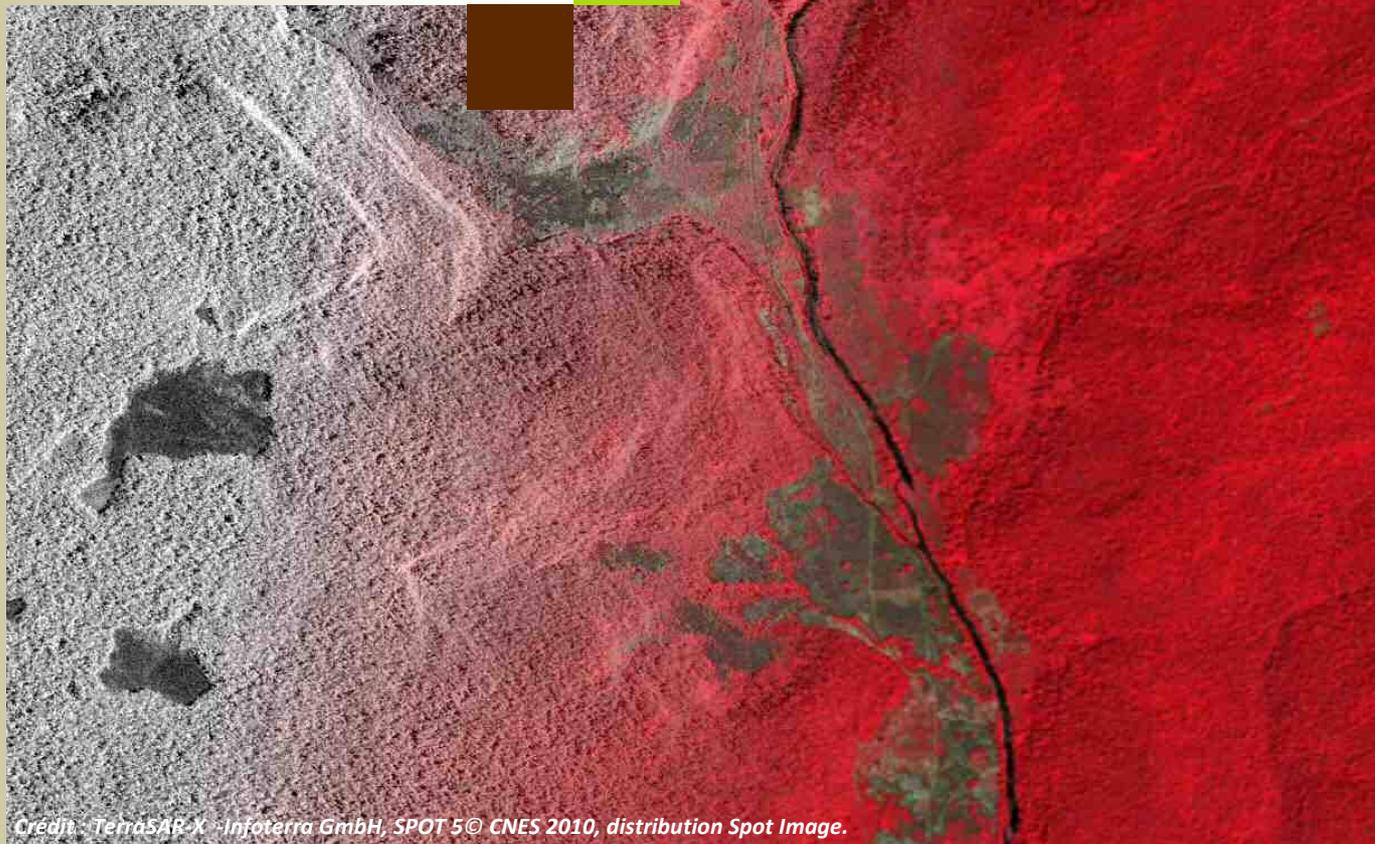


# Briefing

## Note n°6

### Potentiel de la télédétection radar satellitaire pour le suivi des couverts forestiers

P.-L. Frison, J.-B. Routier, C. Lardeux, D. Niamien,  
J.-P. Rudant



Crédit : TerraSAR-X - Infoterra GmbH, SPOT 5© CNES 2010, distribution Spot Image.

Dans le cadre des négociations internationales sur les changements climatiques et sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre (CCNUCC), une grande attention est donnée au futur mécanisme REDD+ (Réduction des Émissions liées à la Déforestation et la Dégradation des forêts).

La mise en œuvre de REDD+ dans les pays et les projets entraîne une forte demande en données satellites et en analyses afin de suivre des paramètres comme les changements d'occupation des terres, l'identification des typologies forestières ou l'estimation des stocks de carbone forestier.

Actuellement, l'imagerie optique est largement utilisée par les développeurs de projets et les gouvernements, mais l'abondance de nuages dans les régions tropicales, limite les capacités d'observations. Cette briefing note tente de faire un point sur une technologie peu utilisée par les forestiers et qui pourtant apporte un complément d'information non négligeable à l'imagerie optique.

#### SOMMAIRE

Introduction .....	p2
Exploitation de l'intensité radar .....	p2
Cohérence interférométrique .....	p3
La polarimétrie radar .....	p3
La polarimétrie interférométrique ...	p7
Références bibliographiques.....	P8

**Mots clefs :** Cartographie, forêt, forêt tropicale, biomasse, carbone, radar, télédétection, RSO, déforestation

**Key words:** Cartography, forest, tropical forest, biomass, carbon, radar, remote sensing, SAR, deforestation

La télédétection satellitaire est un outil particulièrement adapté à l'observation des surfaces terrestres, en raison de son caractère global et continu sur de longues périodes. De plus, les acquisitions réalisées dans différentes gammes du spectre électromagnétique permettent l'accès à des informations complémentaires.

La majeure partie des données acquises depuis les lancements des premiers satellites d'observation de la Terre, dans les années 70, l'a été dans le domaine optique (visible et proche infra-rouge). Les indices de végétation basés sur la différence de rayonnement réfléchi dans le visible et le proche-infra-rouge ont été très largement utilisés pour l'étude de la végétation. Elles ont notamment servi à la cartographie des étendues de forêts et leur dégradation. Bien que les données optiques ne soient pas directement liées à la biomasse, des études plus quantitatives basées sur des relations empiriques la reliant aux indices de végétation ont permis d'estimer dans certains cas la biomasse. Mais les relations empiriques utilisées sont très dépendantes du site étudié, ce qui limite leur extrapolation à des zones plus étendues. L'addition d'autres sources de données, comme par exemple des modèles numériques de terrain, ou des échantillonnages spatiaux obtenus par des collections de mesures *in situ* très localisées, ont permis d'estimer la biomasse

se à une échelle régionale, sur l'ensemble du bassin amazonien (Saatchi *et al.*, 2007). Ces approches ne sont pertinentes que pour des inventaires à faible échelle (de l'ordre du km) et ne peuvent donner d'informations précises à l'échelle plus locale. Enfin, l'imagerie optique est sensible à l'atmosphère, ce qui présente une de ses limitations majeures, notamment pour le suivi de régions tropicales, caractérisées par une couverture nuageuse quasi-permanente.

