HAL
open science

Contribution de la nouvelle série d'images Sentinel-1 pour le suivi de la végétation côtière dans le Pays de Brest

Halima Talab Ou Ali, Simona Niculescu, Vanessa Sellin, Christophe Bougault

To cite this version:

Halima Talab Ou Ali, Simona Niculescu, Vanessa Sellin, Christophe Bougault. Contribution de la nouvelle série d'images Sentinel-1 pour le suivi de la végétation côtière dans le Pays de Brest. Spatial Analysis and GEOmatics 2017, INSA de rouen, Nov 2017, Rouen, France. hal-01650671

HAL Id: hal-01650671

https://hal.science/hal-01650671v1

Submitted on 28 Nov 2017

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.

Contribution de la nouvelle série d'images Sentinel-1 pour le suivi de la végétation dans le Pays de Brest

Halima Talab Ou Ali[1], Simona Niculescu[1], Vanessa Sellin[2], Christophe Bougault[2]

1. LETG, UBO
Technopôle Brest-Iroise,29280 Plouzané Cedex5, France
Halima.talabouali@univ-brest.fr

2. CNB Brest
52 Allée du Bot, 29200 Brestn France

résumé. Cet article présente une méthodologie de suivi de la végétation sur le Pays de Brest en utilisant les nouvelles séries d'images satellites radar Sentinel-l 1. Le travail consiste, dans un premier temps, de calculer la cohérence interférométrique des grands types de végétation d'une série multi-temporelle d'images radar Sentinel-1, en format SLC (bande C, polarisation VV et VH), entre 2015 et 2016. Dans un deuxième temps, nous proposons le calcul du coefficient de rétrodiffusion radar à partir des images Sentinel 1 au format GRD. Des compositions colorées multi-dates et multi-polarisation seront faite pour détecter le changement.

abstract. This paper presents a methodology for monitoring vegetation in the Pays de Brest using new series of Sentinel-1 satellite images. This work consists of establishing of an interferogram method of the main types of vegetation in order to achieve the coherence of a multi-temporal Sentinel-1 radar image series, in SLC format (C band, VV and VH polarization), between 2015 and 2016. We then proceed to calculating the radar backscatter coefficient based on Sentinel 1 images in GRD format. Multi-date and multipolarized color compositions will be made to detect changes.

mots-clés: Télédétection, suivi temporel, Sentinel1, polarisation radar, végétation.

keywords: Remote sensing, temporal monitoring, Sentinel-1, radar polarization, vegetation.

1. Introduction

Au cours de la dernière décennie, les images de télédétection optique à Très Haute Résolution Spatiale (THRS) ont donné une nouvelle impulsion pour le suivi et la cartographie de la végétation à travers une information très fine et précise. Néanmoins, les analyses sur les données optiques ont été rapidement limitées par la contrainte de la couverture nuageuse présentée sur la majorité des images disponibles notamment sur la Bretagne. Depuis 1991 et avec le lancement du premier radar à synthèse d'ouverture ERS-1, de nouvelles images de télédétection radar viennent compléter le jeu de données en sachant que leur intensité du signal est peu perturbée par l'atmosphère et les nuages.

C'est dans ce contexte que s'inscrit le présent travail qui se base sur proposition d'une méthodologie de suivi et de cartographie de la végétation sur le Pays de Brest. Il se base sur l'exploitation d'une série temporelle d'images acquises par les capteurs radar Sentinel-1 entre 2015 et 2016, dans le Pays de Brest.

Il s'agit d'un thème de recherche d'actualité en raison de la révolution que représentent les séries d'images satellites Sentinel 1 et 2 dans le programme des capteurs satellitaires. Les images utilisées dans ce travail sont les images satellites Sentinel 1. Les images Sentinel-1 allient pour la première fois une haute résolution spatiale (~10m) à une haute fréquence temporelle (~ 6jours) ce qui permet un suivi temporel plus pertinent.

L'objectif de cet article est, dans un premier temps, de présenter les différents résultats obtenus par les méthodes de traitement d'interférométrie radar pour le calcul de la cohérence interférométrique entre les images satellite S1 et le calcul du coefficient de rétrodiffusion radar de chaque date afin d'obtenir les graphes des évolutions temporelles entre les années 2015 et 2016. En effet, l'interférométrie radar est une technique basée sur la génération d'un interférogramme à partir de deux images complexes de la même zone, suivant deux acquisitions différentes. Elle permet donc d'étudier le changement d'état de la surface du sol qui se traduit par un changement des propriétés de rétrodiffusion du sol. La végétation, en particulier, a un rythme d'évolution assez rapide ce qui explique l'intérêt de la série temporelle Sentinel 1 afin d'étudier le suivi temporel de ce changement. En parallèle, les calculs polarimétriques du coefficient de rétrodiffusion radar permet aussi d'obtenir le suivi du changement de rétrodiffusion sur les surfaces cibles.

Pour un prochain travail, nous allons établir une, Nous allons établir une cartographie de la végétation du Pays de Brest par fusion de cette série d'images radar Sentinel-1, avec les images optiques Sentinel-2, SPOT6 et 7.

Etat de l'art

De nombreux travaux de recherche ont montré l'apport des données en télédétection pour le suivi et la cartographie de la végétation à différentes échelles spatiales et temporelles. Dans le domaine Radar, les images les images radar sont

exploitées à travers différentes méthodes de calcul, en polarimétrie et en interférométrie.

