

Élaboration d'un diagnostic post-exploitation par télédétection spatiale pour la gestion des forêts de Guyane

Valéry GOND¹
Stéphane GUITET²

¹ Cirad, UR 36
Umr Ecofog Guyane française
Faculté de foresterie de l'Université Laval
GIV OA6 Québec, Canada

² Onf
Direction régionale de Guyane
Service bois et gestion durable
BP 700
97307 Cayenne cedex
France

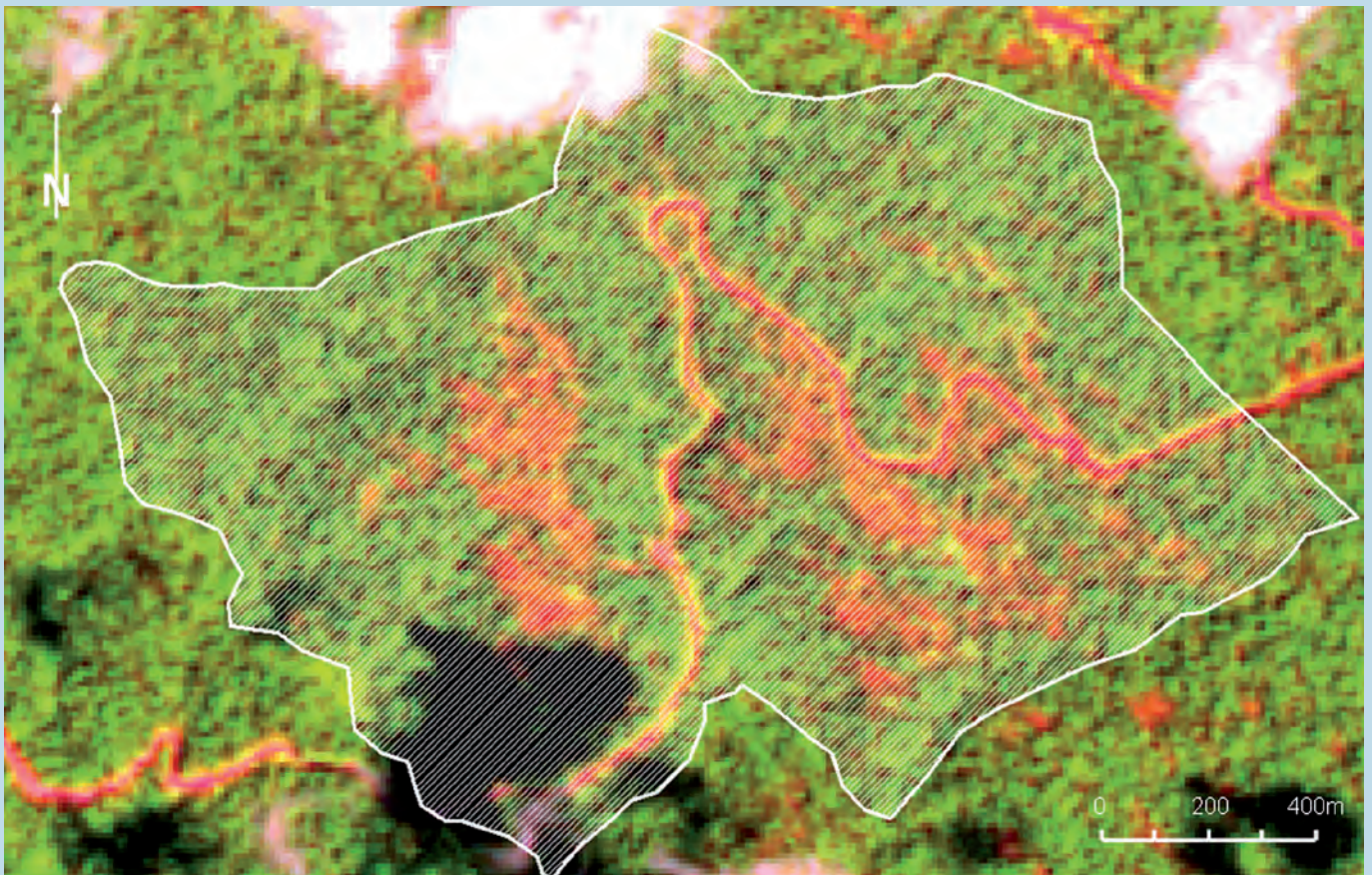


Figure 1.
L'image Spot-5 est découpée autour de la parcelle (vecteur RFE42 en blanc).
Ici les trois canaux principaux sont représentés (XS4 dans le rouge, XS3 dans le vert et XS2 dans le bleu).

RÉSUMÉ

ÉLABORATION D'UN DIAGNOSTIC POST-EXPLOITATION PAR TÉLÉDÉTECTION SPATIALE POUR LA GESTION DES FORÊTS DE GUYANE

Cette étude s'inscrit dans le cadre du suivi de l'exploitation forestière à faible impact en forêt tropicale humide. L'importance des dégâts liés à l'exploitation forestière conditionne fortement la durabilité de cette activité et un contrôle efficace de la qualité des travaux forestiers s'impose donc au gestionnaire. Dans cette étude, l'imagerie satellitaire aide à suivre la progression des chantiers d'exploitation et à estimer les dégâts, par l'acquisition d'images en cours et en fin d'exploitation des parcelles. L'analyse d'images à haute résolution (10 m) permet de bien identifier les trouées d'abattage et certaines pistes de débusquage. Ainsi, on a une évaluation de l'ouverture de la canopée. Plusieurs parcelles ont été étudiées en Guyane française. Pour chacune d'entre elles, un diagnostic simple a été mis en place pour évaluer l'intensité d'exploitation, relever les pistes créées et les pertes de bois. L'outil satellite permet alors de mieux considérer la qualité de l'exploitation et d'en tirer les conséquences vis-à-vis de l'exploitant. Cette étude a permis de démontrer l'utilité de la télédétection pour identifier les concentrations de dégâts après exploitation forestière. Une validation de l'outil a été menée grâce à une base de données de suivi d'exploitation et par des missions de terrain. Cet outil de contrôle post-exploitation peut désormais s'automatiser de façon à le rendre totalement opérationnel pour le gestionnaire forestier.

