

## EXTRACTION DU COUVERT VEGETAL EN FORET BRESILIENNE AVEC DES IMAGES STEREOSCOPIQUES DE RADARSAT\*

Thierry TOUTIN<sup>1</sup> & Silvana AMARAL<sup>2</sup>

1. Centre canadien de télédétection, 588 rue Booth, Ottawa, Ontario, Canada K1A 0Y7  
tél. : +1 613 947 1293, fax : +1 613 947 1385,  
e-mail : thierry.toutin@cct.nrcan.gc.ca

2. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, CP 515, CEP 12227-010, Sao José dos Campos, SP, Brazil  
tél. : +1 613 947 1293, fax : +1 613 947 1385,  
e-mail : silvana@dpi.inpe.br

### Résumé étendu

Les images stéréoscopiques acquises par un radar à ouverture synthétique (ROS) peuvent être utilisées pour extraire de l'information planimétrique et/ou altimétrique en combinant le contenu radiométrique de chaque image avec la perception du relief par stéréoscopie. Cet avantage est d'autant plus grand quand les données d'altitude n'existent pas. La plupart des travaux de recherche en foresterie n'utilisent que les aspects radiométriques des images RSO.

L'objectif de cet article est de démontrer la possibilité utiliser les images stéréoscopiques de RADARSAT pour interpréter et mesurer certaines caractéristiques de la forêt tropicale humide du Brésil. A partir d'un couple stéréoscopique d'images en mode fin de RADARSAT, on interprète qualitativement et on mesure quantitativement les limites de coupes, la couverture forestière et la hauteur du couvert végétal sur une station de travail stéréo PC ("softcopy"). Comme aucune donnée de vérification n'a été spécialement acquise pour ce projet, la validation se réalise en deux étapes à partir des résultats de précédents travaux de recherche sur ce site (Projeto RADAMBRASIL, 1976 ; Cailliez, 1977 ; Amaral *et al.*, 1996 ; Shimabukuro *et al.*, 1998).

La recherche est réalisée dans la Forêt Nationale Tapajós amazonienne du Brésil. L'altitude varie de 10 m à 520 m. La végétation a été classifiée en 17 classes avec l'essence dominante pour chaque classe. La hauteur du couvert végétal varie entre 10 m et 25 m avec des maxima de 30-40 m (Hoekman and van der Sanden, 1987).

---

\* Article publié dans le Journal canadien de télédétection : Toutin, Th. and S. Amaral, *Stereo RADARSAT Data for Canopy Height in Brazilian Forests*, vol. 26, no. 3, pp.189-199, juin 2000. [www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/eduref/ref/bibpdf/4753.pdf](http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/eduref/ref/bibpdf/4753.pdf)

Les images de télédétection sont deux images de RADARSAT en mode fin (F2 et F5), qui forment un couple stéréoscopique avec un angle moyen d'intersection de 6°, et une ortho-image de Landsat-5, qui a une précision planimétrique de 20 à 25 m.

Le traitement se déroule en trois étapes sur la station de travail stéréoscopique, le DVP :

- la création du modèle stéréoscopique;
- l'extraction et l'interprétation des surfaces de coupe par stéréoscopie ; et
- la mesure stéréoscopique des altitudes et le calcul des hauteurs du couvert végétal.

Vingt points d'appui, acquis en stéréoscopie et numérisées sur les cartes au 1 : 100 000, ainsi que 14 points homologues sont utilisés pour le calcul par moindres carrées du modèle stéréoscopique. Les résiduelles moyennes quadratiques sont de 16 m, 18 m et 27 m en X, Y et Z, respectivement.

L'extraction et l'interprétation des surfaces de coupe sont visuelles et interactives. En combinant le contenu radiométrique de chaque image et la perception du relief et des hauteurs, l'opérateur numérise dans le modèle stéréoscopique les frontières de 13 coupes (1 à 13). A l'intérieur de quatre d'entre elles, des coupes en régénération avec un couvert végétal différent ou non-homogène sont aussi délimitées (3A, 3B, 8A à 8C, 9A à 9E, 10A à 10D). Certaines coupes mais, surtout les coupes en régénération, ne pouvaient pas être interprétées à partir d'une seule image.

