

# Téledétection et aménagement du territoire : localisation et identification des sites d'orpaillage en Guyane française

Valéry GOND<sup>1</sup>  
Christine BROGNOLI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Cirad département Forêts, Upr 36  
Route de Montabo, BP 165  
97323 Cayenne cedex  
France

<sup>2</sup> Cirad département Forêts, Upr 36  
TA 10/D  
Campus international de Baillarguet  
34398 Montpellier Cedex 5  
France

**L'essor récent de l'orpaillage** en Guyane française, avec notamment l'impact désastreux de l'orpaillage illégal sur l'environnement et les populations, place le contrôle de cette activité parmi les préoccupations des collectivités territoriales. La télédétection satellitaire permettrait, grâce à Spot 4, Landsat 5 et 7, de cartographier les zones d'exploitation aurifère, de repérer les sites illégaux et de suivre l'évolution de cette activité, depuis les années 1990.



**Photo 1.**

Zone d'orpaillage avec ses déblais, qui perturbe le cours d'eau, près de Dorlin. Mars 2004.  
Photo C. Brognoli.

## RÉSUMÉ

TÉLÉDÉTECTION ET AMÉNAGEMENT  
DU TERRITOIRE : LOCALISATION ET  
IDENTIFICATION DES SITES  
D'ORPAILLAGE EN GUYANE  
FRANÇAISE

Afin d'assurer l'aménagement durable de la Guyane, il convient de mettre en place une surveillance du territoire. En effet, dans la forêt tropicale humide qui couvre 96 % de la superficie de ce département et s'avère difficilement accessible, beaucoup d'activités restent mal connues et certaines sont même exercées illégalement. C'est souvent le cas de l'orpaillage qui, lorsqu'il est illicite, dégrade le milieu naturel et pollue fortement les rivières, du fait de l'utilisation de techniques inadaptées et des conditions précaires inhérentes aux chantiers clandestins. La surveillance des activités d'orpaillage, légales ou illégales, est du ressort du gestionnaire forestier en charge du respect de la loi sur l'ensemble des forêts. L'Onf-Guyane a pour mission de gérer ce vaste territoire qui représente environ 7,5 millions d'hectares. Actuellement, la recrudescence des conflits provoqués par les exploitations illégales exige des moyens opérationnels de surveillance. Cet article propose une technique qui fait appel à l'imagerie satellitaire optique. Malgré l'enneigement important de ces régions équatoriales, l'imagerie satellitaire est fiable. L'obtention régulière d'informations constitue un atout pour la gestion du territoire guyanais.

**Mots-clés :** télédétection, orpaillage, forêt dense, surveillance, aménagement.

## ABSTRACT

REMOTE SENSING AND TERRITORIAL  
PLANNING: LOCATING AND  
IDENTIFYING GOLD-PANNING SITES  
IN FRENCH GUIANA

Sustainable territorial planning in French Guyana requires the development of a territorial monitoring system. Tropical forests cover 96% of the territory, and because of access difficulties, many activities are undocumented and some are exercised illegally. This is often the case with gold panning, which, when carried out illegally, degrades the natural environment and causes severe pollution in rivers due to inappropriate techniques and the precarious working conditions that are inherent to illicit sites. Monitoring gold panning activities, both legal and illegal, is the responsibility of the forest management body in charge of law enforcement in all forest areas. The ONF (National Forestry Office) for French Guyana is responsible for managing Guyana's vast tracts of forest, covering some 7.5 million hectares. The current resurgence of conflicts over illegal resource exploitation demands the implementation of an operational monitoring system. This article describes a technique drawing on optical remote sensing. Satellite imagery has proved to be reliable despite the frequently dense cloud cover typical of equatorial regions. Obtaining regular data would be of great value for sustainable territorial management in French Guyana.