Mots-clés : exploitation forestière sélective, contrôle de l'impact d'exploitation, Guyane française, télédétection, gestion forestière.

ABSTRACT

REMOTE SENSING IN POST-LOGGING DIAGNOSES FOR FOREST MANAGEMENT IN FRENCH GUIANA

This study is part of the activities carried out to monitor low-impact logging operations in humid tropical forests. The sustainability of these activities is highly dependent on the scale of logging damage, and managers therefore need to carry out effective checks on the quality of forestry work. In this study, remote sensing was used to track the extension of logging operations and to assess damage, through images acquired during and after logging in each parcel. Analysis of the high-resolution images (10 m) clearly identifies logged-over clearings and some skidding tracks, allowing assessments of gaps opening up in the canopy. Several parcels were monitored in this French Guiana study. A simple diagnostic procedure was established for each parcel to assess logging intensity and identify new logging tracks and timber losses. The remote sensing tool thus helps to make more accurate assessments of logging quality and to draw relevant conclusions for the logging company. The study has demonstrated the usefulness of remote sensing to identify damage after logging. The quality of restitution of the damage was validated by means of a database on the logging terrain and through field missions. This post-logging inspection tool can now be automated for fully operational use by forest managers.

Keywords: selective logging, logging impact inspections, French Guiana, remote sensing, forest management.

RESUMEN

ELABORACIÓN DE UN DIAGNÓSTICO POST-APROVECHAMIENTO MEDIANTE TELEDETECCIÓN ESPACIAL PARA EL MANEJO DE LOS BOSQUES DE LA GUAYANA

Este estudio se encuadra dentro del seguimiento del aprovechamiento forestal de bajo impacto en bosques tropicales húmedos. La importancia de los daños derivados del aprovechamiento forestal condiciona mucho la sostenibilidad de esta actividad y hace necesario un control eficaz de la calidad de las tareas forestales por parte de los administradores. En este estudio, la imagen satelital ayuda a seguir la progresión de las zonas en aprovechamiento y a estimar los daños mediante la adquisición de imágenes en el transcurso y al final de la explotación de las parcelas. El análisis de imágenes de alta resolución (10 m) permite una buena identificación de las áreas de corta y algunas vías de desembosque. De este modo, se dispone de una evaluación de la apertura del dosel. Se estudiaron varias parcelas en la Guayana francesa. En cada parcela, se estableció un diagnóstico simple para evaluar la intensidad del aprovechamiento, determinar las vías de saca creadas y las pérdidas de madera. Las imágenes de satélite permiten apreciar mejor la calidad del aprovechamiento y extraer consecuencias de cara a los contratistas. Este estudio permitió demostrar la utilidad de la teledetección para identificar los daños tras un aprovechamiento forestal. Se efectuó una validación de la calidad de la restitución de daños gracias a una base de datos del área de aprovechamiento y a visitas de campo. Esta herramienta de control post-aprovechamiento puede ahora automatizarse y así estará totalmente operativa para el ordenador forestal.

Palabras clave: aprovechamiento forestal selectivo, control del impacto del aprovechamiento, Guayana francesa, teledetección, manejo forestal.

Le contrôle de l'exploitation : étape essentielle d'une exploitation forestière durable

L'exploitation en forêt tropicale humide est une intervention sylvicole particulièrement délicate car elle s'effectue sur un milieu naturel extrêmement complexe et diversifié. La préservation des fonctions écologiques essentielles de la forêt et la garantie d'une reconstitution du peuplement à court ou moyen terme dépendent essentiellement des capacités du gestionnaire à maîtriser les impacts directs et indirects occasionnés par l'exploitation (PEREIRA *et al.*, 2002 ; TER STEEGE *et al.*, 2002 ; SIST, NGUYEN-THÉ, 2002 ; DECONCHAT, BALENT, 2001). L'étude des différents impacts, directs et indirects (tassement des sols, blessures des tiges d'avenir, ouverture de la canopée...), et le développement de méthodes visant à les limiter constituent de fait un thème très important de la recherche forestière tropicale (RIL : *Reduced impact logging*) et mobilisent déjà de nombreux efforts (SIST *et al.*, 2003 ; FREDERICKSEN, PARIONA, 2002 ; VAN DER HOUT, 1999). La mise en place d'une exploitation à faible impact est en effet une démarche essentielle en vue de l'obtention d'une écocertification et se révèle par ailleurs être un atout financier et commercial au même titre qu'un atout écologique et environnemental (HOLMES *et al.*, 2002 ; HUTN, DITZER, 2001).

À l'heure actuelle, en Guyane, l'exploitation mise en œuvre par les entreprises forestières est de type conventionnel, c'est-à-dire peu organisée et non planifiée sur le terrain. Une étude globale, menée par l'Office national des forêts (Onf) entre 2003 et 2005 sur plus de 3 000 ha exploités, a ainsi mis en lumière d'importantes pertes en forêt de matières valorisables (surbilles, purges excès-