Depuis 1991 et la mise en orbite du satellite européen ERS-1 embarquant un RSO (Radar à Synthèse d'Ouverture), une autre famille de capteurs acquiert des données de manière continue. Les RSO sont des radars à visée latérale, qui émettent une onde électromagnétique et mesurent les caractéristiques de l'onde rétrodiffusée par la surface observée. Les longueurs d'onde auxquelles ils opèrent varient de 2 cm pour les capteurs opérant en bande X, à 70 cm en bande P. Le tableau 1 résume les différents RSO satellitaires opérationnels passés ou en activité. L'archive la plus conséquente est constituée des acquisitions faites en bande C depuis 1991 par les RSO à bord des satellites européens ERS-1, ERS-2, puis ENVISAT, avec en parallèle les missions canadiennes Radarsat 1 et 2.

A la différence des capteurs optiques, les longueurs d'onde auxquelles ils opèrent rendent l'intensité du signal quasiment insensible aux perturbations atmosphériques ainsi qu'aux nuages. De plus, générant leur propre source de rayonnement, ces capteurs permettent une observation de jour comme de nuit.

Satellite	Capteur	Fréquence (longueur d'onde)	Polarisation	Résolution (m)	Fauchée (km)	Période
SEASAT	SAR	L (24 cm)	HH	25	100	juin-oct. 1978
ERS-1	SAR	C (6 cm)	VV	30	100	juil 91 – mar 10
JERS-1	SAR	L (24 cm)	HH	18	75	fév 92 – oct 98
SIR-C/X-SAR	SAR	L, C, X	VV,HH,HV	30	10-200	avr. & oct. 94
ERS-2	SAR	C (6 cm)	VV	30	100	avril 95 -
RADARSAT-1	SAR	C (6 cm)	HH	10-500	100 - 1000	déc 95 -
ENVISAT	ASAR	C (6 cm)	VV,HH,HV	30-500	100 - 1000	Mars 02 -
ALOS	PALSAR	L (24 cm)	PP	10-	70-	fév. 07 – avril 11
TERRASAR-X	SAR	X (2 cm)	PP	1-30	10-100	juin 07
RADARSAT-2	SAR	C (6 cm)	PP	3	10-500	déc. 07 -
constellation COSMO-SKYMED	SAR-2000	X (2 cm)	PP	1	10-200	juin 07 -
Tandem-X	SAR	X (2 cm)	PP	1	10-150	juin 10 -

Tableau 1 : Caractéristiques des principaux systèmes radar spatiaux actuels ou passés. Ils couvrent les bandes de fréquence X ( $\lambda = 3$  cm), C ( $\lambda = 6$  cm), et L ( $\lambda = 24$  cm). L'acronyme PP signifie que les acquisitions réalisées sont pleinement polarimétriques (cf. partie sur la polarimétrie).

## Exploitation de l'intensité de l'onde radar

Les ondes électromagnétiques interagissent avec les éléments, appelés diffuseurs élémentaires, dont la taille est de l'ordre ou supérieure à la longueur d'onde. Elles sont sensibles aux propriétés électromagnétiques de ces diffuseurs (directement liées à leur forme et leur taux d'humidité) ainsi qu'à leur orientation et répartition spatiale. Dans le cas d'un couvert forestier par exemple, une longueur d'onde de quelques dizaines de centimètres est beaucoup plus sensible aux branches et troncs des arbres, alors qu'une longueur d'onde de quelques centimètres interagit davantage avec les feuilles et les tiges de la canopée. Il en résulte une capacité des ondes radar à pénétrer les couverts forestiers d'autant plus que ceux-ci sont peu denses et que la longueur d'onde d'observation est grande. Pour des quantités de biomasse inférieures à 300 t MS/ha, l'intensité du signal radar augmente avec la biomasse avant d'atteindre un niveau maximal pour un certain seuil de biomasse au-delà duquel le signal reste constant. La figure 1

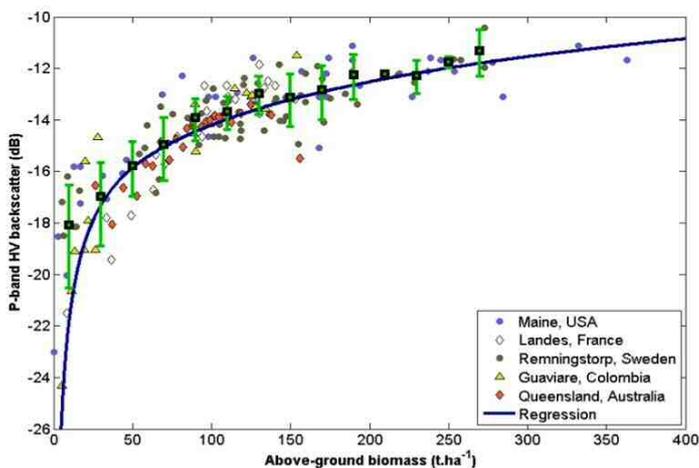


Figure 1 : Variation de la réponse radar normalisée selon l'angle d'incidence d'acquisition  $\theta$  ( $\gamma^0 = \sigma^0 / \cos(\theta)$ ), exprimé en dB) en bande P en fonction de la biomasse mesurée sur 5 sites d'études différents (Source : Le Toan *et al.*, 2008)

illustre par exemple l'intensité de la réponse radar en bande P (longueur d'onde  $\lambda = 70$  cm) observée en fonction de mesures de biomasse effectuées sur 5 sites d'études différents. La réponse radar est donnée selon le coefficient de rétrodiffusion (exprimé en dB),  $\gamma^0 = \sigma^0 / \cos(\theta)$ , normalisé selon l'angle d'incidence d'acquisition,  $\theta$ , afin de prendre en compte les variations liées aux différents angles d'incidence d'acquisitions sur les différents sites.

Le seuil observé correspond environ à 30, 50, et 300 t/ha respectivement pour des longueurs d'onde d'environ 5 cm (bande C), 25 cm (bande L) et 70 cm (bande P), (Imhoff, 1995). Ces seuils de saturation sont des valeurs moyennes et peuvent va-

rier en fonction du site d'étude et de la configuration du capteur lors de l'acquisition, notamment l'angle d'incidence et la polarisation utilisée.