**Keywords:** remote sensing, gold panning, dense forest, monitoring, territorial planning.

## RESUMEN

TELEDETECCIÓN Y ORDENACIÓN DEL  
TERRITORIO: LOCALIZACIÓN E  
IDENTIFICACIÓN DE SITIOS DE  
LAVADO DE ORO EN LA GUAYANA  
FRANCESA

Para garantizar la ordenación sostenible de la Guayana, es conveniente implantar una vigilancia del territorio. En efecto, en el intrincado bosque tropical húmedo que cubre el 96% de este departamento francés, muchas actividades son aún poco conocidas y, algunas, son ilícitas. Es lo que suele suceder con el bateo de oro que, cuando es clandestino, deteriora el medio natural y contamina considerablemente los ríos, debido a la utilización de técnicas inadecuadas y a las precarias condiciones de las explotaciones clandestinas. La vigilancia de las actividades de bateo, legales o ilegales, atañe al administrador forestal, que se encarga de aplicar la ley en el conjunto de los bosques. La ONF-Guyane tiene por misión administrar este extenso territorio que representa alrededor de 7,5 millones de hectáreas. Actualmente, la intensificación de los conflictos causados por las explotaciones ilegales hace necesario contar con medios operativos de vigilancia. Este artículo propone una técnica que utiliza imágenes satelitales ópticas. A pesar de la importante nubosidad de estas regiones ecuatoriales, la imagen satelital es fiable. La obtención regular de información constituye una ventaja para la administración del territorio de la Guayana francesa.

**Palabras clave:** teledetección, bateo de oro, bosque cerrado, vigilancia, ordenación.

## Repérer les zones d'orpaillage

L'activité d'orpaillage en Guyane française est au cœur des débats du gouvernement et des collectivités territoriales. Dans ce département, l'exploitation aurifère date du XIX<sup>e</sup> siècle, mais connaît un renouveau important depuis 1995. Actuellement, l'État ne dispose pas des bases d'information indispensables à une vision d'ensemble de la répartition spatiale (COPPEL, 2004), de la nature et des évolutions de l'orpaillage en Guyane (en 1999, par exemple, 2,8 tonnes d'or ont été officiellement produites pour 4,8 tonnes officiellement exportées).

Cette activité, en particulier l'orpaillage illégal (sans permis d'exploitation) et clandestin (illégal, effectué par des immigrés clandestins) engendre des atteintes graves à l'environnement (PETERSON, HEEMSKERK, 2001) et à la santé humaine : dégradation des paysages (déforestation, destruction du lit des cours d'eau), pollution des milieux (rejets de mercure et de carburants), intoxication par le méthyl-mercure des populations indigènes se nourrissant de

poissons issus des rivières orpaillées (CHARLET, BOUDOU, 2002 ; CARMOUZE *et al.*, 2001), vapeurs de mercure inhalées par les travailleurs sur les chantiers, risques importants d'accidents sur les sites d'extraction (éboulements, glissements de terrain, chutes d'arbres), modification de la qualité des eaux chargées de boue (facteur de disparition de certains poissons et de la faune prédatrice qui en dépend). Elle engendre également de graves problèmes sociaux tels que l'immigration clandestine, les conflits avec les communautés locales et l'insécurité sur les sites d'exploitation (TAUBIRA-DELANNON, 2000).

Le gouvernement manifeste sa volonté de réglementer et contrôler l'orpaillage en Guyane, et la télédétection aérospatiale s'avère l'outil le plus adapté pour observer, évaluer et quantifier cette activité, dans un milieu aussi inaccessible (isolement, manque d'infrastructures) et inhospitalier qu'est la forêt équatoriale. En effet, les phénomènes tels que la turbidité des eaux chargées de boues et de matériaux polluants, les trouées dans la canopée en forme de chapelets le long des cours d'eau, dus à

l'orpaillage alluvial, sont repérables sur les images satellitaires Landsat ou Spot. La réponse spectrale particulière de ces phénomènes dans l'environnement forestier équatorial met bien en évidence les sites d'exploitation, qu'ils soient légaux, illégaux ou clandestins.

En revanche, peu d'outils ont été développés pour la surveillance de la déforestation liée aux activités d'orpaillage (ALMEIDA-FILHO, SHIMABUKURO, 2002 ; POLIDORI *et al.*, 2001). Des recherches sont menées sur les conditions et les impacts des pollutions sur l'environnement (GRASMICK *et al.*, 1998). La surveillance systématique reste peu développée mais intéresse beaucoup de partenaires régionaux. À la demande de la région Guyane et du ministère de l'Outre-Mer, par l'intermédiaire du Laboratoire régional de télédétection (Lrt) de l'Ird à Cayenne, le département Forêts du Cirad a réalisé une étude de faisabilité de la détection par l'imagerie satellitaire optique des sites d'orpaillage en Guyane. C'est la synthèse de cette étude qui est présentée dans cet article.



**Photos 2 et 3.**

Contraste des réflectances entre la canopée (2) et le sol nu (3) qui permet d'identifier les objets particuliers tels les sites d'orpaillage.

