

Télédétection et aménagement forestier tropical : les pistes d'exploitation

Valéry GOND¹
Christian FÉAU²
Michelle PAIN-ORCET³

¹ Cirad-forêt, forêts naturelles
Laboratoire régional de télédétection, Ird
Route de Montabo, BP 165
97323 Cayenne Cedex
Guyane française

² Cirad-amis, agronomie
Maison de la télédétection, TA 40/MTD
500, rue Jean-François Breton
34398 Montpellier Cedex 5
France

³ Cirad-forêt, forêts naturelles
Campus international de Baillarguet
TA 10/D
34398 Montpellier Cedex 5
France

À partir de données satellitaires couramment commercialisées, les auteurs décrivent une méthode simple et fiable d'extraction d'informations sur les réseaux de pistes d'exploitation. Pour les gestionnaires, le faible coût de cet outil et la facilité de mise en place d'un système de surveillance opérationnel sont appréciables.

Données SPOT/Programme ISIS,
© CNES (2001), distribution Spot Images S.A.



Composition colorée d'un extrait de l'image Spot de Counami (Guyane française), du 18 octobre 2001 (RVB : MIR, PIR, R).
Colour composite extracted from a Spot image of Counami (French Guyana), taken on 18 October 2001 (RVB: MIR, PIR, R).

Valéry GOND
Christian FÉAU
Michelle PAIN-ORCET

RÉSUMÉ

TÉLÉDÉTECTION ET AMÉNAGEMENT FORESTIER TROPICAL : LES PISTES D'EXPLOITATION

Cette étude a pour objet l'extraction d'information sur les pistes forestières en milieu tropical par l'utilisation de l'imagerie satellitaire. Un procédé simple a été mis au point afin d'analyser des images entières de façon aisée et rapide. Le résultat, qui se veut robuste, consiste en la réalisation d'un plan vecteur intégrable dans un système d'information géographique. L'actualisation régulière de ce vecteur permet alors de contrôler l'extension du réseau et de l'impact de l'exploitation sur le massif forestier.

Mots-clés : télédétection, forêt dense, exploitation forestière, aménagement.

ABSTRACT

REMOTE SENSING AND TROPICAL FOREST MANAGEMENT: LOGGING TRACKS

The objective of this study was to highlight logging tracks in tropical forests using remote sensing techniques. A simple processing system was built up to analyse images easily and quickly. This has produced a robust result consisting of a vector layer in a format which is compatible with geographical information systems. By updating this vector layer, the logging track network and logging impacts can be monitored.

Keywords: remote sensing, dense forest, logging, development.

RESUMEN

TELEDETECCIÓN Y ORDENACIÓN FORESTAL TROPICAL: LAS PISTAS DE EXPLOTACIÓN

La finalidad de este estudio es la obtención de información sobre las pistas forestales en medio tropical mediante la utilización de imágenes satelitarias. Se puso a punto un método sencillo para analizar imágenes enteras de manera simple y rápida. El resultado, que intenta ser fiable, consiste en la realización de un plan vector integrable en un sistema de información geográfica. La actualización regular de este vector permite controlar la extensión de la red y el impacto de la explotación en el macizo forestal.

Palabras clave: teledetección, bosque denso, explotación forestal, ordenación.

Introduction

En matière d'aménagement forestier, la forêt tropicale humide est un défi pour les gestionnaires en termes d'exploitation raisonnée et de développement durable. Il sera de plus en plus nécessaire de pouvoir estimer les ressources et de proposer des plans de gestion sur de larges surfaces, grâce à des outils robustes et peu coûteux. Dans ce cadre, la télédétection apparaît comme un moyen opérationnel pour collecter efficacement des informations spatiales en forêt tropicale humide, souvent difficile d'accès (Spot-Images info ; DE WASSEIGE, DEFURNY, 1999).

Les accès actuellement les plus répandus en forêt sont les pistes organisées en réseaux. L'information sur ces réseaux permet de cerner rapidement le type d'utilisation, de retrouver les espaces exploités mais aussi de connaître la légalité de ces infrastructures. Collectée par des outils traditionnels, cette information nécessite beaucoup de moyens sur le terrain, ce qui implique un coût élevé pour le gestionnaire.