En raison d'un seuil de saturation atteint pour des valeurs de biomasse supérieures à 30 t/ha, la bande C est moins adaptée que la bande P pour estimer la biomasse par inversion des valeurs d'intensité du signal rétrodiffusé. De plus grandes confusions peuvent également avoir lieu pour la cartographie des zones de forêts dégradées en raison de contrastes très variables observés avec des forêts matures. Un capteur en bande P enrichirait de manière significative la panoplie de capteurs radar satellitaires et augmenterait le potentiel de la télédétection pour le suivi de la biomasse. C'est l'objectif principal de la mission BIOMASS, en phase de présélection des missions Earth Explorer de l'ESA (Le Toan *et al.*, 2008).

L'intensité de l'onde rétrodiffusée n'est pas le seul paramètre exploitable dans les données radar. D'autres produits peuvent être dérivés et sont l'objet des paragraphes suivants.

## Cohérence interférométrique entre 2 images radar

La cohérence interférométrique peut être calculée à partir de deux acquisitions radar de la même scène, effectuées dans des géométries d'acquisition voisines, après qu'elles aient subi un recalage géométrique fin. La cohérence interférométrique est un indicateur de la stabilité géométrique des diffuseurs élémentaires au sein d'un pixel. Cette stabilité géométrique est à considérer à l'échelle de la longueur de l'onde radar utilisée.

Les diffuseurs élémentaires étant principalement les troncs et les branches pour des acquisitions en bande P sur une forêt, ils sont relativement stables à l'échelle de quelques jours, dans le cas d'acquisitions successives lors de deux passages de satellite. Il en résulte des valeurs de cohérence interférométrique élevées sur la forêt à ces longueurs d'onde. En revanche, les feuilles et tiges de la canopée interagissant avec les petites longueurs d'onde (bande C et X), sont très sensibles au vent qui va modifier leur orientation et répartition au sein d'un pixel. La végétation est donc caractérisée par des valeurs de cohérence faibles dans ces longueurs d'onde.

La combinaison des images réalisées par JERS en bande L et des images de cohérences interférométriques à partir d'acquisitions faites en bande C par les satellites ERS-1 et ERS-2 (correspondant à un délai entre les 2 acquisitions de 1 jour) a ainsi permis de générer une carte de biomasse (allant jusqu'à 50 t/ha) sur les régions boréales couvrant 800 000 km<sup>2</sup>, avec une résolution de 50 x 50 m<sup>2</sup> (Schmullius *et al.*, 2001). La figure

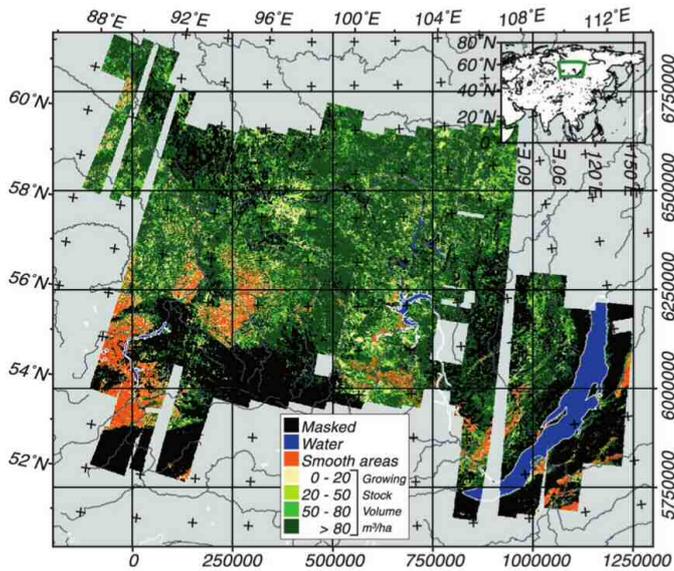


Figure 2 : Carte de stock de croissance volumique ( $m^3/ha$ ) obtenue à partir de données du RSO de JERS et d'images de cohérence interférométrique obtenues à partir des acquisitions RSO de ERS-1 et ERS-2. Source : Wagner *et al.*, 2003.

2 présente une carte de stock de croissance volumique dérivée de ces données.

### La polarimétrie radar

La polarimétrie s'intéresse à la caractérisation géométrique de l'onde rétrodiffusée. La polarisation la plus quelconque d'une onde électromagnétique cohérente (telle que celle émise par un radar) correspond à un champ électromagnétique dont l'extrémité décrit une ellipse dans le plan perpendiculaire à sa direction de propagation (figure 3). Lorsque l'ellipse est complètement aplatie, on parle de polarisation linéaire. Dans ce cas, lorsque le champ électromagnétique est inclus dans le plan

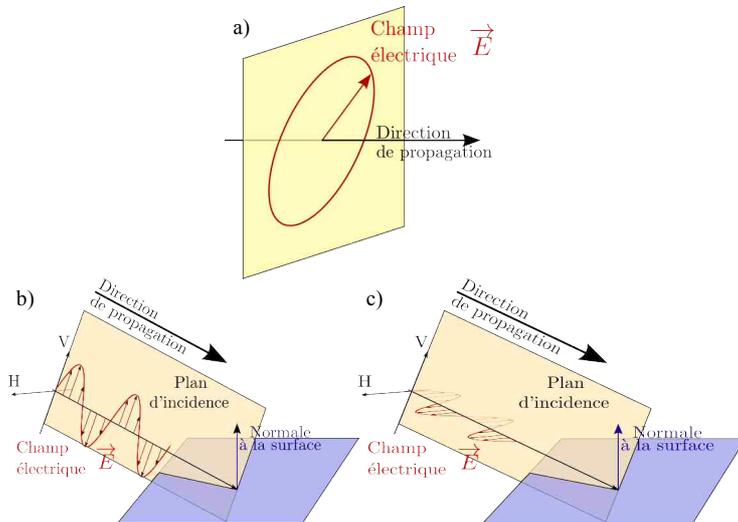


Figure 3 : a) Champ électromagnétique cohérent de polarisation elliptique quelconque b) champ de polarisation linéaire verticale c) champ de polarisation linéaire horizontale

défini par l'axe de visée et la normale à la surface observée (appelé plan d'incidence), l'onde est dite polarisée verticalement. Quand le champ est orthogonal à ce plan, l'onde est dite polarisée horizontalement.