Gosselin (Gosselin, 2013) a travaillé avec les données polarimétriques RADASRSAT-2 et ALOS-PALSAR afin d'étudier les physionomies végétales en milieu humide dans la région du lac canadien Saint-Pierre. Son étude a constitué à utiliser la décomposition de Touzi afin de caractériser et de classifier les physionomies végétales des milieux humides sur le lac canadien Saint-Pierre. Cette méthode est basée sur la décomposition incohérente des caractéristiques de la matrice de cohérence, ce qui permet la distinction entre les classes par méthode de seuillage des paramètres de rétrodiffusion. Fieuzal (Fieuzal, 2013) a utilisé les données les même données RADARSAT-2 avec les données Terrasar-X afin d'estimer les paramètres biophysiques des surfaces agricoles sur la zone chantier « Sud-Ouest » du CESBIO situé près de Toulouse. Il a montré l'existence d'une forte complémentarité de l'approche multi-capteurs/multi-spectrales durant le cycle phénologique des cultures étudiées (blé, colza, mais, tournesol, et soja). Des comportements spécifiques des coefficients de rétrodiffusion vis-à-vis des cultures pour les bandes X et C ou L. En effet, la bande X avec la polarisation HH apparait judicieuse pour le suivi du blé, alors que le colza et le maïs montrent d'intéressantes dynamiques en bande C avec la polarisation croisée (VH ou HV). Enfin, les différentes polarisations en bande C présentent des variations utiles pour le suivi du tournesol et du soja.

La cohérence interférométrique sert à classifier les types de diffuseurs (Cloude and Pottier, 1997). Elle est utilisée pour caractériser le couvert végétal et la biomasse (Strozzi et al., 2000). Elle a été utilisée également par (Floury et al., 1997) pour la distinction entre zones forestières et les zones non forestières ainsi que le calcul des paramètres biophysiques des forêts sur la zone de Landes au sud de la France. Prakoso, 2003 a utilisé cette technique pour cartographier les zones tropicales de la forêt de Tapajõs au Brésil à l'aide des images acquises en bande L (~23cm) et en bande P(~1m). Le dernier travail de Pathier (Pathier e. et al 2017) pour l'étude des satellites ALOS-2 et Sentinel-1 pour l'étude des séismes lents dans la subduction mexicaine par interférométrie radar satellitaire. Les données interférométriques sont utilisées dans leur travail afin de compléter les observations GPS séismiques.

Le suivi temporel constitue l'un des avantages des séries d'images en télédétection. Baghdadi et *al*. (Baghdadi et *al*., 2012) ont étudié le suivi de la coupe de canne à sucre en utilisant des images satellite Terrasar-X multi-temporelles acquises à différents angles d'incidence (31°, 37°, 47°) et polarisations (HH, HV, VV sur la région de l'ile de la Réunion dans l'ouest de l'océan Indien. Cette étude a montré que le signal radar rétrodiffusé augmente rapidement avec la hauteur de la canne jusqu'à une hauteur de seuil, qui dépend de l'angle d'incidence et de la polarisation. D'autres travaux peuvent être cités également pour le suivi des cultures : (Guerriero et *al*., 2013) ont étudié la rétrodiffusion radar en polarisation VV, HV et HH en bandes L et C par le modèle TOV, qui a été sélectionné pour prédire le coefficient de diffusion bistatique des cultures. Il est basé sur la théorie du

transfert radiatif, il adopte une approche discrète dans laquelle les éléments de la végétation sont décrits comme des diffuseurs diélectriques discrets et les théories électromagnétiques appropriées sont utilisées pour calculer leurs sections transversales d'absorption et de diffusion. (Inoue et *al*., 2014) quant à eux, ils ont étudié les paramètres de rétrodiffusion en Bande C pour la culture du riz et ont montré l'importance du signal radar rétrodiffusé pour l'évaluation des paramètres LAI et FAPAR afin de suivre la croissance du riz. Dans le même contexte (Hosseini et *al*., 2015) ont utilisé les données polarimétriques en bande C et L afin d'estimer le paramètre LAI des cultures. Ils ont conclu que la bande C peut être utilisée pour l'estimation du LAI sur les champs de maïs et de soja. La bande L, quant à elle, est plus utile pour les champs de maïs. Ils ont montré également que les polarisations croisées ont plus de précision sur l'estimation du LAI que les polarisations parallèles.

Les séries sentinnel-1 sont des séries temporelles denses et garanties, ayant une large couverture, et une résolution fine. Plusieurs travaux de recherche ont été présenté durant la 4ème Journée Thématique PNTS du 24 Mars 2016, intitulée « Apport des missions Sentinel-Copernicus à l'Observation de la Terre ». Le suivi de la végétation été présenté par A. Bouvet (CESBIO, Toulouse). Ces travaux ont montré plusieurs suivis : le suivi temporel du coefficient de rétrodiffusion radar en bande C en polarisation croisée pour la surveillance des forêts sujettes au déboisement, que ce soit au niveau de la détection précoce de déforestation ou le suivi des coupes des forets gérés. Pour le cas des cultures, le rapport de polarisations VV/VH a une forte corrélation avec l'indice de végétation NDVI issu de capteurs optiques. Une autre étude similaire pour le suivi des champs rizières ou le changement temporel de rétrodiffusion est plus élevé. Torbick et al. (Torbick et *al*., 2017) ont aussi utilisé le coefficient de rétrodiffusion radar de la série S1 pour le suivi de la culture du riz pour cartographier l'étendu des zones rizières à Myanmar en Asie du Sud-Est, leur calendrier cultural leur inondation ainsi que leur intensification de cultures. Pathier et al ont montré également l'intérêt de la haute résolution spatiale de la série Sentinel-1. En effet, le passage de 24 à 12 jours améliore significativement la qualité du signal dans les zones à faible cohérence. En conséquence, avec la combinaison Sentinel-1 A et S-1 B la résolution spatiale sera plus significative. Frison et al. 2017 ont étudié le rapport des deux polarisations VV et VH des données Sentinel-1 pour montrer une saisonnalité plus marquée, avec une amplitude d'environ 5 dB. Le signal croît au début du mois de mars, reste élevé jusqu'en septembre, puis décroît à partir de fin septembre pour retrouver son niveau minimum fin novembre. Ces observations, en phase avec NDVI montrent que le rapport de polarisation est complètement lié à la période d'activité foliaire. (Frison et al. 2017).