La mesure des altitudes s'effectue par paires de points (plus de 460) de chaque côté des frontières des coupes. Chaque altitude est mesurée trois fois pour réduire l'erreur de pointé. En assumant une forêt dense, homogène et régulière, la différence d'altitude entre les paires de pointés de chaque côté de la frontière d'une coupe peut être considérée représentative de la hauteur du couvert végétal. Si la coupe est trop grande ou que la forêt n'est pas homogène, la coupe est subdivisée en plusieurs coupes (ex. : les coupes 3, 8, 9, 10).

La validation des mesures stéréoscopiques se réalise en deux étapes :

1. la précision planimétrique et l'interprétation de la couverture végétale avec l'ortho-image TM de Landsat-5 ; et

## 2. la hauteur du couvert végétal avec la carte des classes de végétation.

Visuellement, il y a une bonne superposition des frontières extraites des images stéréo RSO avec l'ortho-image TM. Une erreur planimétrique de 30 m est obtenue avec des erreurs maxima de 100 m. L'interprétation du couvert végétal a donné une classification plus simple, mais en accord avec celle définie dans les études précédentes. Elle comprend les sols nus, les pâturages en croissance (buisson et boisé), les coupes en régénération, la forêt secondaire, la forêt avec éclaircies et la forêt primaire.

Les altitudes des points de chaque coté des frontières des coupes sont d'abord vérifiées ; elles sont cohérentes (à 5-10 m près) avec celles extrapolées des courbes de niveau (10 m) de la carte. Ensuite, les hauteurs du couvert végétal sont comparées aux hauteurs estimées à partir des études précédentes (Tableau 1) : 30 m pour la forêt primaire (maximum 40 m) et 15-20 m pour forêt secondaire ou avec éclaircies. Par contre, comme la hauteur des pâturages en croissance est inconnue, les hauteurs estimées (valeurs entre parenthèses) sont donc moins précises.

**Tableau 1** : Résultats (en mètres) des mesures stéréoscopiques d'altitude, des hauteurs calculées du couvert végétal, des hauteurs estimées et du couvert végétal à l'intérieur et à l'extérieur de la coupe. Les valeurs entre parenthèses sont moins précises, car la hauteur des pâturages en croissance est inconnue.

