)	13.6 (+/- 7)

Tableau 4. Estimation de la biomasse et de la quantité de carbone à partir des équations 1 et 2.

Ces résultats montrent que les valeurs moyennes sont similaires dans les deux cas. Les résultats basés sur l'équation générale pour le genre *Sabal* montrent des valeurs légèrement plus élevées ($X=13,6 \pm 7$ SD t/ha) que ceux basés sur l'équation propre à l'espèce *B. nobilis* ($X=12,215 \pm 6$ SD t/ha). Mais les deux cas indiquent la même répartition générale des stocks de carbone entre les sites. La valeur moyenne la plus élevée est observée au nord-ouest du lac Sahariaka avec 21,3 t/ha (équation 1) et 24,4 t/ha (équation 2) (figure 1). En revanche, les sites du sud-est et du sud-ouest de l'Antrema sont caractérisés par les valeurs moyennes les plus faibles : respectivement de 4,5 t/ha à 4,71 t/ha et de 6,4 t/ha à 6,9 t/ha.

3.2 Quantité de carbone dans la savane à *Bismarckia*

Les résultats de l'analyse spatiale **sont affichés** sur la carte de la NPA (Figure 1). On a distingué sept catégories. Nous nous sommes concentrés sur la classe "Savane et palmiers". La superficie totale de la savane de palmiers est évaluée à 7 400 (+/- 10 %) ha sur les 20 620 ha de la NPA, (35,9 %) de la superficie totale. Sur la base de ce calcul et en tenant compte de la densité des *B. nobilis* (564 ind/ha) pour le site d'étude, nous avons estimé la taille totale de la population de *B. nobilis* dans la savane de palmiers de la NAP à 4 millions d'individus. Enfin, la valeur totale du carbone stocké dans *B. nobilis* dans la savane du NPA est plus élevée selon l'équation (2) du genre *Sabal* que si nous utilisons l'équation (1) propre à l'espèce cible : respectivement 101 et 91 t de carbone.

3.3 Variation de la population de *Bismarckia nobilis* suivant plusieurs scénarii

Les tendances sur les 50 prochaines années varient suivant les scénarii avec une dégradation significative de

la ressource pour les 1 et 2, et une augmentation des populations pour le 3. Pour le scénario 1, on a une baisse de 60% des populations d'ici 2071 : de 4 millions à 1,6 million d'individus. Bien que moins critique, le scénario n°2 indique également une baisse de la taille de la population de 22 % d'ici 2071. En revanche, le scénario n°3 indique une augmentation importante de la taille de la population. De 4 millions, on passe à près de 6 millions d'individus en 2071.

3.3 Les populations d' *A. excelsius* et *E. platyclados*

Les populations d' *A. excelsius* et *E. platyclados* répondent différemment aux signaux radar Sentinel1. Les individus plagiotropes signent bien dans les polarisations HV et les orthotropes dans les polarisations VV. Une composition colorée sur une image Sentinel1 a permis de réaliser une image de la zone où l'on distingue les zones de savane avec *A. excelsius* qui résiste bien aux feux de savanes et les zones avec *E. platyclados* qui envahit les zones où le feu ne passe plus.

Figure 6 a, b et c: Images Sentinel1 ; S1_ANTREMA_SNAP_VV_RED_VH_GREEN_20160116_SNAP-Echelle 1 : 5.6

Figure 7 ; Parcelles d'études en fonction de la fréquence du passage des feux.

4.1 Les stocks de carbone dans la savane de la NPA par *B. nobilis*

Dans cette étude, nous avons appliqué deux équations allométriques pour estimer le potentiel de séquestration du carbone de la savane dans le NPA. Dans les deux cas, nos résultats montrent des valeurs similaires. Nous avons choisi de préférence de baser nos interprétations sur l'équation (1), car elle est spécifique à la formation étudiée et reflète une plus grande précision. Les méthodes d'estimation des stocks de carbone de *B. nobilis* fournissent des résultats similaires. L'équation spécifique pour *B. nobilis* semble toutefois plus précise. Sur cette base nous avons pu estimer la valeur des stocks totaux de carbone de *B. nobilis* dans la savane à 12,215 t/ha et **avons démontré** la variabilité en termes de stocks de carbone entre les six sites d'étude. (ref)

