

# La télédétection pour le suivi de l'environnement en milieu sec

## Problems of satellite images interpretation for dry vegetation survey

S. RAKOTONDRAOMPIANA<sup>1</sup>  
D. HERVÉ<sup>2</sup>  
S. RAZANAKA<sup>3</sup>  
F. RAFAMANTANANTSOA<sup>4</sup>

(1) Laboratoire de géophysique de l'environnement et télédétection (LGET), Institut & Observatoire de Géophysique d'Antananarivo (IOGA), Université d'Antananarivo, Madagascar

(2) Institut de Recherche pour le Développement (IRD UMR 220), BP 64501, 34394 Montpellier, France

(3) Centre National de Recherche sur l'Environnement (CNRE), BP 1739, Antananarivo 101, Madagascar

(4) Ecole Nationale d'Informatique, Université de Fianarantsoa, BP 1484, Fianarantsoa 301, Madagascar

### Résumé

Après un rappel des mécanismes d'acquisition des images d'observation de la terre, on fera un survol des différents types d'images disponibles et accessibles dans notre région, en particulier pour le Sud de Madagascar. On montrera également les différences entre ces images, les données d'interprétation de ces images et la vision des observateurs sur le terrain.

On fera ensuite un tour d'horizon des différents traitements qu'on peut appliquer aux images que ce soient des images radar, optique à haute résolution ou à très haute résolution. Ce qui nous amènera par la suite à discuter des difficultés d'interprétation des images pour différentes occupations du sol en milieu sec.

**Mots-clés:** satellite, occupation du sol, traitement d'image, radar, optique, forêt sèche

### Abstract

After reviewing the mechanisms of acquisition of earth observation images, we will provide an overview of different types of images available and accessible in our region, particularly in the southern of Madagascar. We also show the differences between the images, the interpretation of these images and the vision of the

observers on the ground data. We will then make an overview of the different treatments that can be applied to radar images, high-resolution optical or very high resolution images, which will lead us later to discuss problems of satellite images interpretation in the case of different land uses in dry conditions.

**Keywords:** satellite, land use, image treatment, radar, optical, dry forest

## Introduction

---

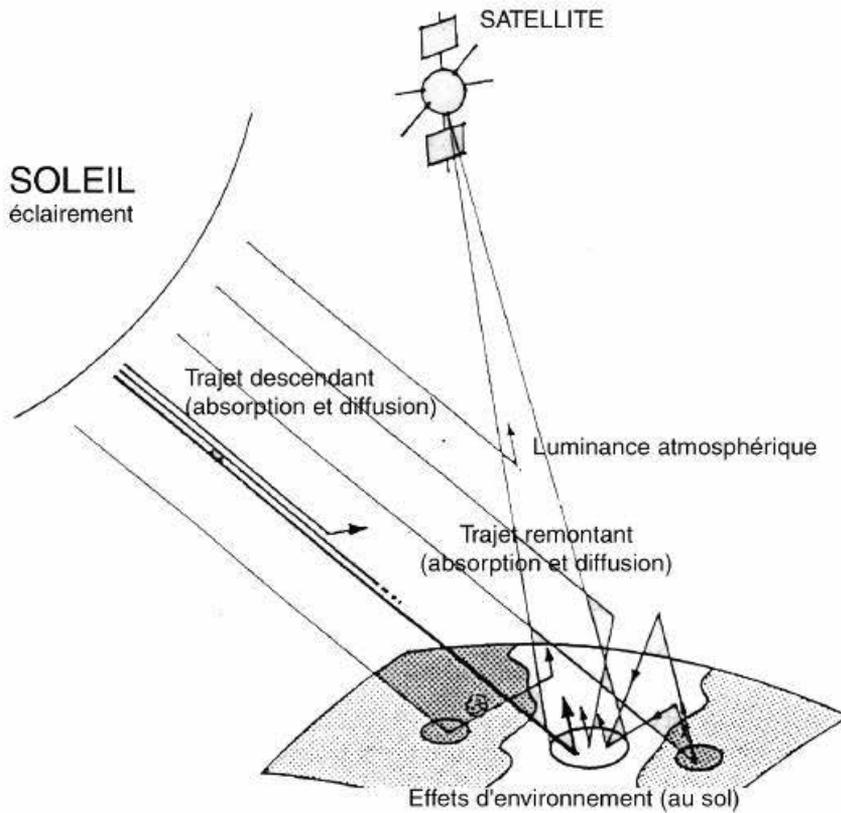
Les images spatiales sont utilisées pour évaluer les diverses occupations du sol et pour suivre leurs évolutions dans le temps et dans l'espace. Les satellites d'observation de la terre sont de plus en plus nombreux et concernent presque tous les domaines de l'observation de la terre. Les mécanismes d'acquisition d'images de télédétection se regroupent en deux grands groupes : les images de type optique et les images radar.