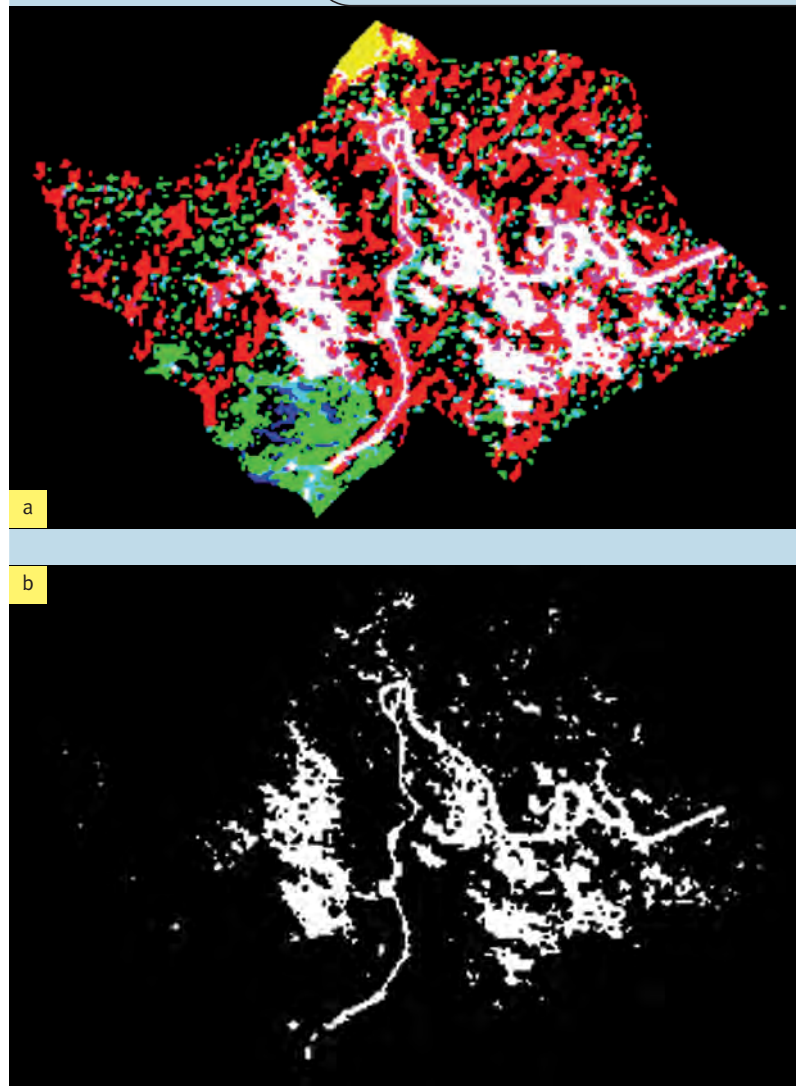


Figure 2.

Résultat du filtre spectral dans le MIR, Ndvi et Ndw. Les pixels remplissant les trois conditions décrites dans le tableau I ont une valeur trois fois positive et s'affichent en blanc (a). Tous les pixels blancs sur cette image sont donc considérés comme ayant un comportement spectral anormal pour une forêt tropicale humide. Ils sont donc isolés (b).

sives, oublis de grumes), équivalant à près de 13 % du volume effectivement sorti, et des dégâts concernant plus de 20 % de l'aire basale du peuplement (GUITET, 2005). De fait, un contrôle accru des chantiers d'exploitation par le gestionnaire public s'avère nécessaire afin d'améliorer la qualité générale des exploitations et de s'assurer de la mise en pratique des méthodes à faible impact préconisées. Les contrôles effectués par des agents sur le terrain coûtent cependant relativement cher au regard des prix de vente des bois (5 €/m³ contre 12 €/m³). Faciliter ces opérations par un pilotage préalable

permettrait de les rendre plus efficaces et donc moins onéreuses dans un processus opérationnel.

L'outil qu'est la télédétection a déjà fait la preuve qu'il était possible de distinguer les espaces forestiers exploités des autres occupations du sol et d'appréhender l'impact de l'exploitation forestière sur la canopée en termes d'ouverture à partir d'imagerie satellitaire (FURUSAWA *et al.*, 2004 ; SOUZA *et al.*, 2003 ; READ *et al.*, 2003 ; ASNER *et al.*, 2002). En revanche, son opérationnalité n'a pas encore été pleinement démontrée dans le but d'un contrôle fin des exploitations par les gestionnaires.

Tableau I.
Récapitulatif des valeurs seuils utilisées.

| Canaux ou néo-canaux utilisés | Gamme spectrale conservée |
|-------------------------------|---------------------------|
| MIR | [0,10 : 0,19] |
| Ndvi | [0,25 : 0,60] |
| Ndwi | [- 0,1 : 0,27] |

Objectif

L'objectif de la présente étude est de combler cette lacune en mettant à la disposition du gestionnaire un outil performant et fiable, fondé sur la télédétection, lui permettant de piloter l'exploitation finement et à meilleur coût, tout en obtenant une vue synthétique des impacts pour déboucher sur un diagnostic post-exploitation précis.

Matériel

Cinq sites d'étude localisés dans la forêt aménagée de Régina-Saint-Georges ont été choisis par l'Onf suivant les exploitations en cours et de façon à représenter un échantillon des principales entreprises d'exploitation en activité. Il s'agit des parcelles Maripa 64, Maripa 81, Maripa 87, Roche Fendée 22 et Roche Fendée 42.

Nous avons utilisé le capteur Hrg du satellite Spot-5 à 10 m de résolution. Une image fait 60 km de côté. Ce capteur possède quatre canaux, ou bandes spectrales : le vert-jaune-B1 [0,50-0,59 μm] et le rouge-B2 [0,61-0,68 μm] donnant des informations sur l'absorption du spectre solaire par les feuilles ; le proche infrarouge-B3 [0,78-0,89 μm] informant sur la structure interne des feuilles et sur la biomasse ; le moyen infrarouge-MIR [1,58-1,75 μm] qui est sensible à la structure foliaire et au contenu en eau de la végétation (d'une résolution spatiale de 20 m).

L'image utilisée a été acquise le 7 novembre 2005 par la station de réception Seas-Guyane. Un autre jeu de données satellitaires a été utilisé. Il s'agit des données radar de la mission Nasa-Srtm (*Shuttle radar topographic mission*) qui permet de reconstituer le relief grâce aux valeurs d'altitude. Une correction géométrique a toutefois été nécessaire pour rendre ce jeu compatible avec les données Spot-5. Ces données ont une précision horizontale (la résolution) de 90 m et une précision verticale de 11 m. L'image Spot-5 a permis un excellent positionnement géographique grâce à son système à bord de géolocalisation et s'est révélée un excellent moyen de restitution visuelle pour l'interprétation (canal panchromatique à 2,5 m de résolution [0,49-0,69 μm]). Les données Srtm ont également servi à restituer en trois dimensions les parcelles afin de mieux visualiser le contexte de chaque exploitation.

Parallèlement, des relevés de terrain ont été réalisés par l'Onf sur les mêmes sites d'étude. Il s'agit de données Gps (*Global positioning system*) relevant le tracé des pistes et la position des souches d'arbres sur les parcelles exploitées. Enfin, deux missions de terrain (2 mai et 15 juin 2006) ont été menées pour la validation des interprétations d'images.