La télédétection peut être un outil peu coûteux et souple de récupération de cette information. Toutefois, il existe de nombreuses études utilisant les mathématiques appliquées qui suggèrent une mise en œuvre fouillée pour répondre finement au problème abordé dans notre étude. Que ce soit à partir d'images satellites Spot (GEMAN, JEDYNAK, 1995), de plusieurs capteurs (TÖNJE, GROWE, 1998), de modélisation à partir d'images à très haute résolution (MAYER *et al.*, 1997) ou encore d'utilisation de réseaux de neurones (BOGGESS, 1993), le problème est bien la précision de la détection du tracé des réseaux routiers. Le présent article décrit une méthode simple et robuste d'extraction des informations sur les réseaux de pistes, à partir de données satellitaires couramment commercialisées. L'enjeu, pour nous, est le faible coût de cet outil et la facilité de mise en place d'un système de surveillance opérationnel.

Objectifs

L'objectif de cette étude est de cartographier automatiquement le réseau de pistes, dans l'intention d'analyser la densité et l'accessibilité des secteurs de l'exploitation forestière. Cette cartographie utilise des données satellitaires dans un souci de baisser le coût de la collecte d'information. Afin d'étudier plusieurs cas de figure, deux capteurs sur deux forêts tropicales ont été analysés.

Localisation

Deux sites en forêt tropicale humide ont été étudiés. L'un dans le bassin congolais, au Gabon (centré sur 1° 12' Sud et 12° 29' Est, Koulamoutou), l'autre dans le massif amazonien, en Guyane (centré sur 5° 21' Nord et 53° 15' Ouest, Counami). Le premier est situé dans une zone de forte exploitation forestière depuis de longues décennies, principalement destinée à l'exportation (300 000 ha). Le second se localise dans un espace nouvellement ouvert à l'exploitation forestière pour une production locale (12 000 ha).

Matériel

Les données utilisées dans cette étude sont des données satellitaires à moyenne résolution. L'image utilisée sur le Gabon a été obtenue avec le capteur Etm+ (*enhanced thematic mapper plus*) du satellite Landsat 7 (*Path and Row* 184-61, 180 x 180 km), le 8 mars 2000. La résolution est de 30 m dans sept bandes spectrales. L'image provient des archives de l'United States Geological Survey (<http://www.usgs.gov>). L'image de Guyane provient du capteur Hrv (haute résolution visible) du satellite Spot 4 (KJ 689-339, 60 x 60 km), le 18 octobre 2001¹. La résolution est de 20 m dans quatre bandes spectrales. L'image a été acquise dans le cadre de l'expérimentation Valeri (*Validation of land European remote sensing instru-*

ment ; <http://www.valeri.fr>) et a nécessité une demande de programmation (Dp) car il n'existait pas d'image d'archive sur cette zone. Il est à noter que le fort taux d'enneigement de ces régions tropicales forestières rend très difficile une observation répétée des zones d'étude.

Une mission de terrain sur chaque site d'étude a permis de valider et d'interpréter les résultats. Ces missions ont principalement consisté à localiser au Gps et à photographier l'état des pistes des exploitations forestières concernées.

Méthode

La première étape du traitement d'image consiste à éliminer les nuages susceptibles de perturber l'extraction des pistes. Les ombres des nuages ont peu d'influence sur l'algorithme et n'ont pas été traitées. Pour cela, un masque permettant d'identifier de façon sûre le nuage a été mis au point. Ce masque est similaire pour le traitement de l'image Spot et l'image Landsat. Néanmoins, dans un souci de rigueur, nous avons dilaté spatialement le masque des nuages afin d'empêcher sur la frange nuageuse, plus fine et donc plus difficilement détectable.

Une fois ce masque réalisé, nous avons combiné plusieurs canaux de chaque capteur afin de créer de nouveaux canaux ou indices spectraux. Nous avons calculé d'une part l'indice de végétation Ndvi (ROUSE *et al.*, 1974) et d'autre part l'indice d'humidité du feuillage Ndwi (GAO, 1996).

Plusieurs seuils ont alors été appliqués aux néo-canaux et au canal moyen infrarouge. Ces seuils ont permis d'isoler convenablement les zones de sols nus comme les pistes, l'exploitation forestière, le bâti ou les cultures annuelles. La forme des pistes apparaît alors sans confusion par rapport à d'autres objets. À partir de ces seuils, un masque a été créé.

Finalement, avec une fonction du logiciel Envi², le masque raster a alors été transformé en couche vecteur géocodée.

¹ Données Spot, programme Isis, © Cnes (2001), distribution Spot Images SA.