Les stocks de carbone du lac Sahariaka Nord-Ouest sont les plus élevés, tandis que les stocks de carbone les plus faibles se trouvent dans l'Antrema Sud-Est et Sud-Ouest (tableau 4). Ces différences peuvent être liées à la densité des palmiers dans chaque site puisqu'il existe un lien direct entre l'accumulation de biomasse et les stocks de carbone (Nizami et al., 2017). En ce qui concerne le résultat de notre analyse spatiale, nous avons estimé la surface totale de la savane à 7 417,4 ha, ce qui représente 35,9 % de la NPA. Ces résultats sont en accord avec une recherche précédente, qui estimait une valeur de 35,78 % de la NPA (Razanajatovo, 2013).

En complément des mesures de terrain, l'analyse spatiale s'est avérée d'une grande utilité pour estimer les niveaux de séquestration du carbone chez *B. nobilis* au sein du NPA. Un meilleur résultat aurait pu être obtenu avec des images satellites à plus haute résolution. Comme le signalent plusieurs études universitaires, les données satellitaires présentent désormais un grand potentiel pour identifier les co-avantages entre la conservation de la biodiversité et le stockage du carbone (Olander et al., 2008 ; Hansen et al., 2013 ; Pfeifer et al., 2016).

Selon des études similaires qui ont été menées sur d'autres formations végétales, la savane de *B. nobilis* présente une capacité de stockage du carbone intermédiaire, inférieure à celle de la forêt naturelle, qui est de la plus haute importance en termes de séquestration du carbone, mais beaucoup plus élevée que la savane herbacée. Bien que du même ordre de grandeur, nos résultats sont légèrement inférieurs à ceux d'une recherche précédente qui a également été menée dans la savane du NPA (Razanajatovo, 2013). Le fait que nous n'ayons pas inclus les stocks de carbone des espèces herbacées de la savane, mais que nous nous soyons concentrés sur les seules espèces de *B. nobilis*, pourrait expliquer ce contraste. De plus, nos calculs n'incluent pas la quantité de carbone stockée dans les feuilles de palmiers et dont les feuilles contiennent environ 31,7% de la biomasse totale dans le cas de l'espèce de palmier *Attalea speciosa* Mart. (Gehring et al., 2011). En tenant compte de la biomasse foliaire de *B. nobilis*, nous aurions donc vu augmenter sa capacité de stockage du carbone.

Dans l'ensemble, l'espèce *B. nobilis* présente une grande capacité de stockage du carbone puisque son stock total de carbone dans la savane sur 7400 ha est d'environ 90 604 t sans tenir compte de la biomasse foliaire. Par rapport aux études précédentes qui ont été menées dans la NPA, cette capacité de stockage est inférieure à celle des forêts denses sèches mais représente le double de celle de la formation des mangroves (tableau 5). Par conséquent, l'abondance de *B. nobilis* dans la savane du NPA en fait un puits de carbone critique à long terme. Bien que les savanes ne soient pas un écosystème prioritaire dans les mécanismes REDD+ ; cette étude s'inscrit dans un corpus académique important qui montre leur potentiel en termes de stockage de carbone (Grace et al., 2006 ; Pelligrini et al., 2016). Selon Scurlock & Hall (1998), la force des puits de carbone des savanes pourrait même être évaluée à 0,5 Gt. Outre l'accumulation de la biomasse, la capacité de stockage du carbone des savanes est influencée par la fréquence des incendies et du pâturage dans le monde. Par conséquent, la protection des savanes contre les pressions anthropiques augmenterait considérablement leur potentiel de puits de carbone (Grace et al., 2006).

4.2 Disponibilité à moyen terme de la ressource naturelle étudiée

Dans cette étude, nous avons testé différentes estimations des taux de mortalité de *B. nobilis* liés au