Toutefois, les images à notre disposition ne véhiculent pas toujours les mêmes informations que celles observées *in situ*. Ceci peut amener à des situations où l'écologue, l'agronome (ou le forestier) peut avoir des doutes sur les données satellitaires ou sur ses interprétations. Ce fait est encore plus amplifié quand on travaille en forêt sèche ou épineuse, qui capte les rayons incidents de manière différente à la forêt humide, plus étudiée et donc mieux connue. Il est ainsi essentiel de distinguer les diverses informations véhiculées par chacun des outils à sa disposition afin d'exploiter au mieux la complémentarité entre eux. Nous relaterons ici les leçons tirées de nos expériences lors des traitements des images d'observation de la terre sur des régions sèches du sud-ouest de Madagascar.

## Les images de télédétection optique

---

Le principe physique qui sous-tend la formation des images optiques est la réflexion d'une onde électromagnétique à la surface de la terre. L'onde réfléchie est porteuse d'informations sur la nature de la surface (Figure 1) tout comme un rayon lumineux véhicule de l'information. Ce sont ces informations-là que l'on cherche par la suite à extraire de l'image. C'est le même mécanisme physique que la vision humaine (aux longueurs d'onde près).



**Figure 1 : Marche d'un rayonnement électromagnétique de la source (soleil) aux capteurs (à bord d'un satellite)**

Malheureusement, il n'y a pas qu'à la surface de la terre que ce phénomène de réflexion a lieu. Les différentes couches de l'atmosphère, les nuages, les différentes composantes de l'atmosphère (aérosols et autres particules) interagissent avec les rayonnements électromagnétiques et produisent réflexions, diffractions et absorptions de ces rayonnements. Ces phénomènes sont d'intensité différente selon chaque longueur d'onde. L'atmosphère elle-même peut être considérée comme une source d'onde électromagnétique. Ces phénomènes connexes perturbent l'observation et doivent être corrigés au mieux.

Pour un observateur placé à bord d'un satellite, les paramètres importants sont les longueurs d'onde avec lesquelles il regarde la surface d'une part et sa capacité de discrimination d'autre part. En effet, les capteurs utilisés sur les satellites utilisent une gamme de longueurs d'onde plus large que celle utilisée par l'œil humain. D'une manière générale, on utilise en plus de la gamme du visible les rayonnements infrarouges (proches, moyens, lointains ou thermiques). La taille des pixels détermine la capacité du capteur à distinguer les objets à la surface. Les satellites d'observation ont actuellement des pixels qui vont de quelques km (METEOSAT, MSG, NOAA, MODIS...) à quelques mètres (SPOT, PLEIADES, SENTINEL 2...). Bien entendu, les objets vus par chacun de ces satellites sont assez différents. Il en est de même de l'utilisation de ces données. Les études sont spatialement de taille différente.

## Les images de télédétection radar

Ce qu'on appelle les ondes radar sont des ondes électromagnétiques ayant une fréquence comprise entre 2 MHz et 100 GHz, soit une longueur d'onde comprise entre 150 m et 3 mm. Cette gamme est subdivisée en sous-bandes dénommées avec des lettres. Les applications du radar sont nombreuses depuis l'invention d'Heinrich Rudolf Hertz en 1884. Pour l'imagerie, les ondes utilisées sont dans les bandes X ( $\lambda = 2,4 - 3,75$  cm), C ( $\lambda = 3,75 - 7,5$  cm), L ( $\lambda = 7,5 - 15$  cm), S ( $\lambda = 15 - 30$  cm) ou P (30 - 100 cm).