Photo 2, V. Trichon ; photo 3, V. Gond.

## La télédétection satellitaire

### Données Spot 4, Landsat 5 et 7

Trois capteurs placés sur des plates-formes satellitaires différentes sont apparus pertinents pour cette étude. Il s'agit du capteur Hrvir (haute résolution visible et infrarouge) du satellite Spot 4, du capteur Tm (*Thematic Mapper*) du satellite Landsat 5 et du capteur Etm+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) du satellite Landsat 7. Ces trois capteurs peuvent fournir des données dans les longueurs d'onde visible et infrarouge et ont une répétitivité de prise de vue suffisante pour mettre en place un suivi régulier de la surface terrestre. La résolution spatiale, de respectivement 20 m, 30 m et 30 m, est largement suffisante dans le cadre de l'étude. De meilleures résolutions (5 m et 10 m), comme sur le satellite Spot 5, s'avèrent tout à fait adaptées à la méthode et seraient opérationnelles dans un schéma identique à celui présenté dans cet article.

Lors de l'analyse, plusieurs images ont été utilisées pour mettre au point l'algorithme de détection. Il s'agit tout d'abord d'une image Spot 4 du 18 octobre 2001 (KJ 689-339) acquise dans le cadre du programme Isis du Cnes. Le traitement de cette image est de niveau 2B (avec correction radiométrique et géométrique). Des points géographiques ont été collectés par Gps (*Ground Positioning System* – Magellan 315) sur le terrain afin de géoréférencer plus précisément l'image. La précision géographique ainsi obtenue, 10 m au sol., est largement suffisante dans le cadre de cette étude. La projection a été effectuée au format Utm (*Universal Transverse Mercator*, fuseau 22 Nord) dans le référentiel géodésique Wgs84 (*World Geodetic System* de 1984). Les bandes spectrales utilisées ont été le rouge (0,61  $\mu\text{m}$  - 0,68  $\mu\text{m}$ ), le proche infrarouge (0,79  $\mu\text{m}$  - 0,89  $\mu\text{m}$ ) et le moyen infrarouge (1,58  $\mu\text{m}$  - 1,75  $\mu\text{m}$ ).

Ensuite, une série d'images Landsat 5 et Landsat 7 a été obtenue via le serveur d'image Gllc (*Global Land Cover Facility*) de l'université du Maryland (États-Unis). Les données sont toutes corrigées radiométriquement et géométriquement. La projection est identique à celle de l'image Spot utilisée. La précision au sol y est de 15 m environ d'après nos estimations visuelles. Les bandes spectrales rouge (0,63  $\mu\text{m}$  - 0,69  $\mu\text{m}$ ), proche infrarouge (0,78  $\mu\text{m}$  - 0,9  $\mu\text{m}$ ) et moyen infrarouge (1,55  $\mu\text{m}$  - 1,75  $\mu\text{m}$ ) ont été utilisées. Les images obtenues datent du 24 juillet 1990 (*path and row* 227-57) et du 18 octobre 2001 (*path and row* 227-56 et 227-57).

Il est apparu que les données visibles et infrarouge restent beaucoup plus simples à traiter. De plus, dans le cadre de la prochaine installation d'une station de réception Spot à Cayenne, les données du domaine visible et proche infrarouge seront disponibles quotidiennement. Pour ces raisons, notre travail de recherche s'est focalisé sur les images optiques dans les longueurs d'onde visible et proche infrarouge.

### Traitement des images

Le principe général de la méthode employée est fondé sur les contrastes entre l'objet observé et son environnement (GOND *et al.*, 2004). Dans le cas de la présente étude, l'objet observé (les sites d'orpillage) se distingue de son environnement (la forêt tropicale humide) par un fort contraste (sol mis à nu et végétation environnante) (photos 1, 2 et 3). L'amplification de ce contraste par des méthodes de calcul n'a pour seul but que d'isoler proprement les objets étudiés et ainsi de mieux les identifier. Une fois isolés, ces objets sont extraits des images sous forme vectorielle. Ces vecteurs peuvent alors alimenter un système d'information en données géoréférencées. La technique en Guyane a principalement été développée pour repérer les activités humaines au sein d'une forêt tropicale humide (GOND *et al.*, 2003). L'orpillage n'échappe pas à

cette définition et donc un développement a été élaboré plus spécifiquement pour cette activité. L'algorithme a été principalement réalisé sur l'image Spot 4 du 18 octobre 2001 (figure 1) puis appliqué sur toutes les autres images sélectionnées auparavant. Les bandes spectrales visibles, proche infrarouge et moyen infrarouge ont été utilisées. Un filtre, afin d'éliminer les nuages, a été mis en place (COLSON *et al.*, 2003) pour éviter les confusions possibles. Un filtre similaire a été développé pour les images Landsat (BROGNOLI, 2004). Il a été décidé de produire des néocanaux (combinaison de plusieurs bandes spectrales entre elles) afin de préparer les données à l'algorithme mis au point.