Jusqu'en 2007, les RSO opéraient en polarisation linéaire. Par exemple, les RSO à bord des satellites ERS-1/2 acquièrent des

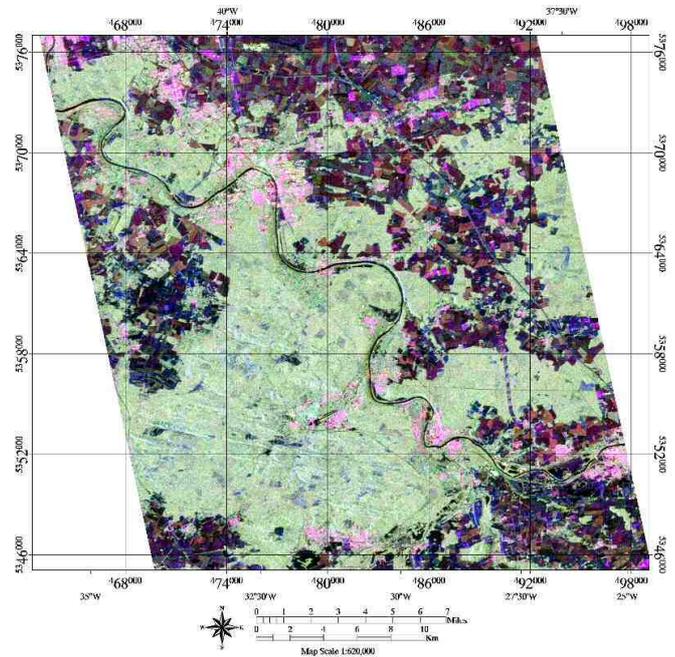


Figure 4 : Composition colorée représentant les polarisations HH (rouge), HV (vert), et VV (bleu) d'une acquisition PALSAR faite le 5 juin 2007 sur la forêt de Fontainebleau. Les zones urbaines apparaissent en teintes rouges, les zones de forêt en vert, et les sols nus ou parcelles de végétation peu denses en bleu.

scènes en polarisation VV. C'est-à-dire que le capteur émet un champ en polarisation verticale et ne mesure que la partie polarisée verticalement de l'onde rétrodiffusée. De même pour un RSO opérant en mode HH (tel Radarsat) fonctionnant en polarisation horizontale à l'émission et à la réception, ou un RSO opérant en mode HV fonctionnant en polarisation horizontale à l'émission et verticale à la réception. Une surface ayant des réponses différentes selon la polarisation de l'onde l'éclairant, l'observation d'une même scène sous différentes polarisations permet d'accéder à des informations complémentaires. Une illustration est donnée figure 4, montrant une composition colorée de la forêt de Fontainebleau acquise simultanément dans les polarisations HH, HV et VV par le RSO PALSAR. D'une manière générale, la polarisation HH met en évidence les zones où l'onde a subi une double réflexion, caractéristique de zones urbaines ou de végétation inondée, HV met en évidence les zones de végétation où l'onde subit un changement de polarisation en raison des diffusions multiples sur les diffuseurs élémentaires, et VV fait ressortir les surfaces de sols nus ou de végétation peu dense.

Or depuis la mise en orbite en 2007 du RSO PALSAR à bord du satellite japonais ALOS, une nouvelle génération de RSO pleinement polarimétriques a vu le jour. Les observations polarimétriques qu'il acquiert en bande L sont effectivement complétées avec les RSO polarimétriques Radarsat-2 et Terrasar X évoluant respectivement en bande C et X. Ces capteurs permettent

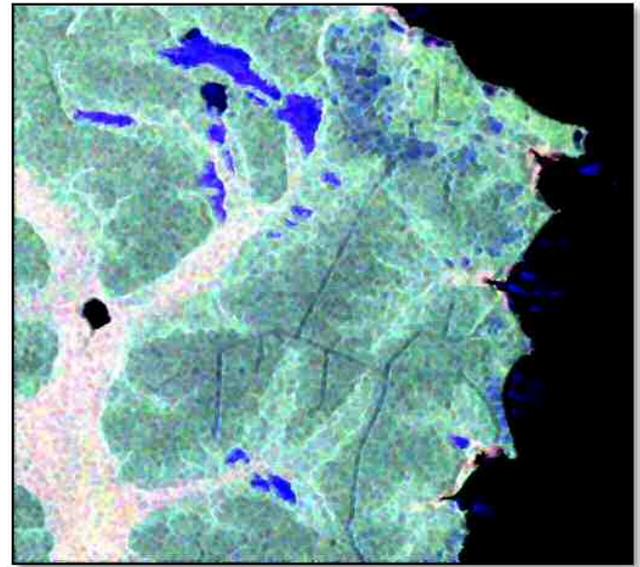


Figure 6 : Composition colorée représentant les polarisations HH (rouge), HV (vert), et VV (bleu) d'une acquisition PALSAR en République Democratique du Congo au bord du lac Mai-Ndombe. On distingue les forêts inondées (rose), les forêts de terre ferme (vert sombre), et les forêts inondables (vert clair).

de caractériser entièrement le comportement polarimétrique de la surface observée : c'est-à-dire qu'ils permettent de caractériser la polarisation de l'onde rétrodiffusée, et ce pour toutes les polarisations d'éclairage. Le comportement polarimétrique d'une surface naturelle est principalement fonction de la structure géométrique (forme, orientation, répartition) des diffuseurs élémentaires la constituant. Son estimation présente donc un fort potentiel pour discriminer différents types de parcelles forestières, en fonction des espèces et de leur stade de développement. De nombreux paramètres peuvent être dérivés des mesures pleinement polarimétriques, tels les degrés de corrélation entre les réponses observées sous différentes polarisations, améliorant la discrimination des différents types de forêts. La figure 5 montre une composition colorée acquise par le RSO PALSAR sur la région de Cayenne dans les polarisations HH, HV, et VV (fig. 5.a) et la classification des différents types de végétation qu'il a été possible de réaliser à partir de multiples indices polarimétriques (fig. 5b). Elle permet de discriminer une classe de forêt dense, trois classes de mangroves selon leur stade de maturité, et deux classes de savanes (sèche/marécageuse).

Un autre exemple est donné figure 6, montrant le potentiel des données polarimétriques radar, lorsque la pénétration des ondes est suffisante, pour la discrimination de différents types de forêts (inondées, inondables, et forêts de terre ferme) sur une zone en bordure du lac Mai-Ndombe, en République Démocratique du Congo.