Les images radar se forment par rétro-propagation des ondes émises depuis le satellite (ou l'avion). Une onde rétro-propagée est la partie de l'onde qui, après interaction avec la surface, revient vers la source. L'émetteur envoie des impulsions latérales vers la surface, un objet à la surface renvoie un écho vers la source, l'analyse de cet écho permet de situer l'objet en question et d'en déduire sa nature (Figure 2).

Le mécanisme de formation d'une image radar est ainsi très différent de celui des images optiques. Un capteur radar peut imaginer la surface de jour comme de nuit puisque la source d'onde est artificielle. Les ondes radar ont également la propriété de traverser les nuages. On peut prendre une image de la surface même en cas de couverture nuageuse. L'image radar est une image dite « tous temps ».

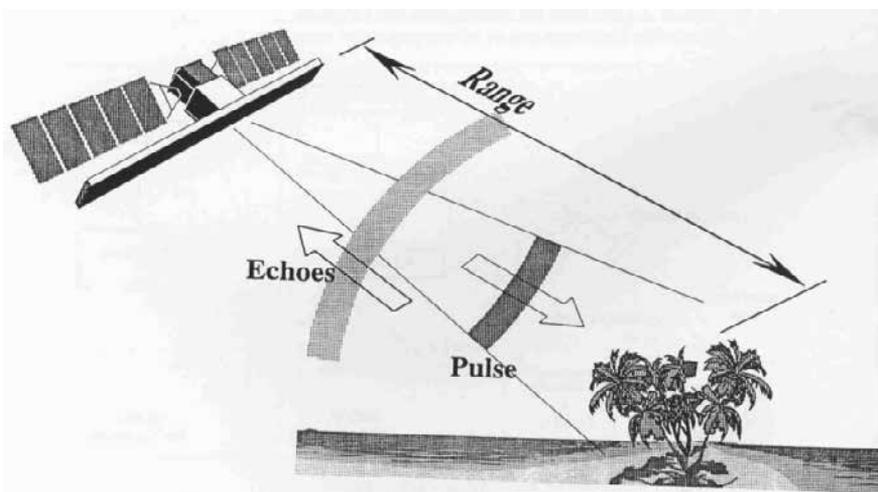


Figure 2 : Principe de la télédétection radar

Mais les images radar telles que décrites ci-dessus ont une résolution spatiale moindre. Afin d'obtenir une résolution spatiale qui permet d'avoir des images utilisables, il faut mettre en œuvre ce que l'on appelle la synthèse d'ouverture. Comme le satellite se déplace pendant qu'il prend l'image, un objet à la surface sera observé plusieurs fois. La synthèse d'ouverture consiste à rassembler les différentes informations sur chaque surface afin de créer une image synthétique plus fine. Tout se passe comme si l'antenne synthétique a une plus grande longueur. D'où l'appellation de « radar à synthèse d'ouverture ».

La réponse radar est influencée par la longueur d'onde, la rugosité de la surface (qui est liée entre autres à la longueur d'onde), l'humidité, l'angle d'incidence et la polarisation de l'onde (HH, VV, HV ou VH). La première lettre indique la polarisation de l'onde émise et la deuxième lettre indique la polarisation mesurée. Plusieurs satellites radar sont actuellement en orbite. Certains sont à simple polarisation tandis que d'autres sont en 'full polarization'. Les gammes d'ondes les plus utilisées en télédétection spatiale radar sont actuellement les bandes X, C, ou L.

## Observations spatiales vs. observations in situ

Les satellites observent la surface de la terre d'en haut. Ceux qui étudient les objets à la surface de la terre (écologues, biologistes, géologues, agronomes, géographes, etc.) ne voient ces objets que de près. Quand le satellite voit une tache qui sera considérée comme la réponse d'un objet (par exemple la forêt, depuis la partie supérieure de la canopée), l'observateur terrestre lui verra les feuilles, les branches et les troncs des arbres. L'œil humain ne voit que dans la gamme des ondes visibles ( $\lambda = 0,4$  à  $0,7 \mu\text{m}$ ), tandis que les capteurs optiques des satellites peuvent étendre leurs 'regards' vers les infrarouges. Une image spatiale, du fait de la hauteur de vue, couvre une superficie plus grande que celle qu'un observateur sur le terrain peut voir en une seule fois (Photo Y1), ce qui permet d'avoir une vision d'ensemble des phénomènes spatiaux (Figure Y2). Bien évidemment, on perd forcément dans les détails, mais cette échelle d'observation permet d'arriver à une compréhension des mécanismes qui sous-tendent la répartition spatiale des objets. Également à cause cette hauteur de point de vue, une image spatiale distingue mal la hauteur des objets (Photos Y3, Y4).