La présence de l'humidité du sol influe sur le signal radar (Ulaby *et al.*, 1986). Cette sensibilité diminue lorsque l'angle d'incidence augmente (Dissanska m. et al 2010). Baghdadi (baghdadi et al) ont montré également que le signal radar est très dépendant de cette humidité particulièrement aux faibles et moyens angles d'incidence (31° et 37°), contrairement aux images acquises aux grands angles d'incidence (47°).

Dans le domaine optique, le satellite SPOT 6 présente des améliorations majeures au niveau de la résolution spatiale. Cette importante résolution fait de ce satellite un atout dans la détection des zones herbacées. En effet, il offre une alternative intéressante par rapport aux méthodes traditionnelles basées sur de l'analyse d'images aériennes et de terrain (Oumar, 2016). Cependant, malgré cette amélioration technique, les images satellites SPOT ne sont pas toujours adéquates. Lorsque la végétation est caractérisée par une complexité spatiale (mosaïque), les classifications ne sont pas précises. Les données à haute résolution spatiale permettent de résoudre en partie le problème, mais cela reste encore un défi sur des études portant sur des zones étendues (Bartsch et al., 2016). Les données du satellite SPOT 5 ont pu être comparées aux données de Sentinel-2 et de Landsat-8 dans le cadre d'une étude sur la détection d'objet inférieur à la taille d'un pixel (Radoux et al., 2016). Les conclusions démontrent que la résolution spectrale de SPOT 5 le rend beaucoup moins performant que les deux autres satellites dans ce type d'analyse. SPOT 6 et 7 ne présentant pas de changements majeurs en termes de résolution spectrale, il est possible de conclure que ces derniers seront moins performants que Sentinel-2 dans la détection d'objet de taille inférieure à un pixel. Cela aura, par conséquent, des répercussions dans la précision de la classification en particulier si l'image est composée de nombreux pixels mixtes.

2. Présentation de la zone d'étude

Le Pays de Brest est une association de communautés de communes situées au nord du département du Finistère en France métropolitaine (*Figure 1*). Il est organisé autour du pôle urbain brestois qui centralise l'essentiel des activités et des emplois du Pays. La qualité et la diversité de ses paysages associés aux 350 km de façade maritime confèrent au Pays de Brest un intérêt patrimonial justifiant diverses décisions de gestion.

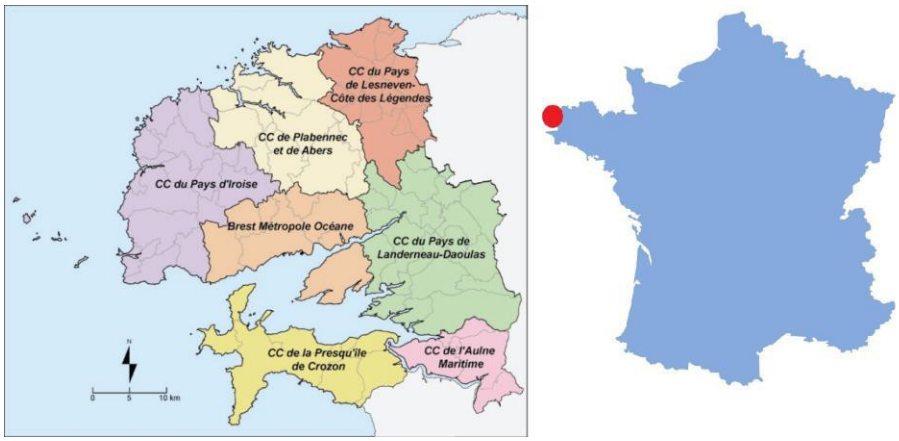


Figure 1: *Zone géographique du Pays de Brest*

Le choix des types de végétation à étudier est fait par photo interprétation à partir des images SPOT 6, et à travers les données in situ du conservatoire botanique national de Brest (CBN). Des visites terrains ont aussi permis de vérifier les classes et de mettre à jour l'information de la hauteur sur certaines parcelles. Et également du dernier travail de cartographie réalisé par le centre de recherche CESBIO1 en 2016 à partir des images Sentinel 2 et Landsat-8 pour la France métropolitaine. Ces données nous ont permis de définir les classes d'occupation du sol qui seront étudiées dans notre travail. Seules les classes visibles sur les images optiques ont été conservées. Certaines classes ont, quant à elles, étés regroupés. Au final, il a été décidé de retenir 14 classes (types de végétation):

1- Classe de forêts,
2- Classe de prairies,
3- Classe de fourrés,
4- Classe de culture d'été,
5- Classe de cultures d'hiver,
6- Classe de landes
7- Classe de plantation d'arbres,
8- Classe de parcs et jardin,
9- Classe de pelouses et dunes,
10- Classe de marais salé,
11- Classe de haie et talus,
12- Classe de roseliers,
13- Classe de champs d'algues.

[1] Le Centre d'études Spatiales et de la BIOsphère de Toulouse.

14- Classe hors végétation (qui comprend le bâti, les rochers falaises et tout ce qui est hors végétation).