Méthode

Le fichier vecteur délimitant chaque parcelle d'étude a été extrait de la base de données spatiales de l'Onf. La base de données complète a permis de récupérer chaque parcelle étudiée indépendamment les unes des autres. Sur l'image satellite du 7 novembre 2005 a été repérée la localisation des parcelles étudiées. Sur la figure 1, la position de la parcelle de Roche Fendée 42 a été tracée. La qualité de géoréférencement de l'image Spot-5 a permis de s'affranchir d'une rectification manuelle. Afin de garantir une bonne cohérence radiométrique et la pérennité des algorithmes dans le temps (suivi temporel possible), la calibration radiométrique des données Spot-5 a été effectuée par nos soins. Le passage en luminance puis en réflectance a été réalisé d'après MEYGRET (2004).

Aucune correction atmosphérique n'a pu être réalisée. Le peu d'informations sur le contenu atmosphérique local n'a pas permis de faire d'évaluation quantitative de l'épaisseur atmosphérique (ozone et vapeur d'eau). Nous n'avons pas effectué de correction par la technique des « black-targets » étant donné la petitesse des parcelles et leur éloignement des zones de calage nécessaires à la mise en place d'une telle procédure.

Un masque de chaque parcelle a été appliqué à l'image d'origine afin d'isoler les sites d'étude. La méthode développée pour déterminer et cartographier les impacts liés à l'exploitation forestière est basée sur l'analyse des contrastes locaux (GOND *et al.*, 2004). À partir des données spectrales obtenues, deux nouveaux canaux ou indices ont été calculés : le Ndvi ou $(\beta_3 - \beta_2)/(\beta_3 + \beta_2)$ et le Ndwi (GAO, 1996) ou $(\beta_3 - \text{MIR})/(\beta_3 + \text{MIR})$. Ces derniers combinés au canal MIR ont permis d'observer les zones contrastées au sein de la canopée (GOND *et al.*, 2003 ; GOND, BROGNOLI, 2005). Ainsi, les zones d'impact sont clairement perceptibles par l'amplification des contrastes forêt/non-forêt. Sur

l'image, les valeurs extrêmes des objets à identifier ont été repérées manuellement sur notre parcelle de travail (Roche Fendée 42). À partir de ces informations, un seuil bas et un seuil haut sont définis pour chaque canal utilisé (tableau I). Ces seuils sont ensuite appliqués (figure 2a) pour isoler les pixels répondant aux critères de réflectance caractéristiques des activités liées à l'exploitation forestière (figure 2b).

Un premier problème récurrent dans l'utilisation des capteurs satellites optiques est la présence de nuages. Très nombreux en Guyane en toute saison, les nuages sont un facteur limitant pour faire des estimations complètes, même sur de petites zones comme les parcelles forestières. Une délimitation manuelle des zones cachées (nuages et ombres nuageuses) a été effectuée. Le masque ainsi réalisé sert à éliminer des calculs de surface les parties cachées de la parcelle étudiée.

Un second problème est lié à la présence de chablis naturels qui peut affecter le filtre. Par confusion spectrale (avec les gros chablis récents), on a alors une légère surestimation des surfaces affectées par l'exploitation forestière. Étant donné la difficulté de séparer ces chablis récents et les coupes, on préconise de faire cette opération « à la main ». Par comparaison et interprétation directe à l'écran, on « gomme » les pixels identifiés comme chablis. Ainsi, on obtient les surfaces réellement affectées par l'exploitation forestière. Le même procédé permet d'isoler les infrastructures (routes et pistes).

Une fois isolées les zones affectées par l'exploitation forestière, la vectorisation automatique de ces pixels permet une intégration rapide de toutes ces couches d'informations dans le système d'information géographique utilisé par l'Onf (en l'occurrence Arc-Gis®). Ces informations surfaciques spatialisées ont permis des calculs statistiques par parcelle.

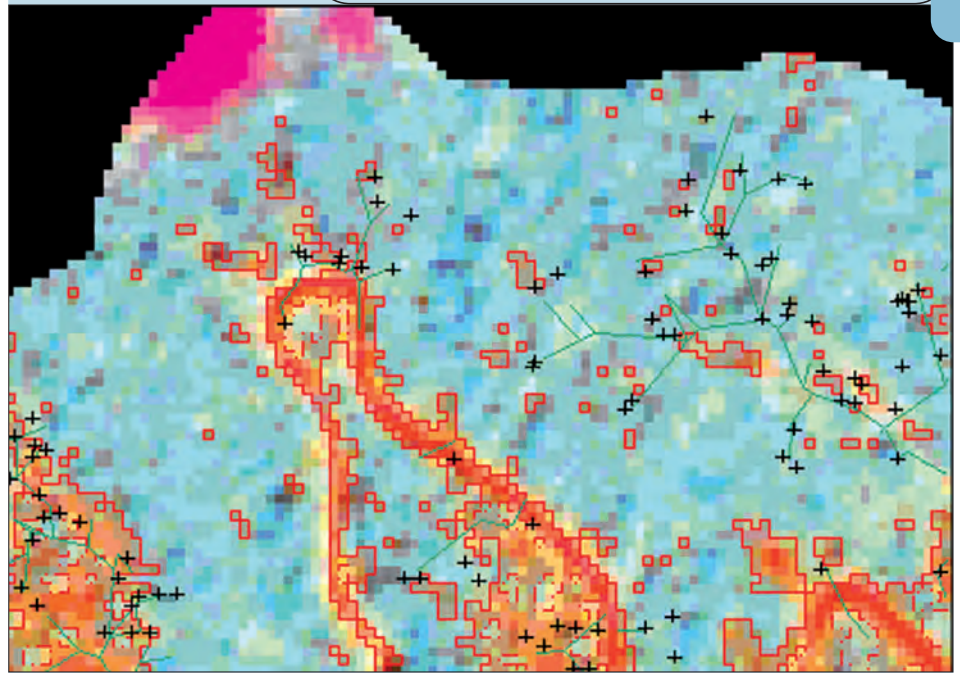


Figure 3.

Évaluation de la bonne correspondance entre les trouées détectées et la position des souches au sol. Sur l'image (fond cyan et orange) sont matérialisées les pistes de débarquement en linéaire vert foncé, les trouées en vecteur rouge et les souches par des croix noires.