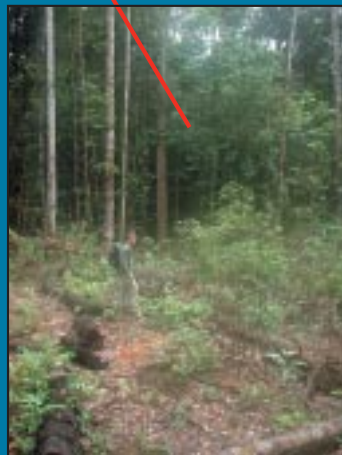
² Environment for visualizing images Envi[®] logiciel 3,5, Research systems, Boulder (Co).



MIR, PIR, R



A - Piste d'accès de l'exploitation forestière



C - Zone d'exploitation



B - Piste secondaire et débardage

Figure 1.

Composition colorée d'un extrait de l'image Spot de Counami (Guyane française), du 18 octobre 2001 (RVB : MIR, PIR, R). Les photos correspondent aux observations faites sur le terrain des objets que nous cherchons à identifier : A) piste d'accès de l'exploitation forestière ; B) piste secondaire et débardage ; C) zone d'exploitation.

Colour composite extracted from a Spot image of Counami (French Guyana), taken on 18 October 2001 (RVB: MIR, PIR, R). The photographs match observations on the ground of the objects identified: A) access road to logging area; B) secondary logging track and timber hauling; C) logging area.

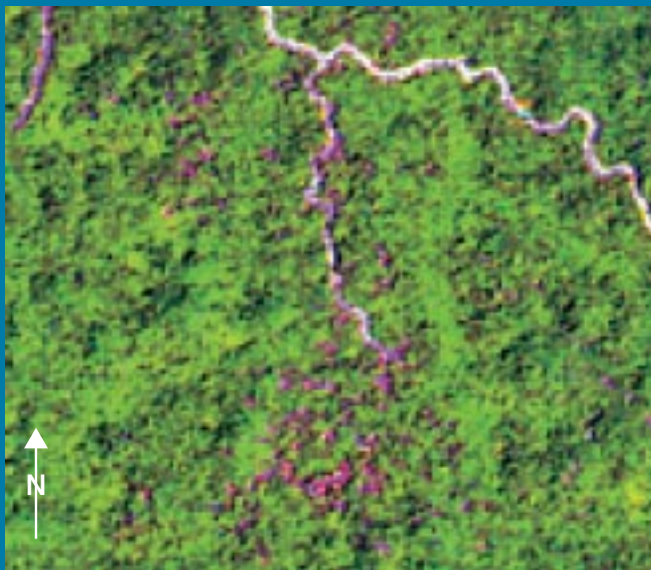
Photos A : V. Gond ; B : V. Gond, H. Eva ; C : V. Gond, A. Vasseur.

Résultats

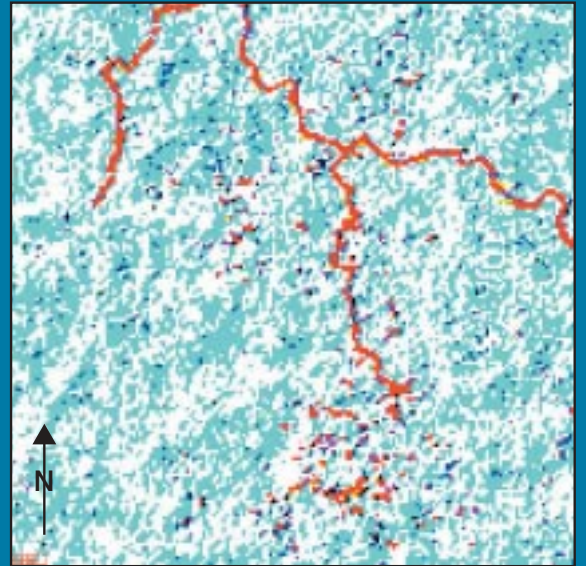
Le processus de traitement a fonctionné sur les deux types d'image Spot et Landsat. Sur la composition colorée présentée en figure 1, on peut repérer facilement, par simple photo-

interprétation, quelques observations faites sur le terrain. La piste (figure 1-A), les espaces de débardage (1-B) et d'exploitation (1-C) sont nettement visibles sur l'image brute. Le positionnement au Gps a permis de s'assurer de l'exactitude de la localisation des objets à identifier.