Ces classes vont permettre à la fois d'étudier le suivi temporel de ces types de végétation choisis et aussi de passer à l'étape de classification par synergie de données. Le 1er travail consiste donc à établir l'apport de la série Sentinel-1 pour le suivi de l'évolution temporelle de ces classes en polarisation VV et VH, ainsi que leur rapport avec l'humidité du sol par le biais des précipitations. Ensuite, le 2eme travail consiste à étudier l'apport de la combinaison des images Sentinel-1 et Sentinel-2 avec les données SPOT6/7 pour la cartographie de la végétation.

3. Données spatiales mises en œuvre

3.1 Données satellites

Données SAR

Les satellites SAR (*Synthetic Aperture Radar*) Sentinel-1 A et B ont été mises sur orbite le 3 avril 2014 et le 25 avril 2016 respectivement. La constellation des deux satellites a été développée par l'Agence spatiale européenne (ESA) dans le cadre du programme Copernic dans la continuité des satellites ERS et ENVISAT. L'objectif du programme est de fournir aux pays européens des données complètes et actualisées en bandes C (5.6 cm) leur permettant d'assurer la surveillance de l'environnement. L'orbite des deux satellites est quasi-polaire avec une résolution temporelle de 12 jours ce qui permettrait à terme d'observer une même zone géographique tous les 6 jours.

Les images Sentinel-1 sont disponibles en formats SLC (*Single Look Complex*) ou GRD (*Ground Range Detected*) et sous plusieurs modes d'acquisition. Le mode choisi pour notre étude est : Interferometric Wide swath (IW) qui est un mode où les images sont acquises selon une fauchée de 250 km et avec une résolution spatiale de 5 m*20 m. Ce mode est composé de trois sous fauchées : IW1, IW2 et IW3 qui correspondent à des déviations cycliques de l'antenne acquises avec la technique TOPSAR (*Terrain Observation with Progressive Scans SAR*).

Les images disponibles sont en polarisation parallèle VV et croisée VH. VV est ce qu'on appelle le canal co-polar : l'onde rétrodiffusée à la même polarisation que l'onde émise, soit verticale (il n'y a pas de changement saisonnier de polarisation). VH est le canal en polar-croisée (cross-pol) ce qui veut dire qu'il y a eu une modification complète de l'état de polarisation lors de l'interaction de l'onde avec l'environnement, soit de vertical vers horizontal.

On se dispose de 22 images en SLC et 40 en GRD pour l'orbite montante 103 (*TABLE 1*), allant du mois Mai 2015 jusqu'au Octobre 2016. Pour l'orbite 154, on dispose de 30 images en SLC et 37 en GRD.

TABLE 1 *Images Sentinel-1 disponibles*

Sentinel-1						
Type image	Orbite	Type orbite	Angle d'incidence	Polarisation	Mode d'acquisition	Nombre d'images
SLC	103	Montante	38.8°	VV/VH	IW	22
	154	Descendante	38.7°			30
GRD	103	Montante	38.7°			40
	154	Descendante	38.8°			37

3.2 Autres données

Outre les données Sentinel-1, des données de mesures journalières de précipitation ont été utilisées. Ces données sont obtenues à partir du site de la NOAA[2], où les scientifiques utilisent des outils à la pointe de l'innovation pour fournir des données scientifiques fiables. (https://www.ncdc.noaa.gov/)

Nous avons utilisé aussi la base de données fournis par le conservatoire botanique national de Brest (CBN). Ainsi que le dernier travail de cartographie réalisé par le centre de recherche CESBIO en 2016 à partir des images Sentinel 2 et Landsat-8 pour cartographier l'occupation du sol de la France métropolitaine.

4. Analyse et traitement d'images satellites

Le travail présente dans un premier temps le calcul des interférogramme des grands types de végétation afin d'obtenir la cohérence d'une série multi-temporelle d'images radar Sentinel-1, en format SLC (bande C, polarisation VV et VH), entre 2015 et 2016. Dans une deuxième étape, nous proposons le calcul du coefficient de rétrodiffusion radar à partir des images Sentinel 1 au format GRD. Les deux calculs sont réalisés à l'aide du logiciel SNAP de l'ESA. La démarche suivie repose sur une analyse des relations entre l'état des différents écosystèmes de végétation et la réponse radar tout en essayant d'établir des liens entre les réponses physiques de cohérence et des coefficients de rétrodiffusions avec les paramètres de la végétation (phénologie, structure…) ainsi que l'état d'humidité du sol par le biais des précipitations.

4.1. La cohérence interférométrique et le coefficient de rétrodiffusion radar

La cohérence interférométrique est une mesure du bruit de la phase d'un interférogramme et qui dépend des paramètres du capteur (résolution, ligne de base…) mais également des changements temporels des diffuseurs élémentaires (Strozzi et al., 2000). La cohérence peut être modélisée mais ceci reste un exercice

[2] National Oceanic and Atmospheric Administration

compliqué puisque le modèle doit décrire le signal rétrodiffusé de la surface de l'intensité et de la phase. Le signal de la phase change de façon aléatoire à cause du mouvement des diffuseurs élémentaires suite aux variations saisonnières (Pulliainen et al., 2003). Le calcul de l'image de cohérence est réalisé à l'aide du logiciel SNAP de l'ESA (Agence Spatiale Européenne), il nécessite deux images radar pour établir la différence entre les deux dates. La première image est dite image maitresse et la deuxième image esclave. Les images de cohérence sont obtenues après quatre étapes (*Figure 2*):

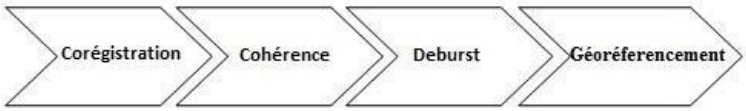


Figure 2. *Les étapes de calcul de la cohérence interférométrique : 1-Corégistration, 2-Calcul de cohérence, 3-Debust, et 4-Correction terrain (TC)*

Une étape de corégistration radar : Elle consiste à superposer à l'échelle sub-pixel les deux images d'une même scène acquises à 2 dates différentes. Ce recalage se fait sur l'image esclave à partir de fichiers orbitaux, d'attitude du capteur, et d'un MNT (Modèle Numérique Terrain) qui s'agit d'un fichier numérique contenant les données d'altitude de la zone. De plus, une de corrélation spatiale additionnelle entre les 2 images permet d'affiner encore ce recalage. Le résultat de cette étape donne une image des valeurs d'intensité et une image de phases (IW2 qui couvre la zone d'étude).