D'autre part, des détections de changements entre 2 acquisitions

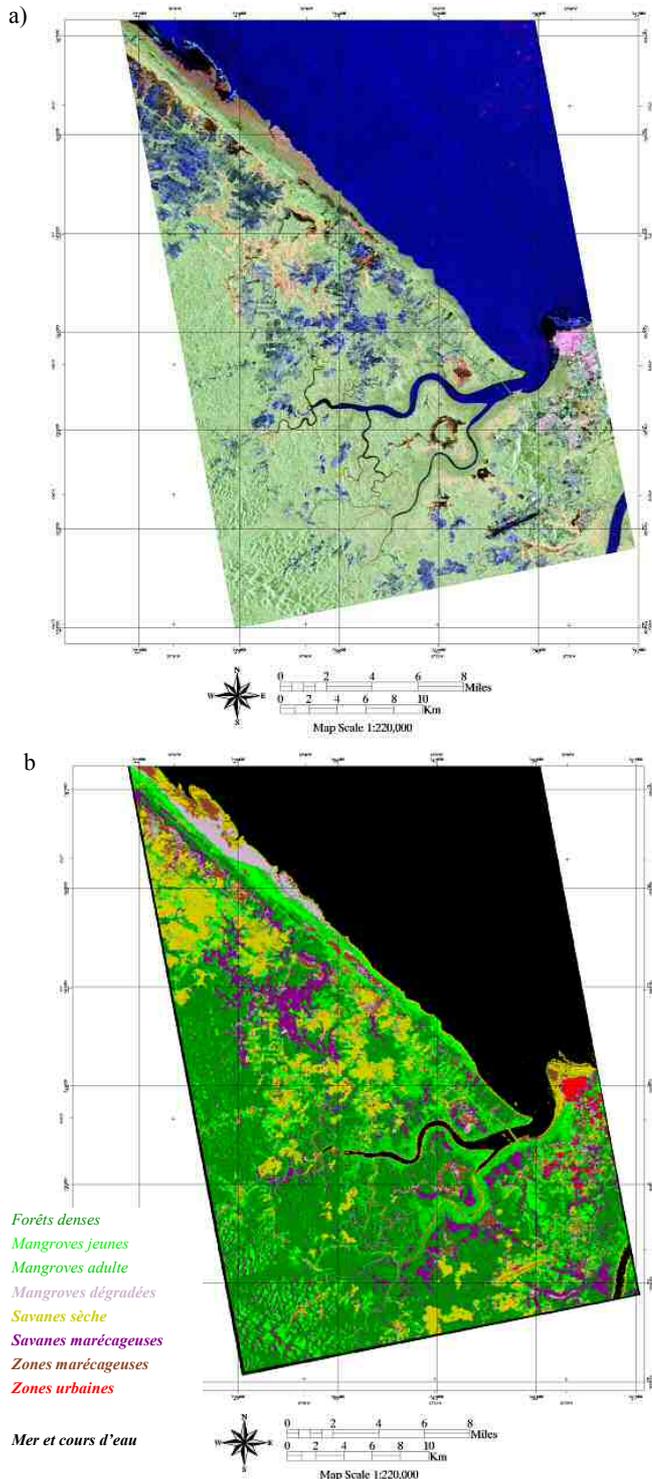


Figure 5 : a) Composition colorée représentant les polarisations HH (rouge), HV (vert), et VV (bleu) d'une acquisition PALSAR sur les environs de Cayenne, en Guyane. Les zones urbaines apparaissent en teintes rouges (Par exemple, Cayenne sur la droite), les zones de forêt en vert, et les sols nus ou parcelles de végétation peu dense en bleu. b) classification obtenue à partir de différents indices polarimétriques.

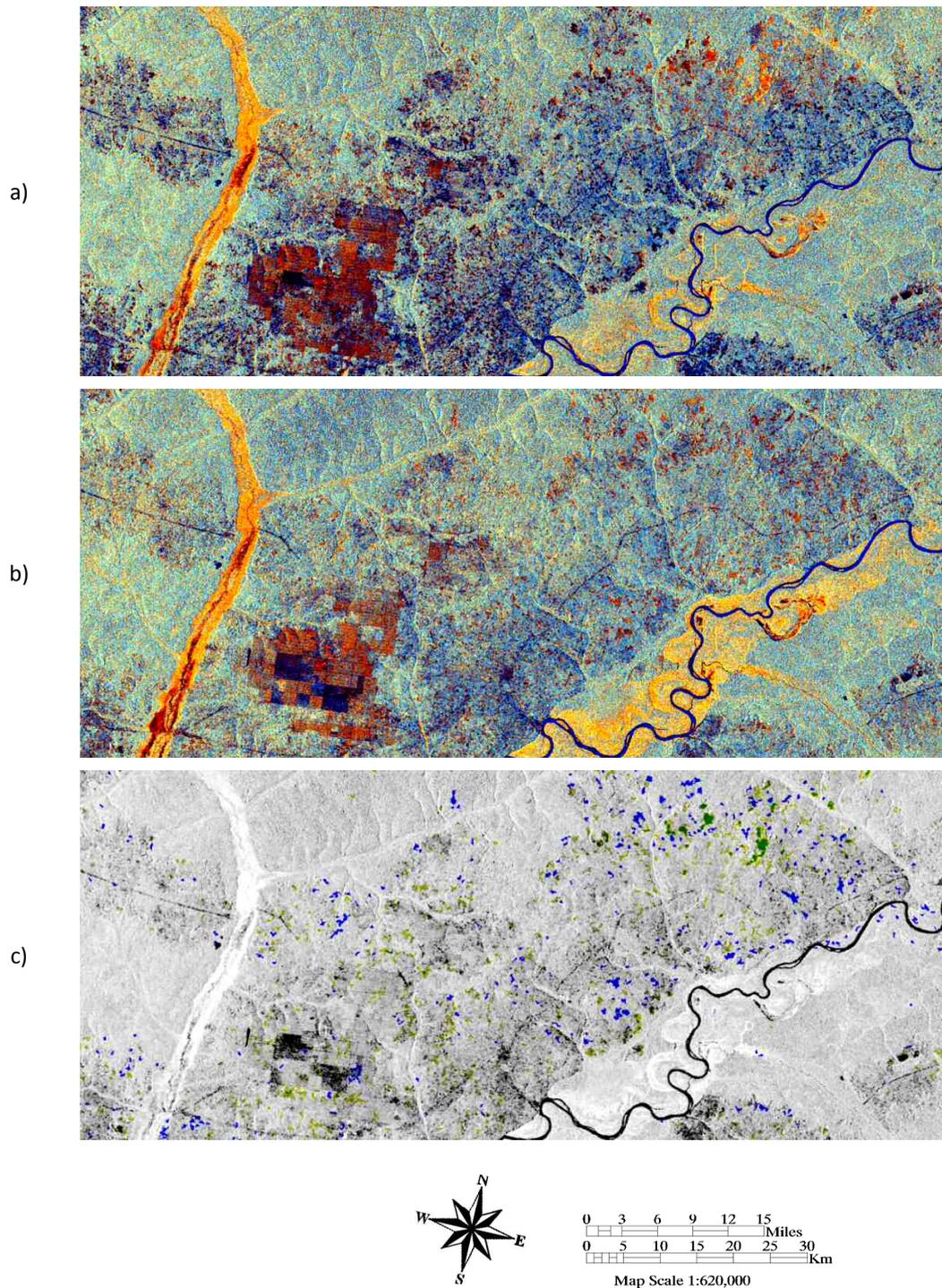


Figure 7 : Acquisitions PALSAR en République Démocratique du Congo. Compositions colorées basées sur les polarisations HH et HV réalisées en juillet (a), et septembre 2010 (b). c) image de détection de changement entre ces 2 dates montrant les zones déforestées (bleu), et les zones de recrus (jaune). Les zones apparaissant en teintes grises traduisent une relative stabilité temporelle.