D'une part, par la composition d'un indice de végétation (ROUSE *et al.*, 1974) :

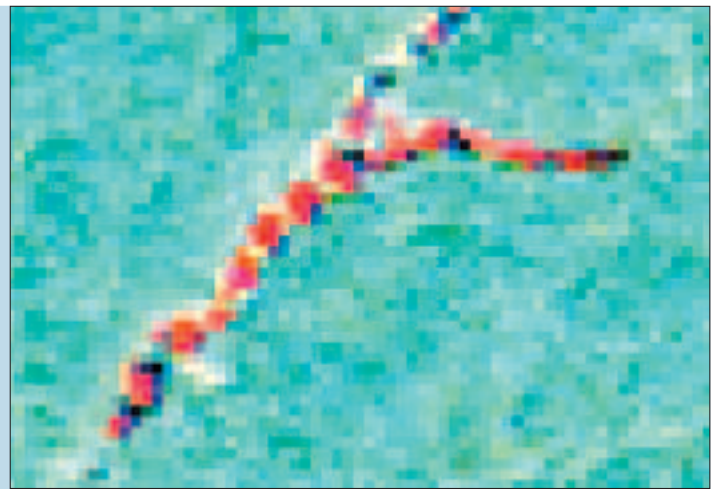
$$Ndvi = (Pir - Vis) / (Pir + Vis)$$

où Ndvi est le *Normalized Difference Vegetation Index*, Pir est la bande spectrale proche infrarouge et Vis la bande spectrale rouge des capteurs considérés. D'autre part, par la composition d'un indice d'humidité des tissus foliaires (GAO, 1996), Ndwi =  $(Pir - Mir) / (Pir + Mir)$ , où Ndwi est le *Normalized Difference Water Index*, Pir est la bande spectrale proche infrarouge et Mir la bande spectrale moyen infrarouge des capteurs considérés.

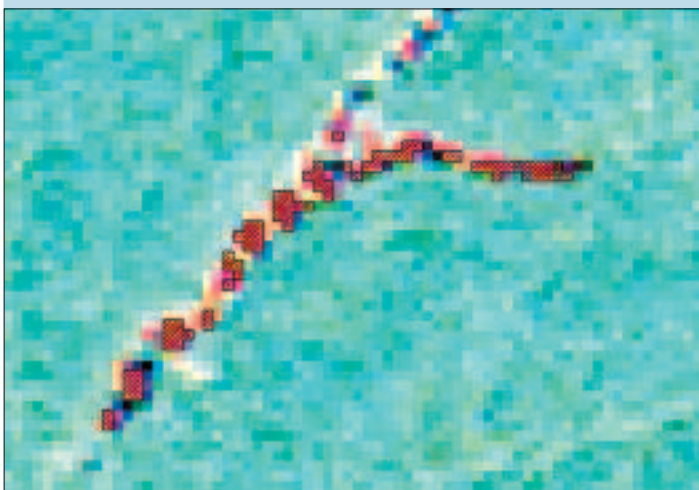
Ces deux indices combinés avec la bande spectrale moyen infrarouge permettent alors de dégager un fort contraste dans les valeurs numériques de l'image satellitaire (figure 2). Il est ensuite possible d'établir des seuils afin d'isoler l'information recherchée (figure 3). Une fois que les objets ciblés sont identifiés, une vectorisation est effectuée afin d'extraire l'information utile (fonction du logiciel de traitement d'image Envi 3.5) (figure 4). Que ce soit pour Spot ou Landsat, ces seuils sont semblables. Seules les valeurs changent légèrement en fonction des largeurs des bandes spectrales propres aux différents capteurs (Hrvir, Tm et Etm+). Ces vecteurs sont les limites des zones orpillées. Il ne