Afin de bien interpréter les zones perturbées par l'exploitation forestière, deux données complémentaires ont été utilisées. La combinaison des données panchromatiques à 2,5 m de résolution avec les données à 10 m et les données Srtm à 90 m de résolution a permis de rendre compte du relief tout en visualisant très précisément la structure de la canopée.

Une première validation a été réalisée grâce à l'utilisation de la base de données terrain de l'Onf. Une comparaison visuelle a été effectuée sur les cinq sites d'étude afin de voir si les trouées détectées correspondaient effectivement à la présence d'une souche relevée sur le terrain. La validation de terrain a été réalisée afin de s'assurer de la bonne identification des trouées d'abattage. Le repérage Gps a alors permis de localiser les zones de chute des houppiers et de les interpréter directement sur place. Ces validations ont fait l'objet d'un positionnement précis mais pas d'un calcul de surface qui aurait pu être comparé avec les surfaces estimées par le traitement des données satellitaires. La lourdeur de la procédure de mesure de surface (avec un télémètre laser par exemple ; COLSON *et al.*, 2006) n'était pas adaptée aux besoins de l'étude. Lors de ces

travaux de terrain, le 2 mai 2006, la parcelle Roche Fendée 42 (qui avait servi à étalonner la procédure des seuils) a été inventoriée systématiquement dans trois secteurs distincts. Le 15 juin 2006 ce sont trois secteurs de la parcelle Roche Fendée 22 qui ont été visités. Dans chacun des cas, toutes les trouées détectées par le filtre ont été contrôlées (Gps) et comparées avec les données de la base de données Onf. Ceci dans le but de qualifier la qualité du filtre dans la détection des dégâts d'abattage.

Résultats

Les résultats sont illustrés par la figure 3, où les pistes de débarquement et les souches sont matérialisées. Ces données peuvent être visuellement comparées avec les pixels détectés comme trouées par les données Spot à 10 m de résolution.

On remarque une bonne localisation des carrés rouges proches des pistes de débarquement et des souches. Malgré tout, un décalage est perceptible. Cela est probablement dû aux erreurs de positionnement Gps, toujours difficile en forêt (précision de l'ordre de 10 m). Un décalage de 20 à 30 m peut aussi s'expliquer entre la

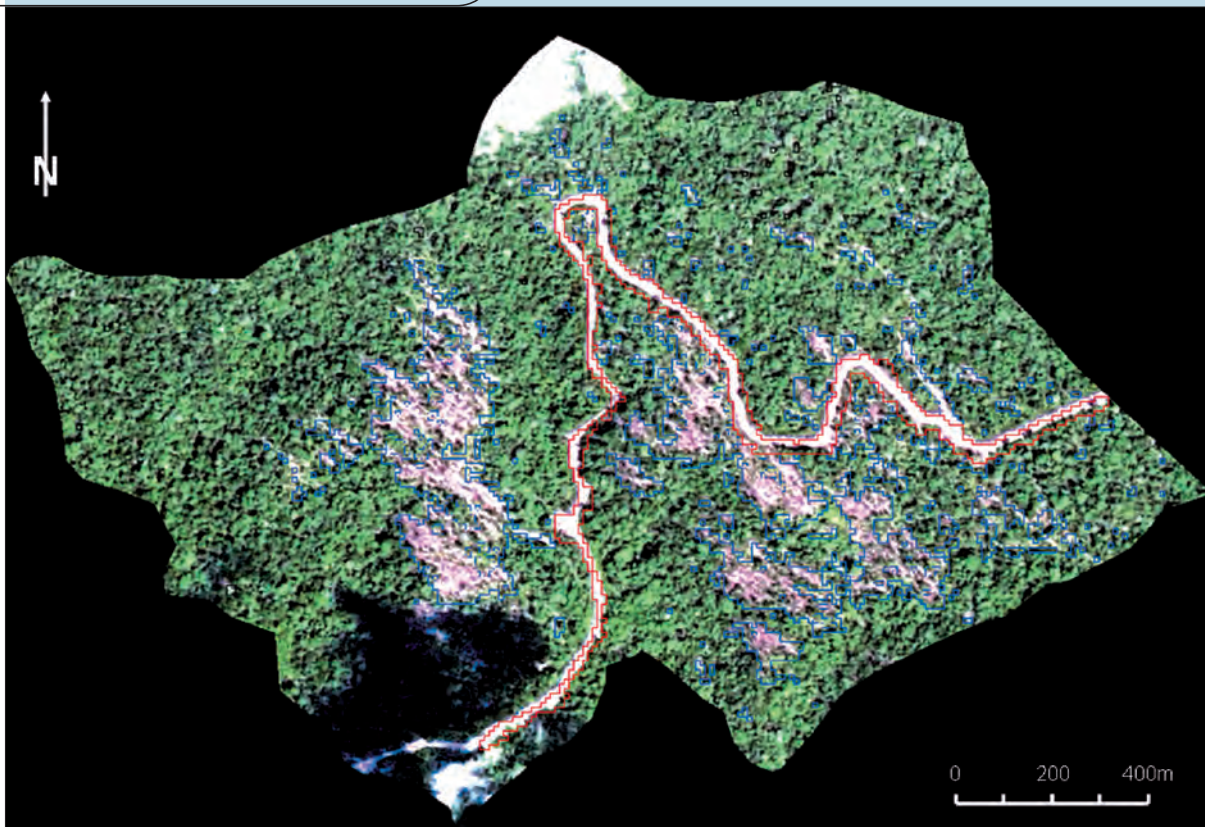


Figure 4.

Les données à 2,5 m (image du fond) nous permettent de mieux visualiser et d'interpréter l'analyse effectuée à 10 m. Les pistes sont matérialisées en vecteur rouge, les dégâts d'exploitation en vecteur bleu.

souche de l'arbre (positionnée au Gps) et la zone d'impact maximal qui est souvent située au point de chute du houppier.

Une autre façon de procéder dans l'analyse des données a été d'utiliser visuellement l'image couleur à 2,5 m de résolution (figure 4). La meilleure restitution (en rapport avec la figure 3) de la canopée permet de mieux interpréter les contrastes locaux engendrés par l'exploitation. On distingue nettement par reconnaissance visuelle les trouées que l'on ne percevait pas sur l'image à 10 m de résolution (figure 3).