Après avoir obtenu l'image corégistrée, on passe pour le calcul de la cohérence qui permet d'obtenir la différence de phase sur l'image résultat. Ensuite, une opération appelée en anglais « deburst » (S1- TOP), consiste à supprimer les bandes noires entre les portions d'images acquises dans les différentes gammes d'incidence à travers la fauchée.

La dernière étape est celle du géoréferencement, appelé Terrain correction, qui permet de corriger les distorsions géométriques sur l'image pour passer à une géométrie plane afin d'obtenir les coordonnées géographiques. L'image à la base a la géométrie sphérique de la Terre.

Parallèlement au calcul de la cohérence, des calculs d'intensité sont réalisés sur les images de niveau 1 (GRD), c'est-à-dire avec une résolution spatiale dégradée, provenant d'une opération de moyenne de l'intensité radar sur un petit voisinage local, afin de réduire le bruit radiométrique lié au speckle. La calibration radiométrique est le processus permettant d'obtenir le coefficient de rétrodiffusion . Une étape de géoréferencement suit cette méthodologie.

4.2. Détection du changement par imagerie RADAR

La détection du changement saisonnier est un processus qui analyse une paire d'images acquises sur la même zone géographique à des instants différents dans le but d'identifier les changements saisonniers qui ont pu survenir entre les dates d'acquisition. En détection de changement, plusieurs approches pour cartographier les changements par imagerie radar sont fréquemment rencontrées :

- Par la réalisation de composition colorée de différentes dates en utilisant les images en intensité : via la composition colorée : R = date 1 ; V et B = date 2.
- Par analyse de la cohérence interférométrique entre 2 images acquises à des instants différents (Tanase et al., 2010).
- Par le calcul de moyennes temporelles, qui sont fréquemment utilisées dans les séries temporelles radar.

Graphes d'évolution temporelle

Afin d'analyser le comportement des valeurs des coefficient de rétrodiffusion sur l'année 2015 et 2016, il est nécessaire de tracer un profil temporel des valeurs moyennes en décibel des σ0 de l'ensemble de la zone d'étude ainsi que des parcelles que l'on a choisies (combien de parcelles ? au total) afin de déduire s'il existe un lien entre les valeurs des σ0, la saisonnalité végétale et les données de précipitation récupérées sur le site de la NOAA.

Les graphes d'évolution temporelle sont faits en programmation python, sur QGIS en utilisant la fonction zonal_stats qui permet d'établir les différentes statistiques (min, max, moyenne…) sur l'image selon un polygone donné (Algorithme 1). Le but des scripts entiers et de calculer ces statistiques sur toutes les images d'une manière automatique.

Algorithme 1 *Partie de l'algorithme pour le calcul des statistiques*

```
with open('file_path', 'wb') as csvfile:
        layers = QgsMapLayerRegistry.instance().mapLayers().values()
        fieldnames = ['doy', 'count', 'max', 'mean', 'min']
        dict_writer = csv.DictWriter(csvfile,fieldnames)
        dict_writer.writeheader()
        for layer in layers:
          stats = zonal_stats("chemin/image.tif",layer.source())
          for elem in stats:
              elem["doy"] = layer.name()
          dict_writer.writerows(stats)
```

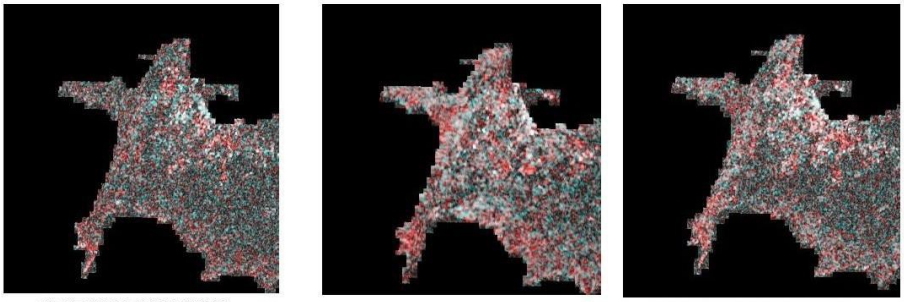
Les graphes résultats seront établis à partir des statistiques moyennes pour les mesures de cohérences, et à partir des statistiques moyennes en décibel pour les mesures de calibration. Les mesures de calibration subirent donc une conversion en décibel selon l'équation (Équation 1) :

$$(\quad) = * \quad (\quad) \qquad (1)$$

4. Résultats et discussions

Les images résultats des calculs de cohérence interférométrique et du coefficient de rétrodiffusion radar sont représentées en compositions colorées (R, V, B), en composition multi-dates (2 dates de comparaison).