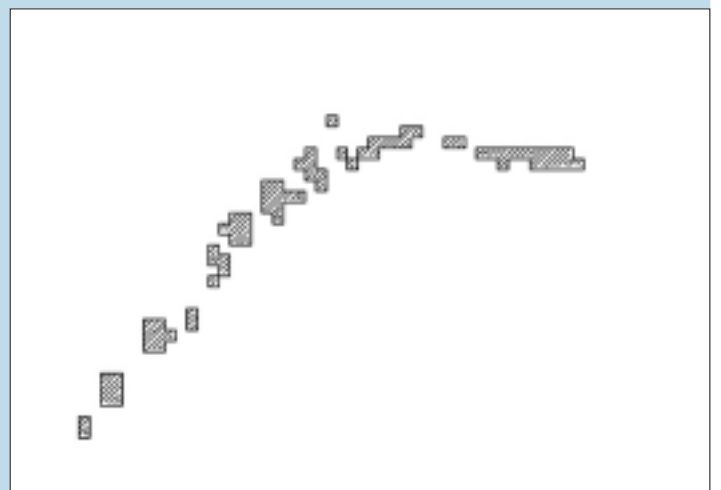
1



2



3



4

**Figures 1 à 4.**

Révélation des zones orpaillées par traitements d'image Spot-4, du 18 octobre 2001.

**(1)** Coloration originelle au moyen infrarouge (rouge), proche infrarouge (vert) et rouge (bleu). Zone d'orpaillage et autres objets (inselbergs, savanes, abattis récents) se distinguent de la forêt, mais sont confondus entre eux. © Cnes, 2001.

**(2)** Restitution avec les nouveaux canaux Ndvi, Ndwi et le moyen infrarouge originel. Les zones orpaillées apparaissent en rouge parmi d'autres objets.

**(3)** Avec le filtre automatique, les zones en sol nu sont isolées et délimitées.

**(4)** En ne gardant que la restitution du fichier vecteur, les données peuvent être conservées dans un système d'information géographique. Chaque élément est localisé, longitude et latitude, par projection d'image originelle. Petit côté des polygones : 20 m.

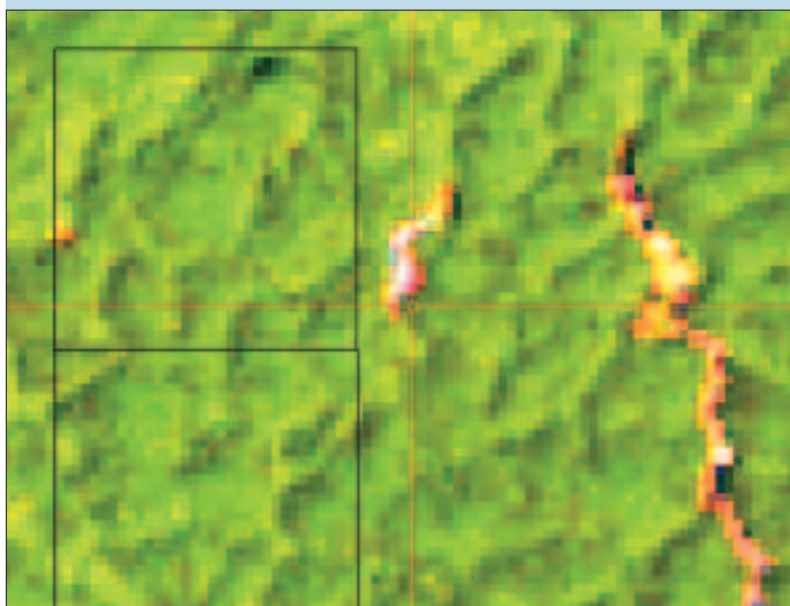
reste donc plus qu'à les insérer dans un système d'information géographique (Sig) permettant d'évaluer l'extension spatiale des sites et leur localisation. Ces données peuvent alors mettre à jour des cartes précédentes et contribuer ainsi à la surveillance du territoire. Les formats de fichier de sortie (Shapefile) sont génériques et utilisables par les principaux logiciels Sig (tels que Arc-View 8.3).

**Figure 5.**

L'image Landsat fait apparaître la zone orpaillée (en rose pâle), à l'est de la retenue d'eau de Petit-Saut (en bleu foncé). © Usgs, 2001.