Enfin, l'utilisation des données Srtm permet de visualiser la parcelle en trois dimensions. Cela ne facilite pas l'interprétation des pixels sélectionnés mais permet de mieux comprendre la stratégie de l'exploitant qui évite les pentes. Dans le cas présent, cela permet aussi de bien visualiser la position en sommet de croupe des chablis consécutifs à la mini-torade de la fin août 2005 (figure 5).

L'analyse complète d'une parcelle (figure 6) confirme bien la bonne correspondance de la position des dégâts d'abattage ou des infrastructures avec les positions de souche et les tracés de piste issus de la base de données terrain de l'Onf.

Le tableau II montre que 89 % de la parcelle Roche Fendée 42 ont été observés et étudiés à cette date (7 novembre 2005). Sur cette zone, près de 15 % ont été repérés en tant que dégâts dans le peuplement (dus à l'exploitation et au coup de vent du 28 août 2005) ; 4 % de la parcelle sont occupés par la piste principale d'accès. Ces chiffres peuvent être comparés aux mesures effectuées par l'Onf sur deux autres parcelles d'intensité d'exploitation comparable, révélant une réduction de la surface terrière après exploitation de 14 à 13 % et une estimation des emprises de piste de débardage de l'ordre de 120 m linéaires par hectare (soit 4 à 5 % de la surface pour 4 m de largeur moyenne) (GUITET, 2005).

Enfin, 0,14 % correspond aux plus récents chablis naturels conservant un contraste fort entre la trouée naturelle et la canopée intacte. Ce dernier chiffre n'est pas absolu pour estimer le taux de chablis dans la parcelle. D'autres filtres sont nécessaires pour obtenir cette information particulière (COLSON *et al.*, 2006).

Le traitement de l'image effectué sur d'autres parcelles exploitées plus anciennement montre que la sensibilité du filtre se dégrade rapidement au cours des mois (tableau III). En effet, deux ans après l'exploitation, les ouvertures détectées sur la parcelle Maripa 64 représentent 2,5 % de la surface, alors que les relevés au sol ont estimé l'ouverture à 5 %. Bien que faiblement exploitée (moins d'une tige par hectare), la parcelle Maripa 81, peu ennuagée, montre aussi un taux d'ouverture extrêmement bas (0,31 %) qui ne reflète pas la situation réelle de la perturbation évaluée au sol plus d'un an après l'exploitation.

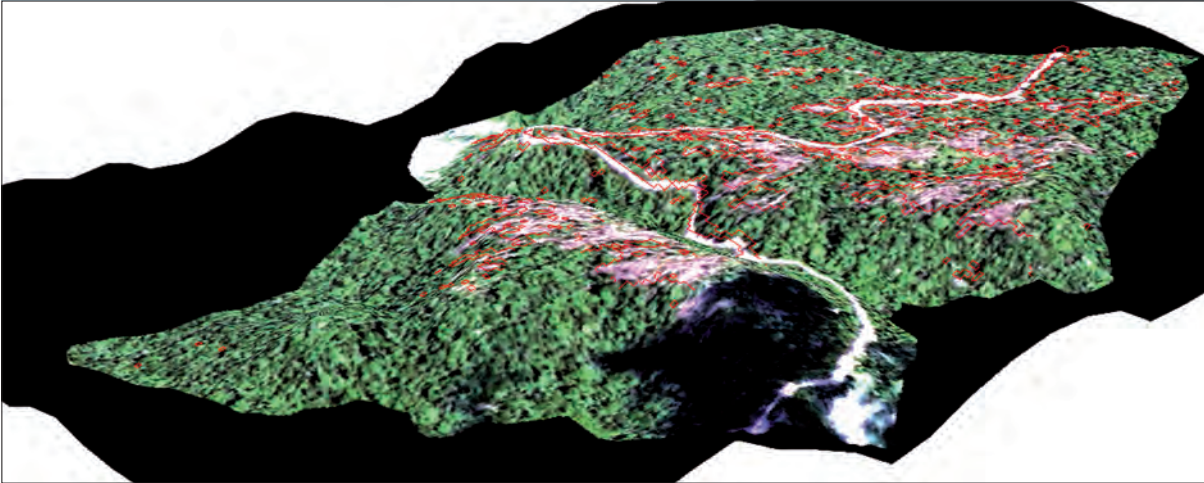


Figure 5.

Angle de vision du sud-ouest vers le nord-est. En observant la position des grandes zones dénudées (vecteur rouge) sur cette parcelle, on s'aperçoit qu'elles sont situées en haut de versant, plutôt orientées vers l'est. Cette information permet alors de confirmer l'hypothèse d'un coup de vent ayant déstabilisé le peuplement récemment exploité.

Discussion

La méthode présentée dans cette étude montre la possibilité de contrôler l'exploitation forestière *a posteriori* par l'identification et la qualification des perturbations de la canopée. Toutefois, trois facteurs limitent sa précision. D'une part, la confusion avec les chablis naturels dans les bas-fonds. D'autre part, le manque de discernement pour les trouées sur les versants perpendiculaires à l'éclairage solaire et à l'angle de vue. Enfin, la présence récurrente de nuages.

Dans l'image du 7 novembre 2005, l'azimut solaire était de 139° et l'angle zénithal de 27° (angle de vue 6°). De ce fait, les trouées situées perpendiculairement aux rayons solaires n'ont pas été détectées par le filtre. Cependant, ce dernier cas est rare et reste limité à de petites surfaces.

En revanche, la difficulté de distinguer les dégâts d'abattage des chablis de bas-fond pose plus de problèmes méthodologiques. On pourrait au préalable identifier ces zones de bas-fond d'après la carte topographique afin d'éviter toute confusion avec les dégâts d'exploitation, laquelle évite systématiquement ces zones au débardage trop difficile. Une autre solution serait de comparer les chablis sur une image prise avant exploitation et de déduire ces chablis de l'image prise après

exploitation. En soustrayant ces deux informations, on obtient les zones effectivement perturbées.

Pour limiter les perturbations atmosphériques, une recommandation serait de prendre soin d'éliminer les petits nuages et leur ombre associée. Ceux-ci perturbent très fortement le signal et peuvent parfois passer inaperçus. Ce n'est qu'avec une attention particulière que l'on peut alors déceler leur présence. Un examen attentif et manuel de chaque parcelle est donc nécessaire pour bien « nettoyer » la parcelle.