| Numéro de la coupe         | Altitude de la coupe | Altitude de la forêt | Hauteur calculée du couvert | Hauteur estimée du couvert | Couvert végétal à l'intérieur | Couvert végétal à l'extérieur  |
|----------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 1                          | 152                  | 164                  | 12                          | 10-15                      | régénération                  | forêt                          |
| 2                          | 136                  | 155                  | 19                          | (< 30)                     | pâturage                      | forêt                          |
| 3<br>A<br>B                | 136                  | 145                  | 9                           | (< 15)                     | pâturage                      | forêt éclaircie forêt primaire |
|                            | 133                  | 152                  | 19                          | (< 30)                     | pâturage                      |                                |
| 4                          | 183                  | 194                  | 11                          | 10-15                      | régénération                  | forêt primaire                 |
| 5                          | 233                  | 251                  | 18                          | 15-20                      | sol nu                        | forêt éclaircie                |
| 6                          | 292                  | 306                  | 14                          | 15-20                      | sol nu                        | forêt éclaircie                |
| 7                          | 278                  | 306                  | 28                          | 30                         | sol nu                        | forêt primaire                 |
| 8<br>A<br>B<br>C           | 204                  | 216                  | 12                          | 10-15                      | forêt secondaire              | forêt primaire                 |
|                            | 189                  | 217                  | 28                          | 30                         | sol nu                        | forêt primaire                 |
|                            | 188                  | 201                  | 13                          | 15-20                      | sol nu                        | forêt secondaire               |
| 9<br>A<br>B<br>C<br>D<br>E | 155                  | 177                  | 22                          | (< 30)                     | pâturage                      | forêt primaire                 |
|                            | 154                  | 177                  | 23                          | (< 30)                     | pâturage                      | forêt primaire                 |
|                            | 167                  | 184                  | 17                          | 15-20                      | sol nu                        | forêt éclaircie forêt          |
|                            | 153                  | 165                  | 12                          | (<15)                      | pâturage                      | éclaircie                      |
|                            | 164                  | 177                  | 13                          | (< 30)                     | pâturage                      | forêt primaire                 |
| 10<br>A<br>B<br>C<br>D     | 110                  | 138                  | 28                          | (< 30)                     | pâturage                      | forêt primaire                 |
|                            | 92                   | 138                  | 46                          | (< 30)                     | pâturage                      | forêt primaire                 |
|                            | 94                   | 137                  | 43                          | 15-20                      | sol nu                        | forêt secondaire               |
|                            | 116                  | 140                  | 24                          | (< 30)                     | pâturage                      | forêt primaire                 |
| 11                         | 87                   | 133                  | 46                          | (< 30)                     | pâturage                      | forêt primaire                 |
| 12                         | 94                   | 132                  | 38                          | (< 30)                     | pâturage                      | forêt primaire                 |
| 13                         | 89                   | 141                  | 47                          | (< 30)                     | pâturage                      | forêt primaire                 |

Mis à part quelques exceptions (10B, 10D, 11 et 13), les hauteurs du couvert végétal calculées sont assez proches (autour de 5 m) des hauteurs estimées. Même pour les pâturages en croissance, les résultats sont cohérents car les hauteurs calculées sont toujours inférieures aux hauteurs estimées, qui ont été surestimées. Les exceptions, étant regroupées dans le bas du couple, s'expliquent par la difficulté de trouver des données d'appui et leur mauvaise qualité dans cette partie du couple.

Bien que des mesures de hauteurs *in-situ* puissent confirmer ces résultats, cette méthode, qui utilise les aspects géométriques de la stéréoscopie, est un outil utile pour interpréter et mesurer des caractéristiques du couvert végétal de la forêt tropicale humide. Elle pourrait alors être utilisée avec les méthodes traditionnelles basées seulement sur les aspects radiométriques du RSO. Toutefois, l'extrapolation à d'autres types de forêt (moins dense ou homogène) et de radar (bande X ou P) est dangereuse, car les mesures stéréo d'altitude ne représenteront pas l'altitude de la voûte forestière.

## REFERENCES

Amaral S., Shimabukuro Y.E., Toutin Th. & Ahern F. (1996) Sensoriamento Remoto por Radar (SAR) : Pré-processamento de imagens RADARSAT(Fine mode ) na regio da Floresta National de Tapajós. *Proc. Primeras Jornadas Latinoamericanas de Perception Remote por Radar : Técnicas de Procesamiento de Imagenes*, (Buenos-Aires, Argentina), ESA/SP-407, pp. 181-184.

Cailliez F. (1977) Inventaire de préinvestissement de la Forêt National de Tapajós : Evaluation provisoire des résultats. (Brasilia, Brésil) PNUD/FAO/IBDF/BRA-76/027.

Hoekman D.H. & van der Sanden J.J. (1987) Ground Data Report of ESA/INPE Amazonia Expedition. (Wagenigen Agricultural University, The Netherlands), 38 pages.

Projeto RADAMBRASIL. (1976) Folha S/A 21, DNPM 1976, Levantamento dos Recursos Naturais, v.10. (Santarém, Rio de Janerio, Brazil).

Shimabukuro Y.E., Amaral S., Ahern F.J. & Pietsch R.W. (1998) Land Cover Classification from RADARSAT Data of the Tapajós National Forest. *Canadian Journal of Remote Sensing*, vol. 24, N° 4, pp. 393-401