feu, aux prélèvements pour la toiture et aux activités artisanales ainsi que son taux de mortalité et de régénération naturelle. D'après ces estimations, nous avons élaboré trois scénarios prospectifs sur la disponibilité de la ressource au cours des 50 prochaines années. Le scénario n°1 indique une diminution rapide et substantielle de la taille de la population de *B. nobilis*. Ce résultat reflète le fait que le taux de régénération naturelle est trop faible pour rattraper le taux de mortalité lié aux activités anthropiques. En revanche, le scénario n°3 montre une augmentation importante de la taille de la population. Dans cette situation, le taux de régénération naturelle est deux fois plus élevé que dans le scénario n°1 et dépasse les pertes dues aux activités anthropiques. Enfin, le scénario n°2 est un scénario intermédiaire qui exclut les incendies mais qui considère un taux de mortalité lié aux activités de couverture plus élevé que les deux autres scénarios, alors que le taux de régénération naturelle est abaissé à 1 % seulement. En raison de ce déséquilibre, le scénario montre une diminution significative de la taille de la population. La régénération naturelle et les activités anthropiques, qui comprennent le feu et les utilisations locales, semblent agir comme deux forces motrices sur la dynamique de la population des espèces de *B. nobilis*. Sur la base des données de terrain et des perceptions locales, nous concluons que le scénario n°3 est le plus approprié pour décrire la situation actuelle au sein du NPA. À moyen terme, la population globale de *B. nobilis* d'Antrema n'est pas menacée d'épuisement mais connaîtra plutôt une phase d'extension. Les activités anthropiques n'ont pas d'impact négatif sur la taille de la population et contribuent plutôt à son expansion par le feu qui stimule la germination des graines. Étant donné la capacité substantielle de stockage du carbone de *B. nobilis*, comme indiqué précédemment, nous pouvons prévoir avec prudence une augmentation du potentiel de puits de carbone de la savane de la NPA au cours des 50 prochaines années. Ces résultats contrastent avec deux études précédentes qui ont été réalisées dans d'autres régions de Madagascar (Tableau S7).

Dans ces régions il existe un grave appauvrissement des populations de *B. nobilis*, soit à court terme (Ratoavimbahoaka, 2006), soit à moyen terme (Rabefarihy, 2007). Ces évaluations diffèrent de celles de notre étude car les deux zones étudiées ne font partie d'aucun schéma de protection comme c'est le cas à Antrema, qui est une zone protégée de catégorie VI selon la classification de l'UICN (Pioc, 2015). De plus, les usages culturels qui caractérisent ces régions sont associés à une exploitation plus intensive de l'espèce (tableau S7). Ces deux scénarios alarmants soulignent la nécessité de continuer à surveiller la dynamique des populations de *B. nobilis*, car certaines menaces sont communes à toutes les régions, et donc susceptibles de mettre en péril les populations d'Antrema à long terme.

Figure 8. La densité de *A. excelsius* et *E. platyclados* dans différentes parcelles suivant le temps écoulé depuis le dernier incendie. Le ** indique la différence significative à $p < 0,05$.

Lien transition ???

Manque partie Acridocarpus et Erythroxyllum ????

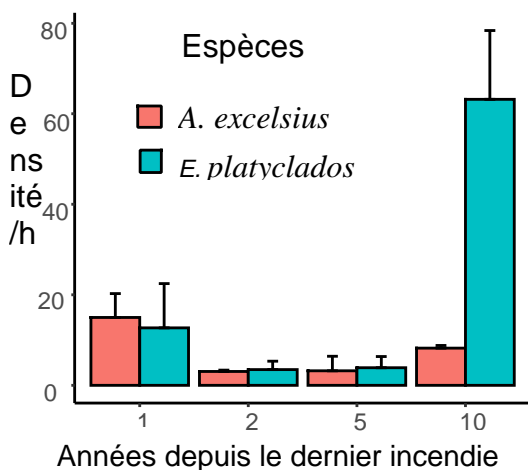


Figure X. La densité de *A. excelsius* et *E. platyclados* dans différentes parcelles suivant le temps écoulé depuis le dernier incendie. Le ** indique la différence significative à $p < 0,05$.