Cette différence de point de vue, cette différence d'échelle d'observation et cette différence dans les longueurs d'onde utilisées doivent être prises en compte par celui qui traite les images et par celui qui les interprète.

## Confusions

Les zones arides sont particulièrement délicates à observer depuis l'espace. En effet, les feuillages des forêts sèches ou épineuses couvrent rarement toute la surface du sol. La canopée n'est pas fermée. Ce qui fait par exemple que les réponses des pixels considérés comme 'Forêt' soient en réalité constituées des réponses des feuilles, de celles des branches, des troncs et surtout de la surface du sol. Ceci rend l'interprétation beaucoup plus difficile que si l'on se trouvait en zone humide où la couverture des feuilles est plus élevée et le pixel moins 'bruité'.

On observe aussi plusieurs confusions dans les réponses des différentes occupations du sol. Par exemple, les réponses sont similaires entre les plantations d'eucalyptus et les forêts denses humides. Par contre, on parvient dans le Parc d'Andringitra à distinguer la forêt humide des couverts denses à *Helicrysum* sp. et *Philippia* sp. (Photo Y5)

Les réponses sont également proches entre les forêts denses sèches (Photo Y4) et les fourrés denses secs (Photo Y3) de la région de Taolagnaro, car ces deux formations diffèrent essentiellement par la taille des éléments qui les composent. Remarquons également un cas très particulier qui est celui des Didieracées. Ces arbres n'ont pratiquement pas de branche. Les feuilles, très ténues, sont directement liées au tronc et laissent la place à des épines au cœur de la saison sèche. On peut observer une véritable formation de Didieracées dans le Sud de Madagascar, mais elle ne sera pas identifiable sur une image. La réponse, très faible, des Didieracées sera cachée par les réponses de la surface du sol ou d'autres plantes au port plus étalé aux alentours.

Certaines savanes du sud-ouest malgache donnent des réponses spectrales très proches de celles des forêts en période de pluie, alors qu'en période sèche elles présentent une confusion avec certains types de fourré. Mais, on peut exploiter justement cet aspect-là pour bien distinguer les réponses entre ces

différents types de végétation en utilisant les deux jeux de données, des images en saison sèche et en saison humide.

## **Evaluation de l'état de dégradation d'une formation végétale**

---

La dégradation de la forêt est un cas qui présente un intérêt de plus en plus grand depuis l'avènement du programme de réduction des émissions dues à la déforestation et à la dégradation des forêts (REDD). En effet, il devient nécessaire de pouvoir cartographier avec précision ces dégradations afin d'en déduire la quantité de carbone contenue dans ces formations. La dégradation peut être identifiée sur une image, surtout en zone humide. Mais cette identification est seulement qualitative si l'on n'utilise que les bandes spectrales et les indices habituels tels que les différents indices de végétation. Souza *et al.* (2002) et Souza (2005) ont proposé des méthodes pour quantifier la dégradation des forêts humides avec des exemples en Amazonie brésilienne entre autres.

Il est nécessaire d'approfondir les études sur les facteurs à l'origine de la dégradation des forêts, mais on peut citer *a priori* la coupe pour la fabrication de charbon de bois, le pâturage et la recherche de nouvelles terres agricoles. La différenciation des réponses spectrales entre ces différentes formes de dégradation constitue un défi majeur pour les spécialistes de la télédétection en région sèche. La dégradation, le plus souvent, se transforme assez rapidement en déforestation, il est essentiel de connaître le mécanisme faisant passer de l'une à l'autre afin de trouver les moyens de l'arrêter.