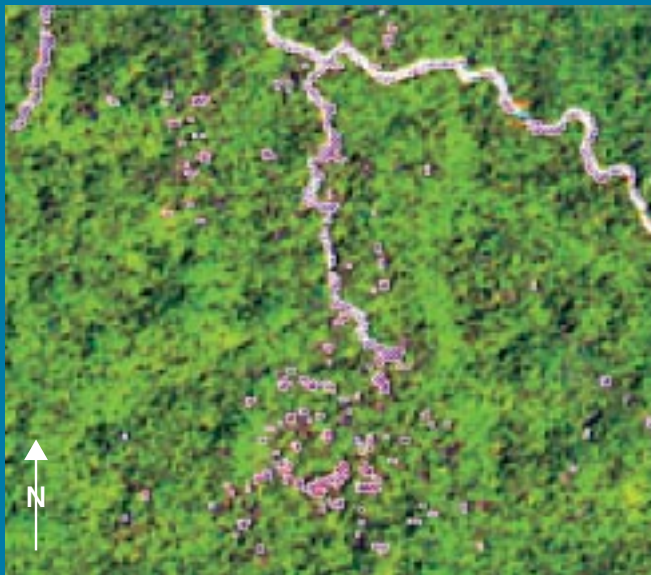
Sur la figure 2, le traitement appliqué extrait tous les pixels ayant eu à subir l'impact lié à l'exploitation forestière (piste, débardage et coupe). Le traitement isole fidèlement ces objets (figure 2-B). Il suffit, alors, de vectoriser cette information pour obtenir (figure 2-C) une restitu-



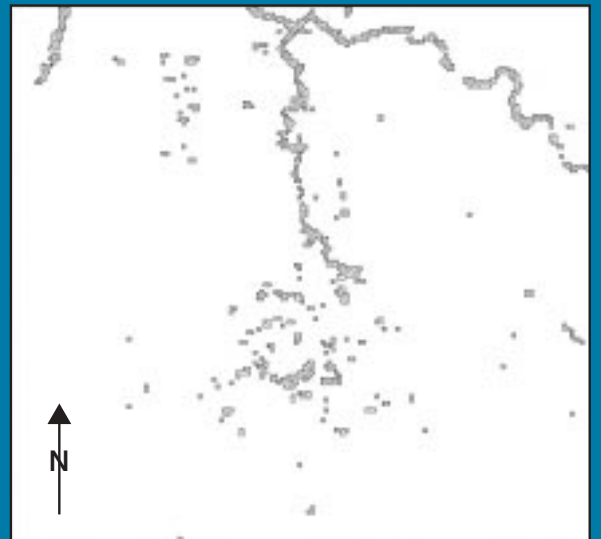
A - Composition colorée d'origine



B - Seuillage sur les néo-canaux



C - Vectorisation des masques



D - Extraction de l'information

Figure 2.

Exemple du traitement opéré sur l'image Spot de Counami : A) extrait de la composition colorée (RVB : MIR, PIR, R) ; B) seuillage sur les néo-canaux ; C) vectorisation du masque ; D) restitution de l'information obtenue sur les pistes et les zones d'exploitation forestière.

Example of processing of a Spot image of Counami: A) extract from the colour composite (RVB: MIR, PIR, R); B) thresholding with neo-channels; C) vectorising the mask; D) plotting the information obtained on logging tracks and zones.