La densité d'*E. platyclados* était significativement plus élevée dans les parcelles moins perturbées (10 ans depuis le dernier incendie) par rapport aux parcelles beaucoup perturbées ($p < 0,05$, TukeyHSD). La densité d'*A. excelsius* n'était pas significativement différente de la densité d'*E. platyclados* sauf dans les parcelles moins perturbées ($p = 0,003$, TukeyHSD). (Figure X)

4. Conclusion

Cette recherche a contribué à mettre en évidence l'importance des savanes dans la séquestration du carbone. Dans cette étude de cas, nous avons constaté que la valeur moyenne du carbone qui est stocké dans *B. nobilis* dans la savane d'Antrema est de 12,2 t/ha, sur la base d'une équation allométrique propre à l'espèce. Etant donné que la surface totale de la savane a été estimée à 7 417 ha, ce qui représente 35,9% de la NPA, nous avons estimé à 90 000 t la quantité de carbone stockée par *B. nobilis* dans la zone étudiée, sans tenir compte de sa biomasse foliaire. Bien qu'inférieure aux niveaux de séquestration du carbone dans les forêts denses sèches, cette valeur représente le double de celle de la formation de mangroves dans le NPA (Rakotovo, 2013). En outre, *B. nobilis* s'est avéré être un bon indicateur de la résilience de l'écosystème de savane au niveau des espèces. Le scénario n°3 a été choisi comme le plus approprié pour décrire les changements dans la population de palmiers au cours des 50 prochaines années. La régénération naturelle et les activités anthropiques, qui comprennent le feu et les utilisations locales, semblent agir comme deux forces motrices sur la dynamique des populations de l'espèce

B. nobilis. Les activités anthropiques n'ont pas d'impact négatif sur la population globale de cette espèce, mais contribuent plutôt à son expansion par le feu qui stimule la germination des graines. À moyen terme, la ressource n'est pas menacée d'épuisement mais connaîtra plutôt une phase d'extension. Les données sur la dynamique de deux espèces montrent aussi l'impact de la réduction des feux sur l'occupation de l'espace et les transformations en cours des écosystèmes quand le régime des feux se modifie par une action de mise en défens. Par conséquent, nos conclusions mettent en évidence les avantages mutuels de l'utilisation durable des ressources naturelles et de l'atténuation du changement climatique.

TELEDETECTION+++

5. Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier les équipes de guide de la station d'Antrema, les équipes d'enseignants du Master TROPIMUNDO, (UMR 7179) du Muséum national d'histoire naturelle de Paris. Au labex BCDIV, au master

à remercier le Dr Farid Dahdouh-Guebas du département d'écologie des systèmes et de gestion des ressources de l'ULB
Dr Flora Pennec de l'UMR 7206 du Muséum national d'histoire naturelle de Paris

7. Références

- Agence Française de Développement. (2015). *Gouvernance et gestion des nouvelles aires protégées à Madagascar*. Gabrie, C., Rasoloarison, V., & Rambinintsaoatra, R. Antananarivo, Madagascar. 22p.
- Blanc-Pamard, C., & Ramiarantsoa, H. R. (2003). Madagascar: les enjeux environnementaux. In: M. Lesourd. (Editions du temps), *L'Afrique: Vulnérabilités et défis* (pp. 354-376). Paris, France.
- Braun-Blanquet, J. (1964). *Pflanzensociologie: Grundzüge der Vegetationskunde*, Springer-Verlag. Wein. 865 p.
- Brown, S., Delaney, M, & Shoch, D. (2001). Carbon monitoring, analysis, and status report for the Rio Bravo. Carbon Sequestration Pilot Project. Report to the Programme for Belize, Winrock International, Arlington,VA, USA.
- Campbell, B. (1996). The miombo in transition, woodlands and welfare in Africa. CIFOR, 266p.
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M.A., Chambers, J.Q., Eamus, D., Folster, H., Fromard, F., Higuchil, N., Kira, T., Lescure, J.-P., Nelson, B.W., Ogawa, H., Puig, H., Riéra, B., & Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145, 87-99.