Les calculs interférométriques sur les images Sentinel-1 ont permis d'établir les dates où le changement saisonnier est observé entre deux dates de 12 jours d'écart dans notre cas. La figure (*Figure 3*) représente des compositions colorées multi-polarisation, la bande rouge représente la polarisation parallèle VV, et les bandes verte et bleue représentent la polarisation croisée VH. La première image, qui présente la cohérence entre les dates 19/07 et 31/07 de l'année 2015, ne permet pas d'établir un changement saisonnier clair sur la zone sauf pour les zones de bâtis qui apparaissent en couleur blanches (fort cohérence), en fait cette date représente la période d'été. En revanche, la deuxième image (entre les dates 06/12/2015 et 18/12/2015) contient plus de zones de cohérence, elle représente la période de l'hiver où il peut avoir une présence de l'eau sur les surfaces des parcelles. La dernière image représente la période de printemps (entre 27/03/2016 et 08/04/2016): Ici en constate qu'il y a moins de zones cohérentes que pour la période d'hiver. En printemps les feuilles commencent à se développer ce qui explique l'incohérence entre les deux dates.



19/07/2015-31/07/2015 **06/12/2015-18/12/2015** **27/03/2016-08/04/2016**

Figure 3 *Composition colorée multi polarisation en cohérence interférométrique R= VV, V et B= VH entre différentes dates*

En ce qui concerne la polarimétrie radar, l'exemple de la figure (*Figure 4*) représente une composition colorée multi-dates en polarisation VH du coefficient de rétrodiffusion radar, pour les deux dates 27/01/2016 qui représente la période d'hiver, et le 11/09/2016 qui représente la période d'été. Les zones de cultures d'été sont bien présentées en couleur rouge foncé, les cultures d'hiver sont présentées en couleur cyan, les zones de prairies sont avec une couleur sombre, et les zones de forêt sont en mélange de couleur blanche et rouge.

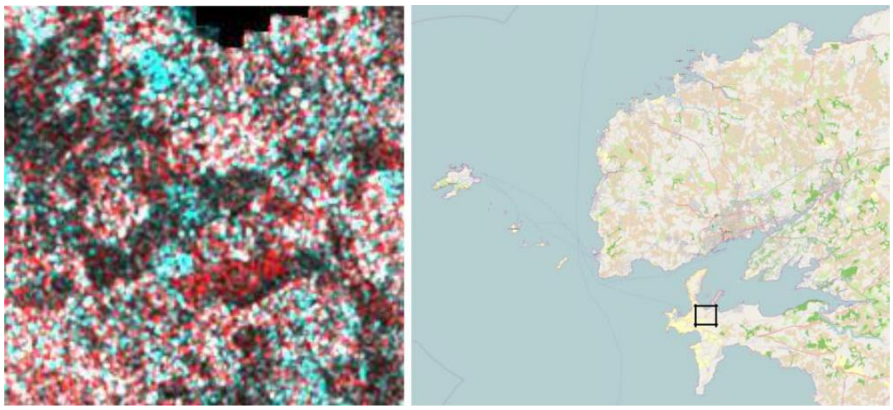


Figure 4 *Composition colorée multi-dates R= 27/01/2016, V et B=11/09/2016 du coefficient de rétrodiffusion radar en polarisation croisée VH*

Cela est dû au fait que le signal rétrodiffusé en polarisation croisée VH n'est pas le même que celui émis, ce qui ajoute une information complémentaire au niveau de la réponse radar. Ainsi, les images radar saisies à partir de diverses combinaisons de polarisation et de longueur d'onde, en polarisation croisée VH pour notre cas (*Figure 4*), peuvent fournir une information différente et complémentaire sur la végétation.

En raison que les deux orbites étudiées (montante 103 et descendante 154) ont presque les mêmes angles d'incidence (*TABLE 1*), les graphes d'évolution temporelles sont donc tracés en combinaisons des résultats des deux orbites.

Les graphes résultats sont obtenu à l'aide du logiciel statistique MATLAB, Pour le graphe d'évolution temporelle en intensité (coefficient de rétrodiffusion radar sigma0 exprimé en décibel), sur les 7 premières types : landes, forêt, fourrés, prairies, cultures d'été, cultures d'hiver et hors végétation.. La première remarque faite est que les valeurs d'intensité pour le type hors végétation est plus forte que les autres classes en polarisation parallèles VV (des valeurs entre -8 dB et -2 dB contrairement aux autres classes où les valeurs sont entre -18 dB et -8 dB). En revanche, pour la polarisation croisées VH, le comportement du signal pour la classe des bâtis reste dans le même intervalle des valeurs que les autres classes. Ainsi pour la classe des bâtis la polarisation parallèle VV fourni une information complémentaire qui peut la distinguer des autres classes.