## La cartographie des sites d'orpaillage

Le résultat de cette étude est donc la cartographie des sites d'orpaillage. Cette cartographie donne la position géographique des éléments observés mais aussi leur taille, leur forme et leur orientation. Une telle précision sur l'ensemble peut dès lors servir à produire des statistiques générales ou bien très locales pour chaque site. Pour cette étude, la position géographique d'un site d'orpaillage a été contrôlée sur le terrain. Il s'agit d'un site d'exploitation récemment abandonné sur la crique Plomb (à l'est du barrage de Petit-Saut). La balafre, très visible sur l'image Landsat 7 du 18 octobre 2001, a été localisée (figure 5). Sur le placer, les zones de retenue d'eau et de dépôts de gravats ont été repérées par Gps puis contrôlées sur l'image. La bonne correspondance géographique ne laisse aucun doute sur la localisation correcte du site (photos 4 et 5). Quant à la forme, elle est très bien soulignée par le filtre. Autre résultat validé par une sortie terrain et illustré par la figure 6 : celui d'une analyse fine de chantiers cartographiés. Le secteur détaillé ici est celui de la crique Batardeau et concerne les Aex (autorisation d'exploitation) 44 et 45. Le filtre a identifié trois sites d'orpaillage le 18 octobre 2001. À l'ouest, à l'intérieur de l'Aex 44, un pixel détecté (900 m<sup>2</sup> ou 0,09 ha) met en évidence la présence d'un placer. On peut le considérer comme une mise en chantier puisqu'un survol de ce secteur le 30 mars 2004 a permis de constater le développement du placer (photo 1). Au centre, en bordure de l'Aex (à 100 m vers l'est), un site actif d'une longueur de 450 m et d'une largeur maximale de 120 m est bien cartographié (surface de l'objet détecté : 34 200 m<sup>2</sup> ou 34 ha). Enfin, à l'est de l'Aex, un chantier actif situé à 900 m s'étend sur une longueur de 1 500 m pour une largeur de 150 m. Ce dernier chantier représente une surface de 112 ha.