- Crutzen, P. J. (2002). Geology of mankind – The Anthropocene. *Nature*, 415-23.
- Delaney, M., Brown, S., & Powell, M. (1999). Carbon-Offset Report for the Noel Kempff Climate Action Project, Bolivia. Report to The Nature Conservancy, Winrock International, Arlington, VA, USA.
- Dransfield, J. (2006). Field guide to the palms of Madagascar. Royal Botanic Gardens, Kew, UK, 170p.
- Dransfield, J., & Beentje, H. (1995). The palms of Madagascar. Royal Botanic Gardens; First Edition, Kew, UK, 487p.
- Dransfield, J., & Rakotoarinivo, J. (2011). The biogeography of Madagascar Palms. In: D. Bramwell (Cambridge University Press). The biology of Island Floras (pp.179-196). Cambridge, UK.
- Dransfield, J., Uhl, N.W., Asmussen, C.B., Baker, W.J., Harley, M., & Lewis, C. (2008). Genera Palmarum: the evolution and classification of palms. International Palm Society, Kew, UK, 732p.
- Eiten, G. (1972). The cerrado vegetation of Brazil. *The Botanical Review*, 38, 201–341.
- Eva, H., Grégoire, J.M., Mayaux, P., & Chevallier, D. (2003). Suivi des feux de végétation dans les aires protégées d'Afrique sub-saharienne. 10.13140/RG.2.2.32428.87688.
- Food and Agriculture Organisation. (2016). State of the World's Forests 2016. Forests and agriculture: land-use challenges and opportunities. Rome, Italy, 107p.
- Gauthier, C.A., & Leclerc-Cassan, M.Y. (2000). *Pré-projet pilote Bio culturel d'Antrema Aranta*. Rapport d'activité. Parc Zoologique Zoo de Bois de Vincennes de Paris, 25 p
- Gehring, C., Zelarayan, M.L., Almeida, R.B., & Moraes, F.H.R. (2011). Allometry of the babassu palm growing on slash-and-burn agroecosystem of the eastern periphery of Amazonia. *Acta Amazonica*, 41(01), 127-134.
- Goodman, M. S., Raheerilalao, M. J., Wohlhauser, S., Andriamialisoa F., & Russell, A.M. Mittermeier. (2019). Les Aires protégées Terrestres de Madagascar: Leur Histoire, Description et Biote (3-Volume Set). Association Vahatra, 1716 pages.
- Goodman, S. M., & Benstead, J. P. (2003). The Natural History of Madagascar. University of Chicago Press, Chicago and London, 1709
- Grace, J., Jose, J. S., Meir, P., Miranda, H. S., & Montes, R. A. (2006). Productivity and carbon fluxes of tropical savannas. *Journal of Biogeography*. 33, 387–400.
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S.V., Goetz, S.J., Loveland, T.R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C.O., & Townshend, J.R. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, 342, 850–853.
- Hassan, S.N., Rusch, G.M., Hytteborn, H., Skarpe, C., & Kikula, I. (2007). Effects of fire on sward structure and grazing in western Serengeti, Tanzania. *African Journal of Ecology*. 46, 174-185.
- Humbert, H. (1955). Les territoires phytogéographiques de Madagascar: leur cartographie. *L'Année Biologique*, 3(31), 439 – 448.
- Koechlin, J-L., Guillaumet, P., & Morat, P.H. (1974). *Flore et végétation de Madagascar*. Cramer, Vaduz, Liechtenstein, 624 p.
- Lipsett-Moore, G.J., Wolff, N.H. & Game, E.T. (2018). Emissions mitigation opportunities for savanna countries from early dry season fire management. *Nature Communications*. 9, 2247 <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04687-7>
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: synthesis*. 184 p
- Montufar, R., Anthelme, F., Pintaud, J.C., & Balslev, H. (2011). Disturbance and Resilience in tropical American palm populations and communities. *The Botanical Review*, 77(04), 426-461.
- Nizami, S.M., Yiping, Z., Zheng, Z., Zhiyun, L., Guping, Y., & Liqing, S. (2017). Evaluation of forest structure, biomass and carbon sequestration in subtropical pristine forests of SW China. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(09), 8137-8146.
- Olander, L.P., Gibbs, H.K., Steininger, M., Swenson, J.J., Murray, B. C. (2008). Reference scenarios for deforestation and forest degradation in support of REDD: a review of data and methods. *Environmental Research Letters*, 3(02), 025011.
- Pellegrini, A.F.A., Socolar, J., Elsen, P.R., & Giam, X. (2016). Trade-offs between savanna woody plant diversity and carbon storage in the Brazilian Cerrado. *Global Change Biology*, 22(10), 3373-3382.
- Pfeifer, M., Kor, L., Nilus, R., Turner, E., Lysenko, I., Khoo, M., Chey, V.K., Chung, A.C., & Ewers, R.M. (2016). Mapping the structure of Borneo's tropical forests across a degradation gradient. *Remote Sensing of Environment*, 176, 84-97.
- Philip, M.S. (1994). *Measuring trees and forests*. CAB International Press, Wallingford, 310p
- Pioch, C. (2015). *La forêt chez les Sakalava de la Station Forestière à Usages Multiples d'Antrema (Nord-Ouest de Madagascar): Etat des lieux et transformations des usages et des représentations* (Master's thesis in ethno-ecology). Museum National d'Histoire Naturelle de Paris, 91 p.
- Rabefarihy, A.F. (2007). *Valorisation économique de Bismarckia nobilis dans le Menabe central* (Master's thesis in vegetal biology). University of Antananarivo, 69 p.
- Rakotovo, A. (2013). *Essai d'évaluation du stockage de carbone des mangroves de la station forestière d'Antrema, Katsepy, Région Boeny-Madagascar* (Master's thesis in vegetal biology). University of Antananarivo, 71 p.
- Ratoavimbahoaka, L. (2006). *Etude biologique et analyse de l'exploitation abusive du palmier endémique "satrabe" (Bismarckia nobilis) dans la commune rurale de Betanatanana-Maintirano en vue d'une conservation pérenne* (Master's thesis in natural sciences). Ecole Normale Supérieure. University of Antananarivo, 67 p.