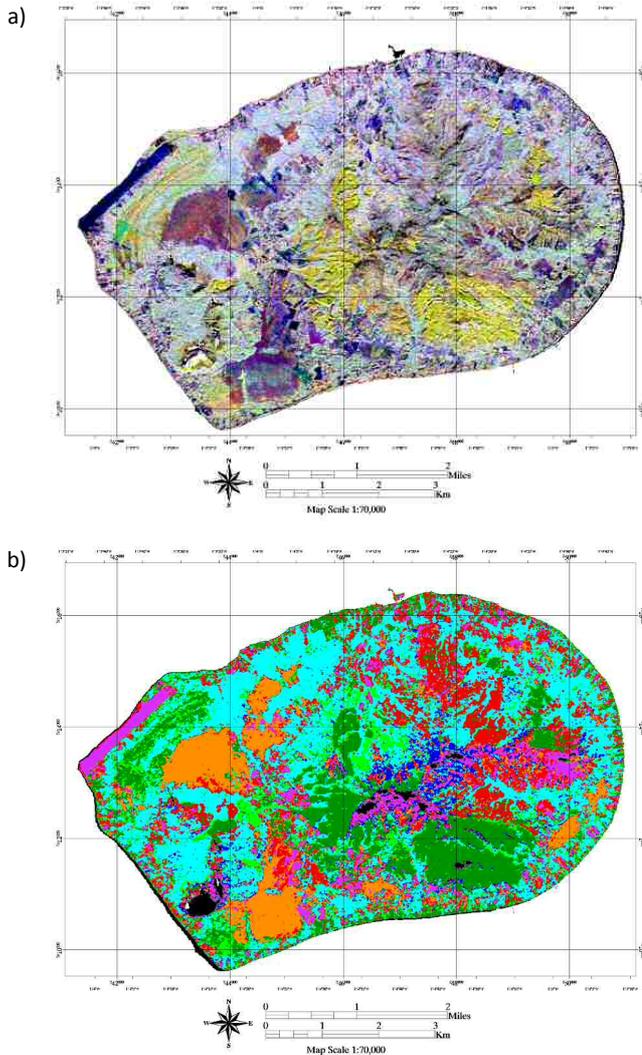


Figure 8 : Composition colorée représentant l'île de Tubuai (Polynésie Française) acquise par le capteur aéroporté AIRSAR. Rouge : bande L polarisation HH, Vert : bande P polarisation HV, Bleu : bande C polarisation VV. b) Classification de l'île de Tubuai

tions réalisées à des dates différentes permettent de discriminer les zones déforestées des zones de recrus, comme illustré figure 7, pour deux acquisitions réalisées en 2007 et 2010, sur une région de République Démocratique du Congo, entre les rivières Loeka et Lolo, respectivement à gauche et en bas de l'image.

Enfin, l'observation d'une même scène sous différentes longueurs d'onde apporte une contribution significative pour la cartographie des différents types de végétation. La figure 8a en donne une illustration. Elle représente une composition colorée de l'île de Tubuai, en Polynésie Française, acquise en bandes P (polarisation HV), L (polarisation HH) et C (polarisation VV) par le capteur aéroporté AIRSAR. Ce capteur a permis l'acquisition simultanée de l'île en bande L et P en mode pleinement polarimétrique, ainsi que l'intensité en polarisation VV en bande C. L'île de Tubuai est globalement caractérisée par 4 types de parcelles forestières différentes (Pin, Falcata, Purau, Guava), de la végétation rase (landes à fougères, marais), et du

sol nu. La classification obtenue à partir des différents indices polarimétriques en bande L et P ainsi qu'avec le canal d'intensité en bande C (polarisation VV) est présentée fig. 8b. La classification à partir de la combinaison de ces 3 bandes de fréquences améliore de plus de 10 % les performances en comparaison à celles obtenues à partir des acquisitions polarimétriques en bande L ou en bande P uniquement. De manière surprenante, l'apport de la bande C est significatif, indiquant que la structure géométrique de la couche supérieure de la canopée peut jouer un rôle important pour la discrimination des différents types de végétation. De plus, les petites longueurs d'onde permettant de meilleures résolutions spatiales, on peut penser que la bande X peut être également d'un grand intérêt pour la cartographie, notamment, par l'analyse des textures qui sont très riches pour la discrimination de la végétation.

### La Polarimétrie Interférométrique

Cette technique, aussi appelée Pol-InSAR, repose sur deux acquisitions pleinement polarimétriques de la même scène dans des conditions interférométriques, c'est-à-dire, dans des géométries d'acquisitions très voisines. Cette technique est basée sur l'analyse de la cohérence interférométrique sous diverses configurations de polarisation couplée avec l'inversion d'un modèle simulant l'interaction de l'onde avec un couvert végétal recouvrant un sol. Lorsque le délai séparant les deux acquisitions interférométriques n'est pas trop important, permettant de minimiser la perte de cohérence temporelle, il est alors possible d'estimer la hauteur des couverts forestiers. Plusieurs études expérimentales utilisant des données aéroportées ont montré ces dernières années la pertinence des résultats obtenus par validation avec des mesures de hauteur de couvert indépendantes. La quantité de biomasse peut être alors estimée à partir de la hauteur des couverts sur la base de relations allométriques. La figure 9 présente des résultats d'estimation de hauteur des arbres sur la forêt de Remningstorp, en Suède, à partir de données aéroportées acquises en bande P. L'estimation de la quantité de Biomasse réalisée à partir de l'intensité mesurée en polarisation HH et HV (cf fig. 1) est également présentée.

Des études ont montré que l'estimation de la biomasse sur les forêts est améliorée en combinant les estimations à partir de l'intensité et de la hauteur du couvert.

L'apport d'un radar en bande P enrichirait significativement le potentiel de la télédétection radar pour l'estimation de la biomasse et la cartographie des forêts. Un tel radar polarimétrique permettrait de plus de pouvoir estimer la hauteur des arbres par la technique Pol-InSAR. La précision sur la hauteur