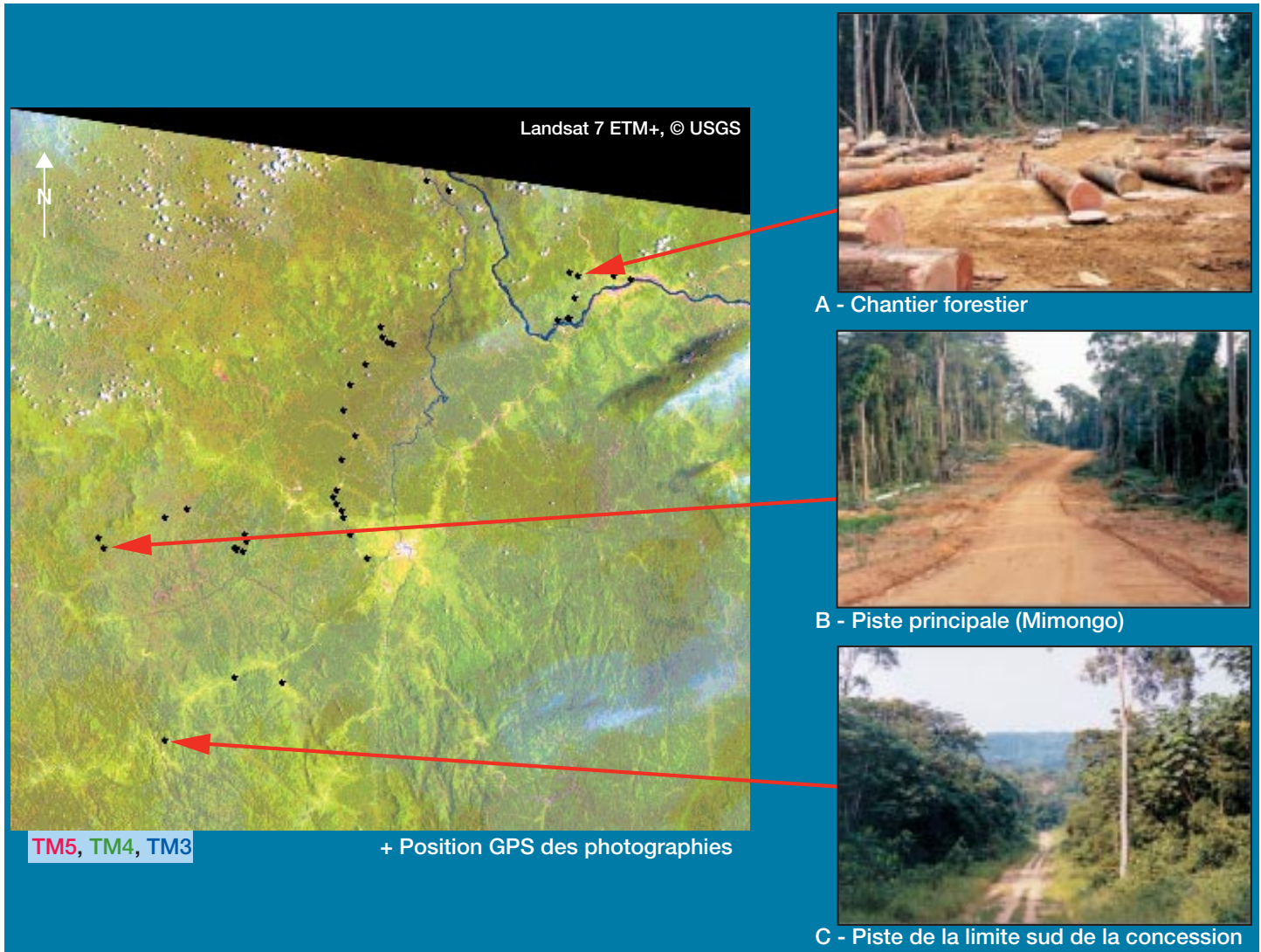


Figure 3.

Composition colorée d'un extrait de l'image Landsat de Koulamoutou, du 8 mars 2000 (RVB : MIR, MIR, R). Les localisations (Gps) des photos réalisées sur le terrain sont matérialisées sur l'image par l'incrustation de croix. Quelques exemples sont présentés : A) chantier forestier ; B) piste principale de Minongo ; C) piste de la limite sud de la concession.

Colour composite of an extract from a Landsat image of Koulamoutou, taken on 8 March 2000 (RVB: MIR, MIR, R). The locations (GPS) of the photographs taken on the ground are shown by means of pop-up crosses: A) a logging camp; B) Minongo: main logging road; C) track along the southern boundary of the logging concession.

Photos A, B, C : C. Féau.

tion géolocalisée des événements qui ont eu lieu dans ce secteur de la forêt domaniale de Counami.

Le fichier vecteur est géocodé au format de l'image d'origine. Son format est standard (format « *shapefile* ») et peut donc être inclus directement dans n'importe quel système d'information géographique (Sig) pour les besoins de l'utilisateur (figure 2-D)

Il est à noter que le traitement s'effectue sur l'image entière de 60 par 60 km (360 000 ha) de façon homogène. Il n'est donc pas nécessaire de renouveler l'analyse et le calcul sur chaque zone d'intérêt.

La figure 3 visualise le même traitement sur l'image Landsat du Gabon (180 x 180 km, soit 3,240 millions d'hectares). Là également on

reconnaît plusieurs objets identifiés, photographiés et géolocalisés par Gps : l'exploitation forestière (figure 3-A), les pistes principales (3-B) et les pistes secondaires (3-C). Ici, comme en Guyane, l'algorithme met bien en évidence les pistes. En revanche, il apparaît moins efficace dans l'identification des zones d'abattage. La résolution de 30 m des pixels Landsat

**Figure 4.**

À l'ouest de Koulamoutou, plusieurs caractéristiques de piste sont présentées : A) piste très fréquentée, axe principal de circulation ; B) piste fréquentée moins régulièrement au tracé plus inégal ; C) piste abandonnée qui se referme, recolonisée par la végétation ; D) espaces forestiers anciennement utilisés.