Razanajatovo, H. (2013). Evaluation de stock de carbone dans la savane arborée à *Bismarckia nobilis* hildebrandt & h.wendl. de la Nouvelle Aire Protégée Antrema. (Master's thesis in tropical ecology - BEVT). Museum National d'Histoire Naturelle de Paris, 28p

Ribeiro, N., Cangela, A., Chauque, A., Bandeira, R. & Ribeiro, A. (2017). Characterisation of spatial and temporal distribution of the fire regime in Niassa National Reserve, northern Mozambique. *International Journal of Wildland Fire*. 26. 10.1071/WF17085.

Russell-Smith, J. et al. (2017) Can savanna burning projects deliver measurable greenhouse emissions reductions and sustainable livelihood opportunities in fire-prone settings? *Climatic Change*. 140, 47–61.

Sarpong, K. (2000). Traditional medicine for the 21st century in Ghana—The role of the scientist/researcher. Commonwealth Lecture Theatre, University of Ghana, as part of traditional medicine week celebrations for the year 2000

Scurlock, J.M.O., & Hall, D.O. (1998). The global carbon sink, a grassland perspective. *Global Change Biology*, 4, 229–233.

Seiler, W. & Crutzen, P.C. (1980). Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning. *Climatic Change*, 2, 207–247.

Van Wilgen, B.W., Govender N, Biggs, H.C, Ntsala, D., & Funda, X.N. (2004) Response of savanna fire regimes to changing fire-management policies in large African national parks. *Conservation Biology* 18, 1533–1540. doi:10.1111/J.1523-1739.2004.00362.

Vielledent, G., Vaudry, R., Andriamananohisoa, S.F., Rakotonarivo, O.S., Randrianasolo, H.Z., Razafindrabe, H.N., Rakotoarivony, C., Ebeling, J., & Rasamoelina, M. (2012). A universal approach to estimate biomass and carbon stock in tropical forest using generic allometric models. *Ecological Applications*, 22(2), 572-583.

s1a_38LPH_vv_DES_20160302t173141_filtered.tif
stak1.dim

Images sentinelles radar en librairie

s1a_38LPH_vh_DES_20160116txxxxxx_filtered.tif.aux.xml
s1a_38LPH_vv_DES_20160116txxxxxx_filtered.tif.aux.xml
s1a_38LPH_vv_DES_20160209txxxxxx_filtered.tif.aux.xml
stak1.data
s1a_38LPH_vh_DES_20160116txxxxxx_filtered.tif
s1a_38LPH_vh_DES_20160209txxxxxx_filtered.tif
s1a_38LPH_vh_DES_20160304txxxxxx_filtered.tif
s1a_38LPH_vh_DES_20160328txxxxxx_filtered.tif
s1a_38LPH_vh_DES_20160421txxxxxx_filtered.tif
s1a_38LPH_vh_DES_20160515txxxxxx_filtered.tif
s1a_38LPH_vv_DES_20160114t173141_filtered.tif
s1a_38LPH_vv_DES_20160116txxxxxx_filtered.tif
s1a_38LPH_vv_DES_20160207t173141_filtered.tif
s1a_38LPH_vv_DES_20160209txxxxxx_filtered.tif