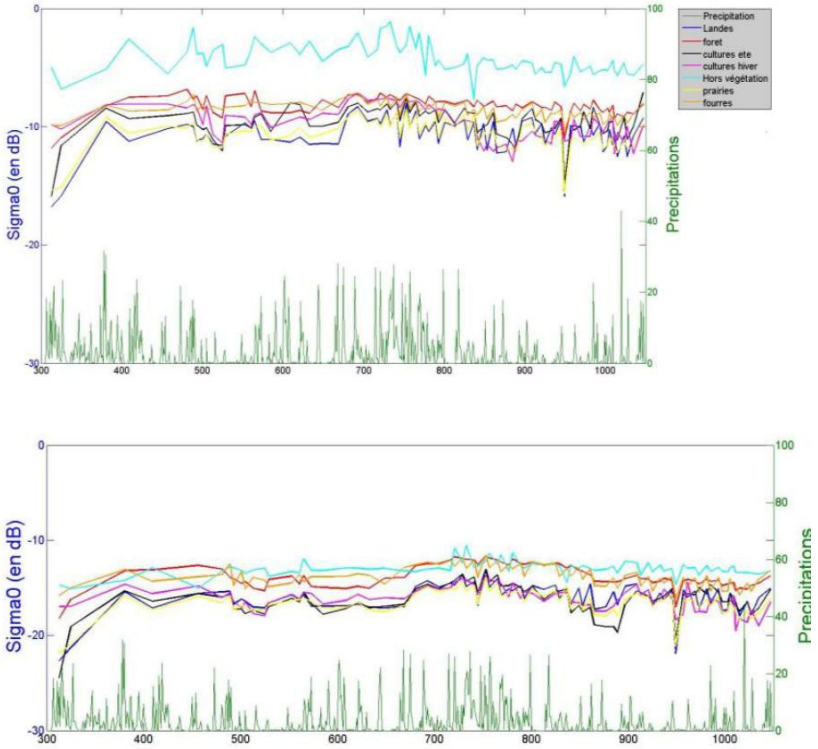


Figure 5 *Evolution temporelle en polarisation parallèle VV(en haut) et en polarisation croisée VH (en bas) pour le coefficient de rétrodiffusion radar exprimé en décibel suivant les jours juliens pour les types landes, forêt, fourrés, prairies, cultures d'été, cultures d'hiver et hors végétation.*

Les valeurs en polarisation VH restent inférieures que celles en polarisation VV (des valeurs entre -30 dB et -10dB pour la polarisation VH et entre -20 dB et 0dB pour la polarisation VV) (*Figure 5*et *Figure 6*), sur l'ensemble des classes étudiées.

D'après les graphes d'évolution temporelle (*Figure 5*), les précipitations sont plus fortes pour la période entre décembre et mars ce qui correspond bien à la période d'hiver. Par contre, on constate qu'il y aussi de fortes précipitations réparties sur l'année, ce qui est expliqué par la situation géographique de la région du Pays de Brest. Celle-ci se caractérise par la fréquence de ses précipitations dues à son climat océanique appartenant à la zone tempérée. La région se caractérise par des hivers frais et humides et des étés doux et relativement humides. En outre, il existe une corrélation (*Figure 5*) entre le signal radar (sigma0), en polarisation croisée VH, et les quantités de précipitations. Ce qui n'est pas le cas sur les graphes d'évolution en polarisation parallèle VV. En outre, la diminution du signal radar pour des classes

étudiés pouvait être réduite jusqu'au 4 dB sur des images acquises après une période pluvieuse.

Les types de végétation cultures d'hiver (magenta) et cultures d'été (noir), les cultures d'hiver ont un signal plus important en période d'hiver, et moins en période d'été.

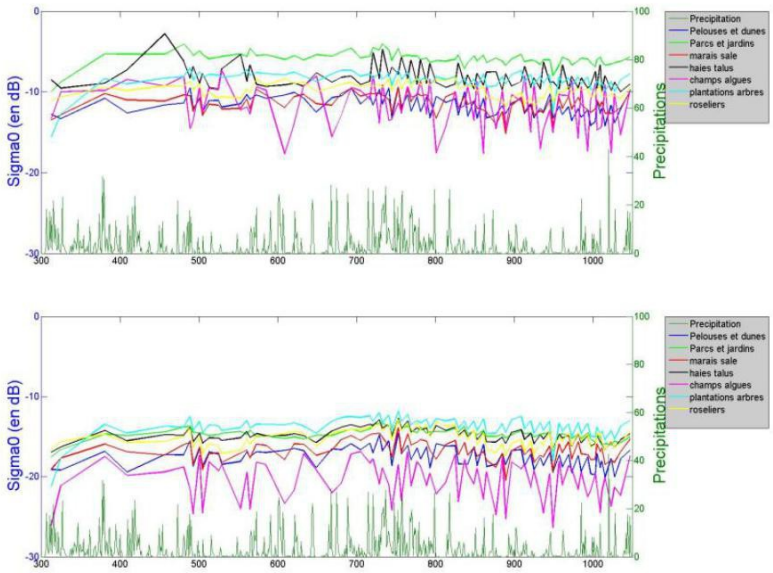


Figure 6 *Evolution temporelle en polarisation VV (en haut) et VH (en bas) pour le coefficient de rétrodiffusion radar exprimé en décibel pour les classes Pelouses et dunes, parcs et jardins, marais salé, haies talus, champs et algues, plantation d'arbres, roseliers et rochers et falaises*

En ce qui concerne les autres types pelouses et dunes, parcs et jardins, marais salé, haies talus, champs et algues, plantations d'arbres, roseliers, et rochers et falaises, en polarisation VV ce sont les parcs et jardins qui ont les plus grandes valeurs en rétrodiffusion radar, en revanches en polarisation VH, ils n'ont pas cette propriété, ce sont les plantations d'arbres qui ont les plus grandes valeurs en VH sur toute la période. En outre, pareils que les classes étudiées dans un premier temps, l'évolution se distingue le mieux en polarisation VH qu'en VV. Sauf pour la classe des champs d'algues ou les valeurs sont aberrantes par rapport aux autres. Cette classe représente des systèmes complexes composés de forêts « sous-marines » ce qui explique le comportement de leur coefficient de rétrodiffusion radar qui est perturbé par la présence de l'eau.

5. Conclusion

Cette étude a permis de calculer la cohérence interférométrique et le coefficient de rétrodiffusion radar des différentes classes de végétation dans le Pays de Brest durant les années 2015 et 2016 et de tracer ainsi les différents profils temporels. Nous avons donc montré l'intérêt des nouvelles séries d'images Sentinel-1 qui permettent d'effectuer le suivi temporel de la végétation et de discriminer les types d'occupation du sol végétal pour le Pays de Brest grâce à leur résolutions spatiale et temporelle très importantes. En outre, nous avons constaté que le suivi en polarisation croisée VH reste le plus pertinent pour cette étude. Ce travail est réalisé sur les parcelles de cultures d'été et d'hiver, des landes, des prairies, des forêts et des fourrées. Une corrélation entre les calculs du coefficient de rétrodiffusion radar et les mesures de précipitation, surtout en polarisation croisée VH, a été constaté (*Figure 5*) et a montré l'existence d'une corrélation entre les mesures en intensité radar et l'humidité du sol. Le coefficient de rétrodiffusion peut être ainsi considéré comme indicateur de développement de la végétation.