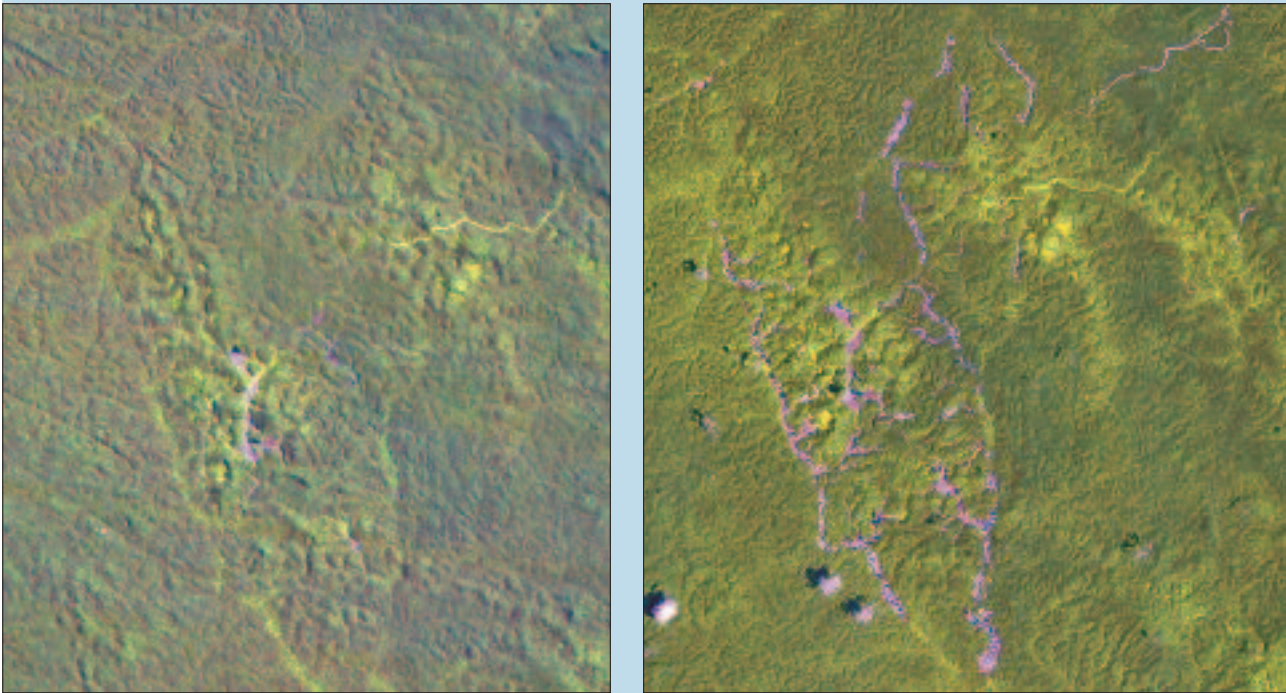
**Figure 6.**

Extrait d'image Landsat avec trois chantiers délimités en rouge (© Usgs, 2001). Un chantier licite, à l'ouest, car situé dans une Aex (autorisation d'exploitation ; carrés, délimités en noir, de 1 km de côté), mais autres chantiers illicites. Des statistiques élémentaires de ces sites, taille et surface, peuvent être obtenues.

## Potentiel de la télédétection

Le potentiel de la télédétection est très important pour des applications pratiques en milieu tropical, comme celle exposée dans cet article. Les résolutions spectrales des capteurs sont tout à fait suffisantes pour effectuer du repérage de sites d'orpaillage en contexte forestier tropical. L'imagerie satellitaire optique apparaît comme un outil fiable et peu onéreux (en comparaison avec des survols aériens réguliers, par exemple) dans la mesure où la superficie à surveiller représente une surface de trois fois celle de la Belgique. Elle offre également la possibilité d'observer dans le temps le développement du phénomène de l'exploitation de l'or. En effet, il est possible de se focaliser sur un site précis afin de surveiller l'expansion de l'activité mais on peut aussi, grâce aux images d'archives, remonter dans le temps pour regarder comment le phénomène s'est développé et ainsi l'analyser, le comprendre et peut-être prévoir ce qu'il va devenir. Pour cela, les archives Spot (depuis 1986) et Landsat (depuis 1980) sont pertinentes et permettraient de compléter les analyses de ce phénomène (figure 7).

Les limites des capteurs peuvent venir du fait que l'enneigement est susceptible de gêner l'observation durant certaines périodes de l'année (saison des pluies notamment) ou dans certains secteurs (la région est de la Guyane est plus souvent couverte). La technique de synthèse temporelle sur un site avec deux ou trois images par semaine permet d'éviter ces contaminations d'ordre atmosphérique. Une deuxième limite à cette méthode est la nouvelle technique d'extraction de l'or. En effet, il apparaît de plus en plus que les exploitations se font à flanc de colline et sous couvert forestier (Onf, comm. pers.). Celles-ci affectant peu la canopée, il sera très difficile de les localiser. Pour cela, il faudrait mettre au point d'autres algorithmes capables de détecter le taux de sol nu (trituré en surface) sous couvert, si cette technique d'extraction se développe. La méthode expérimentale élaborée dans ce contexte doit encore être affinée. La position des seuils et la sensibilité des capteurs doivent pouvoir encore être améliorées afin de minimiser les confusions avec les pistes forestières ou les savanes littorales. Toutefois, ces milieux sont éloignés des zones orpaillées. Un masquage des zones septentrionales est très facile à mettre en place dans le cadre



**a** **Figure 7.** Développement de l'orpaillage sur la commune de Saint-Élie : images Landsat 5, en 1990 (a) et 2001 (b). Les zones orpaillées apparaissent en rose-fuchsia. © Usgs, 1990 et 2001.

d'un travail opérationnel. Actuellement, la méthode a été validée sur un jeu restreint de données Spot et Landsat avec une grande satisfaction. Automatiser la procédure du travail reste nécessaire afin d'alimenter un système d'information géographique, par exemple. La rusticité de la méthode augure une bonne robustesse de l'algorithme. La validation de terrain est, bien entendu, primordiale ; toutefois, la délimitation ne posant pas de problème majeur, il serait intéressant d'orienter les recherches vers ce qui concerne le degré d'activité des sites observés. En effet, pouvoir évaluer directement si le placer est actif ou pas apporterait une information capitale dans une seconde étape de recherche. Pour cela, un travail de terrain s'avérerait nécessaire, afin de mesurer au sol les spectres des différentes réflectances, liées à des degrés d'activité différents (sites actifs, récemment abandonnés et anciennement abandonnés) – ces différents degrés d'activité sont notamment révélés par le phénomène de revégétalisation. La télédétection peut jouer un rôle important, en vue de mobiliser un minimum de moyens