Toutefois, l'étude présentée ici est en passe de devenir opérationnelle pour le gestionnaire. La sélection directe de l'objet géographique recherché (dans ce cas, les dégâts d'exploitation) permet d'éviter les lourds traitements de classification supervisée (FURUSAWA *et al.*, 2004) ou l'utilisation de modèles de caractérisation des pixels mixtes (SOUZA *et al.*, 2003). L'avantage de l'approche proposée ici, c'est bien la limitation des calculs afin de rendre opérationnelle la procédure. Une première étape est donc atteinte avec cette étude. Dorénavant, il faudrait s'attacher à quantifier la précision des mesures sur de larges échantillons (une campagne complète de coupe sur l'ensemble du territoire guyanais, par exemple) afin d'étayer ces premiers résultats, avant de les intégrer dans une chaîne automatique d'évaluation des dégâts d'exploitation.

Conclusion et perspectives

Dans un contexte opérationnel comme en Guyane où moins de cinquante parcelles sont mises en exploitation chaque année (12 à 15 000 ha), le traitement proposé ici représenterait six à huit jours de traitement des images pour réaliser une couverture complète des trois zones actuellement travaillées (Counami, piste de Bélizon, secteur de Régina-Saint-Georges). Comme les parcelles mises en exploitation peuvent être éloignées les unes des autres, plusieurs images devront être traitées. La possibilité d'automatiser la procédure devrait permettre prochainement de réduire encore les temps de calcul (JOURNET *et al.*, 2008). On peut estimer qu'en un ou deux jours, comprenant les calculs, la manipulation de la base de données des parcelles et la gestion des fichiers, les traitements pourraient être réalisés. Bien que l'activité d'exploitation s'intensifie en saison sèche, les chantiers peuvent durer plusieurs mois. De fait, le traitement trimestriel de trois images correspondant à ces trois secteurs permettrait de couvrir une majorité des coupes de façon régulière et de quantifier au mieux les ouvertures en palliant les pertes de sensibilité du filtre. Ces images peuvent ainsi permettre de préparer effi-

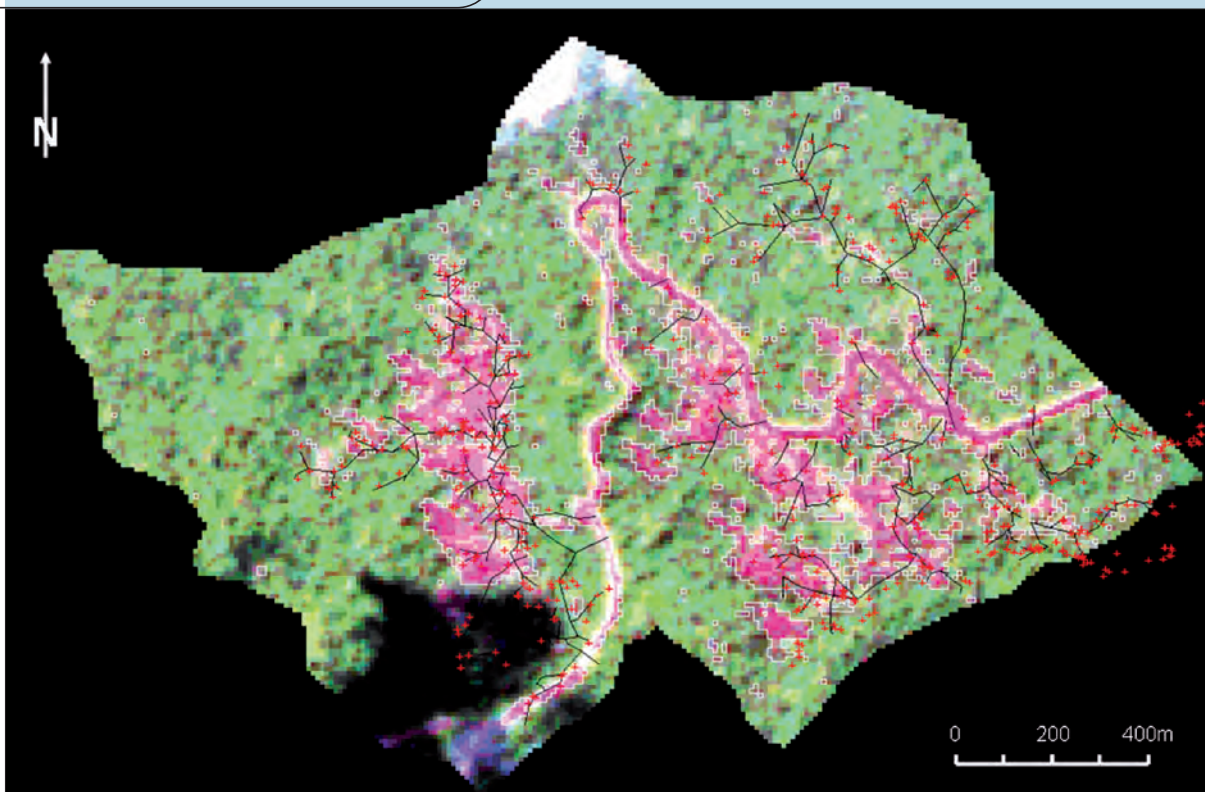


Figure 6.
Superposition sur l'image à 10 m de résolution (image du fond) des layons de débardage (linéaire noir) et de la localisation des souches (croix rouges) sur le vecteur de localisation des impacts (vecteur blanc).