Un autre élément qui peut être pris en considération afin d'expliquer les résultats obtenus dans les graphiques pourrait être l'objet de la fréquence de la bande C utilisée par l'antenne Sentinel-1. En effet, les bandes radar n'ont pas la même fréquence donc ne pénètrent pas les différentes strates de la végétation.

Les différentes classifications réalisées ont permis d'évaluer et de comparer les méthodes utilisées. En effet, cette étude aura permis d'explorer de nouveaux logiciels et d'en définir leur apport. D'après les résultats obtenus, nous pouvons en conclure qu'ENVI reste un logiciel satisfaisant pour les traitements des images satellites. En ce qui concerne les logiciels libres, leur apport est plus mitigé. Si SNAP n'a pas révélé des résultats très positifs, l'extension QGIS représente un nouvel outil très prometteur. Malgré les nombreuses difficultés rencontrées dans l'utilisation de cette extension, les deux classifications réalisées ont montré des résultats bien meilleurs que sur ENVI et SNAP. Ainsi, ce nouvel outil est un atout certain dans le développement des outils de télédétection.

Bibliographie

Baghdadi, N., Moinet, S., Todoroff, P., and Cresson, R. (2012). Utilisation de l'imagerie radar Terrasar-x THRS pour le suivi de la coupe de la canne a sucre a l'ile de la Reunion. Rev. Francaise Photogramm. Teledetection 64–75.

Dusseux, P. (2014). Exploitation de séries temporelles d'images satellites à haute résolution spatiale pour le suivi des prairies en milieu agricole. phdthesis. Université Rennes 2.

Fieuzal, R. (2013). Apports des données radar pour l'estimation des paramètres biophysiques des surfaces agricoles. phdthesis. Université Toulouse III - Paul Sabatier.

Gómez, C., White, J.C., and Wulder, M.A. (2016). Optical remotely sensed time series data for land cover classification: A review. ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. *116*, 55–72.

Guerriero, L., Pierdicca, N., Pulvirenti, L., and Ferrazzoli, P. (2013). Use of Satellite Radar Bistatic Measurements for Crop Monitoring: A Simulation Study on Corn Fields. Remote Sens. *5*, 864–890.

Hosseini, M., McNairn, H., Merzouki, A., and Pacheco, A. (2015). Estimation of Leaf Area Index (LAI) in corn and soybeans using multi-polarization C- and L-band radar data. Remote Sens. Environ. *170*, 77–89.

Inoue, Y., Sakaiya, E., and Wang, C. (2014). Capability of C-band backscattering coefficients from high-resolution satellite SAR sensors to assess biophysical variables in paddy rice. Remote Sens. Environ. *140*, 257–266.

Niculescu S., Lardeux C., Hanganu J., Mercier G., David L., (2015), Change Detection of Floodable in Danube delta by Radar Images, 2015, Natural Hazards, Volume 78, Issue 3, p. 1899-1916.

Niculescu, S., Lardeux, C., Grigoras, I., Hanganu, J., and David, L. (2016). Synergy Between LiDAR, RADARSAT-2, and Spot-5 Images for the Detection and Mapping of Wetland Vegetation in the Danube Delta. IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens. *9*, 3651–3666.

Pasolli, L., Notarnicola, C., Bertoldi, G., Della Chiesa, S., Niedrist, G., Bruzzone, L., Tappeiner, U., and Zebisch, M. (2014). Soil moisture monitoring in mountain areas by using high-resolution SAR images: results from a feasibility study. Eur. J. Soil Sci. *65*, 852–864.

Poulain, V. (2010). Fusion d'images optique et radar à haute résolution pour la mise à jour de bases de données cartographiques.

Pulliainen, J., Engdahl, M., and Hallikainen, M. (2003). Feasibility of multitemporal interferometric SAR data for stand-level estimation of boreal forests volume. Remote Sens. Environ. *85*, 397–409.

Strozzi, T., Dammert, P.B.G., Wegmuller, U., Martinez, J.M., Askne, J.I.H., Beaudoin, A., and Hallikainen, N.T. (2000). Landuse mapping with ERS SAR interferometry. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. *38*, 766–775.

Sylla, D. (2014). Fusion de données provenant de différents capteurs satellitaires pour le suivi de la qualité de l'eau en zones côtières. Application au littoral de la région PACA. phdthesis. Université de Toulon.

Tanase, M.A., Santoro, M., Wegmüller, U., de la Riva, J., and Pérez-Cabello, F. (2010). Properties of X-, C- and L-band repeat-pass interferometric SAR coherence in Mediterranean pine forests affected by fires. Remote Sens. Environ. *114*, 2182–2194.

Torbick, N., Chowdhury, D., Salas, W., and Qi, J. (2017). Monitoring Rice Agriculture across Myanmar Using Time Series Sentinel-1 Assisted by Landsat-8 and PALSAR-2. Remote Sens. *9*, 119.

White, L., Brisco, B., Dabboor, M., Schmitt, A., and Pratt, A. (2015). A Collection of SAR Methodologies for Monitoring Wetlands. Remote Sens. *7*, 7615–7645.

Zhao, L., Yang, J., Li, P., and Zhang, L. (2014). Seasonal inundation monitoring and vegetation pattern mapping of the Erguna floodplain by means of a RADARSAT-2 fully polarimetric time series. Remote Sens. Environ. *152*, 426–440.