## **Conclusion**

---

La complémentarité des données Google Earth dans l'interprétation et la classification des images spatiales est un point à éclaircir. Ces données Google Earth sont disponibles en mode très haute résolution (pixel de taille métrique) et gratuites mais simplement en couleurs naturelles. Elles ont aussi maintenant l'avantage non négligeable d'être multi-temporelles. Et le plus souvent même, on dispose de données très récentes. Par contre, l'utilisateur ne maîtrise pas les dates d'acquisition des images, ni les capteurs disponibles, ni les couvertures nuageuses au jour et heure de la prise de vue. Les images ne sont données qu'en couleurs naturelles et elles restent des images spatiales, c'est-à-dire des images verticales prises à une altitude de plusieurs centaines de kilomètres de la surface. Elles ont donc les mêmes inconvénients que les autres images spatiales. Entre autres choses, elles ne peuvent pas renseigner directement sur la structure verticale des forêts.

Il est important que la recherche sur le traitement des images spatiales approfondisse la quantification de la dégradation des forêts et en particulier des forêts sèches. Mais cette quantification doit être exprimée en des termes analogues ou au moins proches de ceux utilisés en foresterie. Les apports des images radar polarimétriques sont à exploiter. Quelles sont les réponses des forêts sèches vis-à-vis des rayonnements laser utilisés en télédétection lidar ? Ce sont autant de questions qui restent à résoudre.

## Références bibliographiques

---

Rakotovo L. J., 2010 : *Télé-détection à THR pour l'évaluation du carbone forestier en milieu tropical semi-aride. Application à un projet pilote REDD+, régions de l'Anosy et de l'Androy, Madagascar*. Mémoire DEA, faculté des sciences, Université d'Antananarivo. 97 p.

Souza C., 2005 : *Mapping and spatiotemporal characterization of degraded forests in Brazilian Amazon through remote sensing*. PhD Thesis, Univ California Santa Barbara.

Souza C., 2006 : « Mapping land use of tropical regions from space ». *PNAS*, vol. 103, 39, pp. 14261–14262.

Souza C., Firestone L., Silva L. M., Roberts D., 2003 : « Mapping forest degradation in the Eastern Amazon from SPOT 4 through spectral mixture models ». *Remote Sensing of Environment* 87, pp. 494–506.



Photo Y1 : Le terrain d'étude vu par l'observateur humain



Figure Y2 : Le terrain d'étude vu par le satellite



Photo Y3 : Le fourré dense xérophile où les arbustes ne font guère plus de 2 m de haut



Photo Y4 : La forêt dense sèche avec des arbres pouvant aller jusqu'à 6 m ou plus (d'après Rakotovo, 2010)



Photo Y5 : Le satellite distingue le couvert d'Ericacée (premier plan) de la forêt humide d'altitude (second plan)

# Transitions agraires

## au sud de Madagascar



# Résilience et viabilité

## deux facettes de la conservation

Editeurs scientifiques

**Dominique Hervé, Samuel Razanaka, Solofo Rakotondraompiana,  
Fontaine Rafamantanantsoa, Stéphanie Carrière**



Institut de recherche  
pour le développement



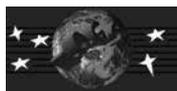
# Transitions agraires au sud de Madagascar. Résilience et viabilité, deux facettes de la conservation

Editeurs scientifiques

**Dominique Hervé, Samuel Razanaka, Solofo Rakotondraompiana,  
Fontaine Rafamantanantsoa, Stéphanie Carrière**

**Actes du séminaire de synthèse du projet FPPSM :  
«Forêts, Parcs, Pauvreté au Sud de Madagascar»  
Antananarivo, 10-11 juin 2013**

**Antananarivo 2015**



## **Mise au point des manuscrits et mise aux normes de la collection PARRUR**

Noly Razanajaonarijery

## **Traduction des titres, résumés et mots clés en anglais**

Domoina Rakotomalala

## **Conception de la couverture**

François Adoré Razafilahy, MYE

## **Auteurs des photos de couverture**

En recto de couverture, photo de Stéphanie Carrière

En dos de couverture, photo de Dominique Hervé

## **Référence de l'ouvrage pour citation**

Hervé D., Razanaka S., Rakotondraompiana S., Rafamantanantsoa F., Carrière S. (eds.), 2015. Transitions agraires au sud de Madagascar. Résilience et viabilité, deux facettes de la conservation. Actes du séminaire de synthèse du projet FPPSM «Forêts, Parcs, Pauvreté au sud de Madagascar», 10-11/06/2013, Antananarivo, IRD-SCAC/PARRUR, Ed. MYE, 366 p.