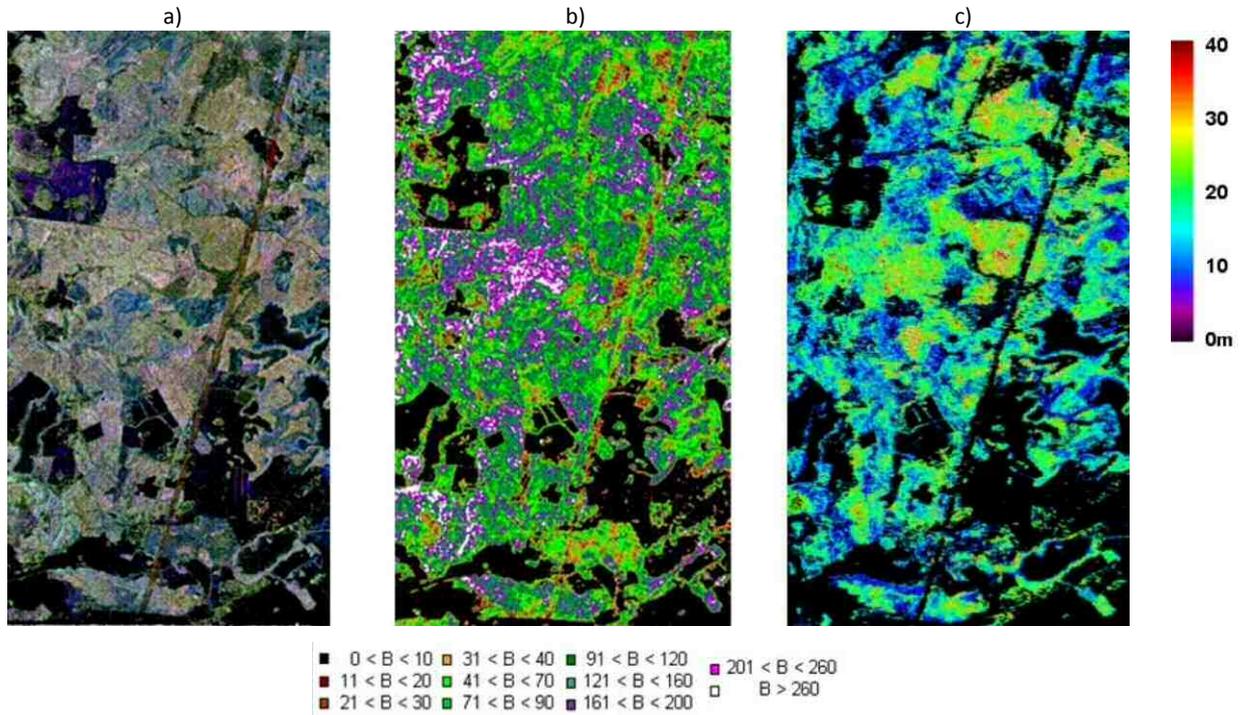


Figure 9 : a) Image aéroportée acquise en bande P (Rouge : HH, Vert : HV, Bleu VV) sur la forêt de Remningstorp, en Suède. b) Biomasse (t/ha) estimée à partir de l'intensité radar (en polarisation HH et HV). c) hauteur du couvert forestier estimée à partir de la technique Pol-inSAR. Source : Le Toan *et al.*, 2008.

estimée est d'autant plus grande que les arbres sont grands, et donc que la biomasse est grande. La technique Pol-InSAR serait donc complémentaire à l'estimation de la biomasse directement à partir de l'intensité de l'onde radar, qui est limitée aux biomasses inférieures à 300 t/ha. C'est la raison pour laquelle une telle mission est à l'étude actuellement à l'agence spatiale européenne (ESA) et dont la décision pour sa mise en orbite se prendra en 2012.

### **Pour aller plus loin :**

Massonnet D., Souyris J.-C., 2008: « Imaging with synthetic aperture radar ». EFPL Press, 250 p.

## Références :

- 1) Imhoff M. L., 1995: « A theoretical analysis of the effect of forest structure on Synthetic Aperture Radar Backscatter and Remote Sensing of Biomass ». *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing*, vol. 33, n°2, 341-352.
- 2) Saatchi S. S., Houghton A., Dos Santos Alvala R. C., Soares V., Yu Y., 2007: « Distribution of aboveground live biomass in the Amazon basin ». *Global Change Biology*, vol. 13, pp 816-837.
- 3) Schmullius, C., J. Baker, H. Baltzer, M. Davidson, D. Gaveau, M. Gluck, A. Holz, T. LeToan, A. Luckman, U. Marschalk, S. Nilsson, S. Quegan, 2001: *SIBERIA – SAR Imaging for Boreal Ecology and Radar Interferometry Applications, European Commission 4th Framework Project ENV4-CT98-0743 (DG12 -EHKN), Final Report, September 2001. Disponible à l'adresse: [http://www.siberia1.uni-jena.de/pdf\\_files/final\\_report.pdf](http://www.siberia1.uni-jena.de/pdf_files/final_report.pdf)*
- 4) Le Toan T., Baltzer H., Paillou P., Papathanassiou K., Plummer S., Quegan S., Rocca F., Ulander L., Saatchi S., Shugar H., Freeman A., Erb K., Schaphoff S., Lucht W., 2008: *ESA, SP-1313/2 Candidate Earth Explorer Core Missions – Reports for assessment: BIOMASS, Novembre 2008. Disponible sur le site: [http://www.esa.int/esaLP/SEMUE0AWYNF\\_index\\_0.html](http://www.esa.int/esaLP/SEMUE0AWYNF_index_0.html)*
- 5) Wagner W., Luckman A., Vietmeier J., Tansey K., Baltzer H., Schmullius C., Davidson M., Gaveau D., Gluck M., Le Toan T., Quagan S., Shvidenko A., Wiesmann A., Jiong Jiong Y., 2003 : « Large-scale mapping of boreal forest in SIBERIA using ERS tandem coherence and JERS backscatter data ». *Remote Sensing of Environment*, vol. 85, pp125-144.
- 6) Lardeux C., Frison P.-L, Tison C., Souyris J.-C., Stoll B., Rudant J.-P., 2009 : « Support Vector Machine for multi-frequency SAR polarimetric data classification ». *IEEE Trans. Geosc. Remote Sensing*, vol. 47, n°12, 4143-4152.

## Auteurs :

**Pierre-Louis Frison** est Maître de Conférences à l'université Paris-Est Marne-la-Vallée, dans l'équipe Géomatique et Télédétection. Son domaine d'activité concerne les applications de la télédétection radar, notamment le suivi des variations saisonnières des paramètres de surface en zone semi-aride, et l'apport de la polarimétrie radar pour le suivi des forêts tropicales.

[Pierre-Louis.Frison@univ-mlv.fr](mailto:Pierre-Louis.Frison@univ-mlv.fr)

**Jean-Baptiste Routier** est chargé du développement de la technologie spatiale et cartographique pour ONF International depuis 2008. Il participe au développement méthodologique des outils et des projets dans le cadre des activités de gestion durable des écosystèmes forestiers et des stratégies nationales climat développées par certains gouvernements, en Afrique centrale, en Amérique Latine et en Asie du sud-est.

[jean-baptiste.routier@onf.fr](mailto:jean-baptiste.routier@onf.fr)

**Cédric Lardeux**, est chargé de mission à ONF International. Il a obtenu en 2005 un Master en « Science de l'Information Géographique » à l'Université Paris-Est Marne-la-Vallée (UPEMLV), où il a appris à mettre en œuvre autour de l'outil SIG ses connaissances en imagerie satellitaire. Il a ensuite effectué une thèse, à l'UPEMLV dans l'équipe Géomatique et Télédétection, portant sur l'apport de l'imagerie radar polarimétrique pour la cartographie de la végétation tropicale. Par la suite, dans le cadre d'un post-doc CNES-UPEMLV-Université de Rennes, il a poursuivi cette analyse de l'imagerie radar polarimétrique dans les milieux tropicaux, avec un accent tout particulier sur la stratification forestière.