Tableau II.
Récapitulatif des statistiques simples de la parcelle étudiée.

| Roche Fendée 42 | Surface (ha) | Zone étudiée (% de la parcelle) |
|------------------|-------------------|---------------------------------|
| Zone étudiée | 213,9 (sur 238,5) | 89,68 |
| Dégâts | 32 | 14,96 |
| Piste principale | 8,1 | 3,78 |
| Artefacts | 0,3 | 0,14 |

Tableau III.
Résultats obtenus sur d'autres parcelles étudiées de la même image.

| Parcelles étudiées | Intensité d'exploitation | Ancienneté de la coupe (mois) | Surface totale (ha) | Hors ombres et nuages (%) | Ouvertures détectées (%) |
|--------------------|--------------------------|-------------------------------|---------------------|---------------------------|--------------------------|
| Maripa 64 | 3 | 21 | 178 | 54 | 2,50 |
| Maripa 81 | 1 | 31 | 147 | 80 | 0,31 |
| Maripa 87 | 2 | 1 | 225 | 63 | 3,77 |
| Roche Fendée 22 | 2 | En cours | 272 | 79 | 6,97 |
| Roche Fendée 42 | 4,5 | 17 | 238 | 90 | 19 |

cacement les opérations de contrôle sur le terrain en repérant à l'avance les secteurs les plus intéressants à visiter : constatation d'exploitation hors parcelle (outrepasse) ou dans des zones soustraites à l'exploitation (site d'intérêt écologique, site archéologique) ; vérification des méthodes d'abattage sur les secteurs présentant de fortes ouvertures ; repérage des secteurs exploitables oubliés par les équipes d'abattage. Le traitement ayant donné de bons résultats en Guyane, il pourra sans problème être appliqué sur d'autres sites du plateau des Guyanes ou testé ailleurs dans le monde forestier tropical.

Remerciements

Cette étude a été menée conjointement par les agents du Cirad et de l'Onf grâce à un financement du ministère de l'Outre-Mer français sous l'intitulé « Élaboration d'un diagnostic post-exploitation par télédétection spatiale pour la gestion durable des forêts de Guyane ». Arrêté attributif de subvention n° 04 D 07. Un remerciement particulier pour Jean-Pierre Simonnet (agent Onf du secteur de Régina).

Références bibliographiques

- ASNER G., KELLER M., PEREIRA R., ZWEEDE J., 2002. Remote sensing of selective logging in Amazonia. Assessing limitations based on detailed field observations, Landsat ETM+ and textual analysis. *Remote Sensing of Environment*, 80 : 483-496.
- COLSON F., GOND V., FREYCON V., BOGAERT J., CEULEMANS R., 2006. Detecting natural canopy gaps in Amazonian rainforest. *Bois et Forêts des Tropiques*, 288 : 69-79.
- DECONCHAT M., BALENT G., 2001. Effets des perturbations du sol et de la mise en lumière occasionnées par l'exploitation forestière sur la flore à une échelle fine. *Annals of Forest Science*, 58 : 315-328.
- FREDERICKSEN T., PARIONA W., 2002. Effect of skidder disturbance on commercial tree regeneration in logging gap in Bolivian tropical forest. *Forest Ecology and Management*, 171 : 223-230.
- FURUSAWA T., PAHARI K., UMEZAKI M., OHTSUKA R., 2004. Impacts of selective logging on New Georgia Island, Solomon Islands evaluated using very-high-resolution satellite (IKONOS) data. *Environmental Conservation*, 31 : 349-355.
- GAO B., 1996. NDWI, a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58 : 257-266.
- GOND V., BARTHOLOMÉ E., OUATARA F., NOGUIERMA A., BADO L., 2004. Surveillance et cartographie des plans d'eau et des zones humides et inondables en régions arides avec l'instrument VÉGÉTATION. *International Journal of Remote Sensing*, 25 : 987-1004.
- GOND V., BROGNOLI C., 2005. Télédétection et aménagement du territoire : localisation et identification des sites d'orpaillage en Guyane française. *Bois et Forêt des Tropiques*, 286 : 5-13.
- GOND V., FÉAU C., PAIN-ORCET M., 2003. Télédétection et aménagement forestier tropical : les pistes d'exploitation. *Bois et Forêts des Tropiques*, 275 : 29-36.
- GUITET S., 2005. Mieux valoriser la ressource en bois et réduire les impacts sur l'environnement : deux objectifs convergents pour une exploitation durable en Guyane française. *Rendez-Vous Techniques de l'Onf*, 9 : 65-69.
- HOLMES T., BLATE G., ZWEEDE J., PEREIRA R., BARRETO P., BOLTZ F., BAUCH R., 2002. Financial and ecological indicators of reduced impact logging performance in the eastern Amazon. *Forest Ecology and Management*, 163 : 93-110.
- HUTH A., DITZER T., 2001. Long-term impacts of logging in a tropical rain forest. A simulation study. *Forest Ecology and Management*, 142 : 33-51.
- JOUBERT P., LINARES S., GOND V., 2008. Face à la ruée vers l'or en Guyane : un observatoire de l'activité minière. *Rendez-vous Techniques de l'Onf*, 20 : 10-14.
- MEYGRET A., 2004. Spot absolute calibration : synthesis. *Cnes documentation*, S5-NT-0-2880-CN, 29 p.
- PEREIRA R., ZWEEDE J., ASNER G., KELLER M., 2002. Forest canopy damage and recovery in reduced-impact and conventional selective logging in eastern Para, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 168 : 77-89.
- READ J., CLARK D., VENTICINQUE E., MOREIRA M., 2003. Application of merged 1-m and 4-m resolution satellite data to research and management in tropical forests. *Journal of Applied Ecology*, 40 : 592-600.
- SIST P., NGUYEN-THÉ N., 2002. Logging damage and the subsequent dynamics of a dipterocarp forest in East Kalimantan (1990-1996). *Forest Ecology and Management*, 165 : 85-103.
- SIST P., SHEIL D., KARTAWINATA K., PRIYADI H., 2003. Reduced-impact logging in Indonesian Borneo : some results confirming the need for new silvicultural prescriptions. *Forest Ecology and Management*, 179 : 415-427.
- SOUZA C., FIRESTONE L., SILVA L., ROBERTS D., 2003. Mapping forest degradation in the Eastern Amazon from SPOT-4 through spectral mixture models. *Remote Sensing of Environment*, 87 : 494-506.
- TER STEEGE H., WELCH I., ZAGT R., 2002. Long-term effect of timber harvesting in the Bartica Triangle, Central Guyana. *Forest Ecology and Management*, 170 : 127-144.
- VAN DER HOUT P., 1999. Reduced impact logging in the tropical rain forest of Guyana. Ecological, economic and silvicultural consequences. Ph. D. supported by the university of Utrecht, Wageningen, Pays-Bas, Tropenbos Foundation, Tropenbos-Guyana Series 6, 335 p.