Dans la périphérie de Koulamoutou, les parcelles agricoles sont clairement identifiées.

Image showing various characteristics of the tracks to the west of Koulamoutou: A) main logging track with evidence of heavy traffic; B) less heavily used track with less well-defined outlines; C) abandoned track now being grown over by vegetation; D) previously logged forest areas.

The cultivated plots around Koulamoutou are clearly identified.

Photos A, B, C, D : C. Féau.

est probablement une des causes de cette lacune. Il serait intéressant d'étudier les pratiques forestières dans ces deux régions, afin d'identifier d'autres causes de ce manque d'efficacité.

Toutefois, il a été possible d'analyser sur cette image la pertinence de l'algorithme dans la reconnaissance des pistes. Sur la figure 4, on voit que la fréquence d'utilisation peut être interprétée par la forme du tracé vecteur. Entre les trois illustrations (figures 4-A, 4-B et 4-C), le tracé vecteur s'amenuise. En effet, sur le terrain, il a été constaté que ce tracé reflétait la fréquence d'utilisation. En figure 4-A, la piste partant de Koulamoutou vers l'ouest est très utilisée, sa forme est nette. Le tracé vecteur est large et bien distinct. En figure 4-B, la piste remontant au nord est de largeur variable, moins fréquentée. Le tracé vecteur se rétrécit par endroits. Parfois, il disparaît au gré d'une canopée de plus en plus jointive. Enfin, en figure 4-C, une piste latérale qui n'est plus utilisée se referme. Le tracé vecteur en pointillé la perd rapidement. L'information n'est plus pertinente.

Cet embroussaillage de pistes ne se confond pas avec les espaces clairsemés de forêt (figure 4-D). Là, suite à des défrichements anciens, la végétation s'est redéveloppée et ne peut être confondue avec l'exploitation forestière contemporaine de la prise de vue.

Conclusion

L'extraction rapide et peu coûteuse de l'information sur le réseau de pistes à partir d'imagerie satellitaire a été présentée. Comme nous l'avons vu, des informations complémentaires telles que les zones d'abattage, de débardage ou, le cas échéant, des défriches culturales empiétant sur des permis ou des zones protégées sont intéressantes pour le gestionnaire de l'exploitation mais aussi pour le contrôle. La mise en œuvre de cet outil permet de surveiller et d'évaluer l'impact humain dans la forêt tropicale humide. Actuellement, un approfondissement est mené en Guyane afin de quantifier le nombre de grumes extraites par an et par secteur d'exploitation.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier le Cnes (programme Isis) pour son cofinancement d'acquisition de l'image Spot, la Société des bois de Lastourville et Franck Stenmanns pour leurs aides sur le terrain, au Gabon, ainsi que l'Office national des forêts et l'Institut de recherche pour le développement pour l'aide apportée en Guyane.

Références

- BOGGESS J., 1993. Identification of roads in satellite imagery using artificial neural network : a contextual approach. Technical report, Mississippi State University, Mississippi, États-Unis, 46 p.
- DE WASSEIGE C., DEFOURNY P., 1999. Remote sensing of the logging activities for the tropical forest management. *In* : Remote Sensing and Forest Monitoring conference, June 1-3, Rogow, Pologne.
- GAO B. G., 1996. NDWI, a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58 : 257-266.
- GEMAN D., JEDYNAK B., 1995. An active testing model for tracking roads in satellite images. Rapport de recherche n° 2757, INRIA projet SYNTIM, Rocquencourt, France, 36 p. (ISSN 0249-6399).
- MAYER H., LAPTEV I., BAUMGARTNER A., STEGER C., 1997. Automatic road extraction based on multi-scale modeling, context, and snakes. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 32 (3-2w3) : 47-56.
- ROUSE J., HAAS R., SCHELL J., DEERING D., HARLAN J., 1974. Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. NASA/GSFC, Type III, Final report, Greenbelt, MD, États-Unis, 371 p.
- Spot-Images infos : <http://www.spotimage.fr/accueil/appli/forest/bor neo/welcome.htm>
- TÖNJES R., GROWE S., 1998. Knowledge based road extraction from multisensor imagery. ISPRS symposium, Object recognition and scene classification from multispectral and multisensor pixels, 6-10 July, Columbus, Ohio, États-Unis.