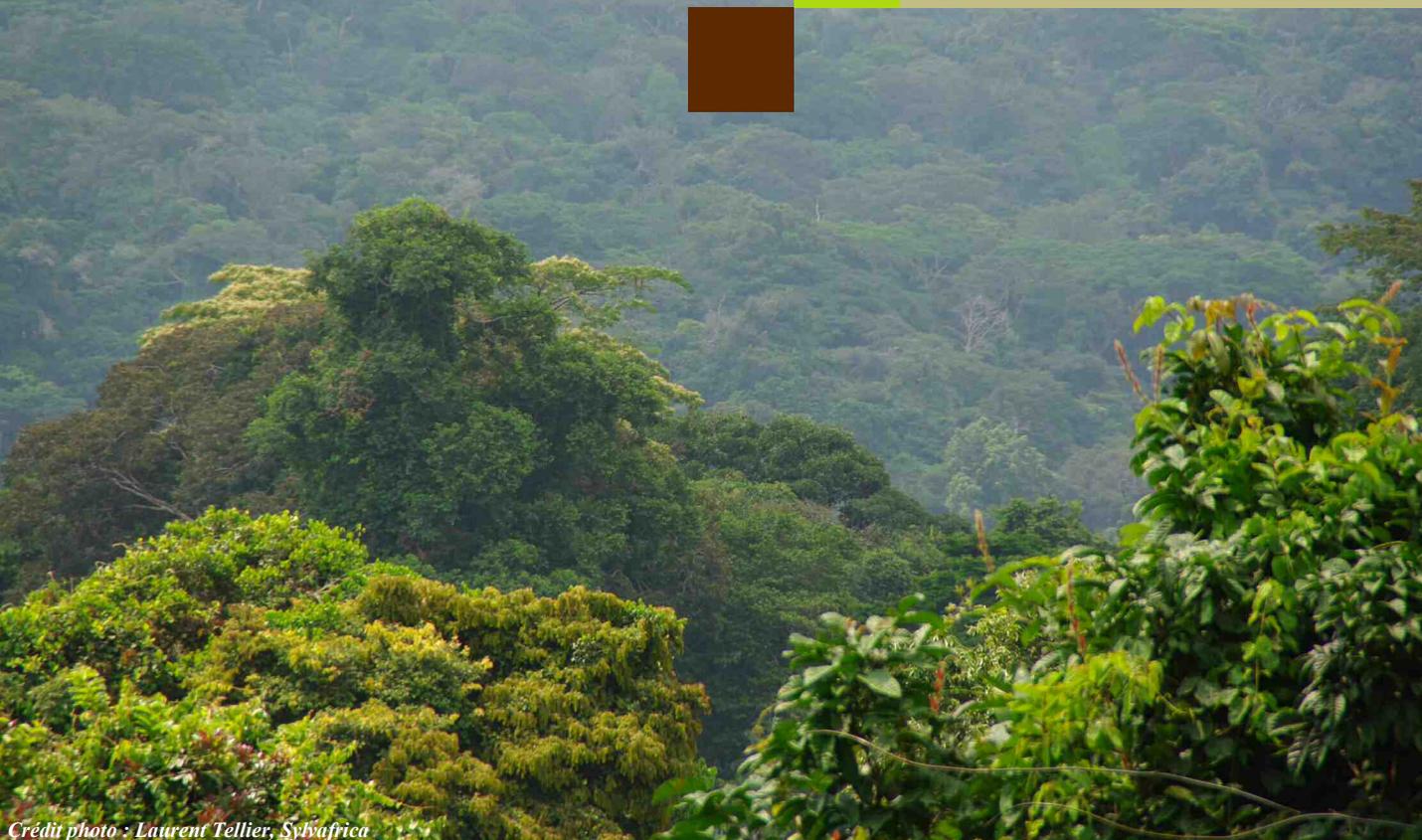
[Cedric.lardeux@onf.fr](mailto:Cedric.lardeux@onf.fr)

**David Niamen** a obtenu en 2005 un diplôme d'ingénieur en topographie à l'Ecole Nationale d'Ingénieurs du Mali. Il a obtenu en 2009 un Master en Sciences de l'Information Géographique à l'université Paris-Est Marne-la-Vallée (UPEMLV). Il mène actuellement une thèse à l'UPEMLV dans l'équipe Géomatique et Télédétection sur le potentiel des données satellitaires radar pour la cartographie thématique en milieu tropical.

[niamien@univ-mlv.fr](mailto:niamien@univ-mlv.fr)

**Jean-Paul Rudant**, est Professeur à l'Université Paris Est Marne-La-Vallée (UPEMLV). Il est actuellement responsable de l'équipe Géomatique-Télédétection et du Master "Information Géographique" de l'UPEMLV-ENSG (Ecole Nationale des Sciences Géographiques). Il est également titulaire de la chaire «Télédétection Radar» à l'ERAIFT (Ecole Régionale post-universitaire d'Aménagement de gestion Intégrée des Forêts et Territoires tropicaux) à Kinshasa. Ses travaux de recherche actuels portent sur les applications de l'imagerie radar en contexte tropical humide.

[Jean-Paul.Rudant@univ-mlv.fr](mailto:Jean-Paul.Rudant@univ-mlv.fr)



Crédit photo : Laurent Tellier, SyVfrica

#### Remerciements:

Les données ALOS-PALSAR présentées dans cette note ont été obtenues dans la cadre des appels d'offre ESA-AO3736 et JAXA-PI 157.

La donnée TerraSAR-X a été obtenue auprès de Infoterra GmbH, dans le cadre d'un projet d'évaluation des données TerraSAR-X au Cambodge.

La donnée SPOT a été obtenue dans le cadre d'un projet Planet Action au Cambodge.

#### ONF International dans le monde :



ONF International est un bureau de conseil et d'expertise internationale en environnement spécialisé dans la gestion durable des écosystèmes (notamment forestiers) et la lutte contre le changement climatique. Impliqué dans plus de cinquante pays d'Amérique latine, d'Afrique et d'Asie, ONFI est bien connu pour son expérience dans la gestion forestière durable, et est un leader dans les processus de changement climatique (REDD et les enjeux du MDP).

[www.onfinternational.org](http://www.onfinternational.org)



L'équipe Géomatique et Télédétection est intégrée au laboratoire ESYCOM de l'Université Paris-Est Marne-la-Vallée (UPEMLV). Elle est spécialisée dans les applications environnementales de la télédétection, principalement en régions tropicales. Elle mène notamment ses travaux en coopération avec différentes universités et institutions africaines, sur la base de formations dispensées dans des cursus de Master et d'encadrements de stages doctoraux ou de thèses. Elle est impliquée dans différents projets avec les agences spatiales française, européenne et japonaise, lui permettant l'accès aux données satellitaires.