humains et matériels. Il suffirait, une fois un inventaire complet réalisé (il faut 41 images Spot pour couvrir la Guyane), de surveiller régulièrement les sites actifs (on peut imaginer une surveillance tous les six mois sur les zones actives principales comme l'oussing, Saint-Élie et le secteur de la Haute Mana) et d'identifier les nouveaux chantiers. Ce complément d'information intégré à l'état des lieux permettrait de suivre de près les activités d'orpaillage. L'intérêt de disposer en Guyane d'un observatoire en continu est de pouvoir agir plus vite au bon endroit et rendre opérationnel un tel instrument de surveillance du territoire. L'immédiateté de l'information est une garantie pour rendre le système de veille utile et plus performant (figure 8). Les décideurs politiques disposeraient ainsi d'un outil pour intervenir, si cela est nécessaire, dans des délais très courts (moins d'une journée). Un tel observatoire serait alors tout à fait capable de fournir des informations en temps réel pour un système de veille et de mise en alerte couvrant l'ensemble du territoire guyanais, par exemple.

## Les perspectives

Les actions concrètes d'un tel système d'observation du territoire pourraient être déclinées en quatre axes de travail. Le premier consisterait à réaliser un inventaire des sites d'orpaillage, s'appuyant sur un état des lieux régulier, afin de cataloguer les sites d'exploitation de l'or (légaux et illégaux). Pour le deuxième axe, l'élaboration d'un répertoire historique des sites pourrait être envisagée. Caractériser l'historique des concessions aurifères sur le territoire permettrait de mieux comprendre les phénomènes de dissémination des chantiers, mais également d'analyser comment la nature reprend ses droits lors de l'abandon des placers (revégétalisation). Quant au troisième axe, il apparaît utile de mettre au point des outils d'évaluation des pollutions liées à l'orpaillage. En étudiant le degré d'activité, la nature des polluants rejetés et en se rendant sur place, il serait possible d'évaluer l'impact ou l'empreinte écologique de chaque site. Mieux connaître les différentes techniques d'extraction de l'or

**Photos 4 et 5.**

Les zones orpaillées repérées par télédétection sont facilement retrouvées sur le terrain. Un pointage Gps a confirmé la position de ce site avec son bassin de décantation (4) et son épandage de gravas (5).

Photo 4, V. Freycon ; photo 5, V. Gond.



## Références bibliographiques

et leurs répercussions sur le proche environnement, mais aussi en aval des sites, permettrait de mieux contrôler les différentes sources de pollution (turbidité, mercure, rejets de carburant, matériel abandonné, etc.). Finalement, pour le dernier axe, il serait nécessaire d'exporter cette technique vers les pays riverains. Il y a un effort à faire pour coordonner les actions de nos voisins du plateau des Guyanes qui connaissent les mêmes problèmes (Brésil, Surinam, Guyana, Colombie et Venezuela). Une coopération interrégionale pour la surveillance de l'exploitation minière deviendrait alors envisageable et servirait aussi à renforcer les actions de police liées aux immigrations clandestines.

### Remerciements

Les auteurs de l'article souhaitent remercier le ministère de l'Outre-Mer pour son aide financière au support de cette étude, l'Ird (US 140) de l'accueil dans son Laboratoire régional de télédétection (Lrt) de Cayenne, le Cnes (programme Isis) pour son cofinancement de l'image Spot et le programme Global Land Cover Facility de l'université du Maryland pour la fourniture des images Landsat. Nous souhaiterions également remercier chaleureusement l'équipe de la Brigade Nature de l'Onf, Alain Coppel et Sébastien Allo ainsi que Daniel Serre et toute son équipe de Strawberry Films pour la sortie terrain sur la Haute Mana. Christine Brognoli tient particulièrement à remercier le département Forêts du Cirad et Robert Nasî pour lui avoir permis de réaliser cette mission en Guyane

ALMEIDA-FILHO R., SHIMABUKURO Y., 2002. Digital processing of a Landsat TM time series for mapping and monitoring degraded areas caused by independent gold miners, Roraima State, Brazilian Amazon. *Remote Sensing of Environment*, 79 : 42-50.

BROGNOLI C., 2004. Étude de faisabilité de détection par l'imagerie satellitale des sites d'orpaillage sur le territoire de la Guyane. Rapport de mission interne Cirad, 12 p.

CARMOUZE J.-P., LUCOTTE M., BOUDOU A. (éd.), 2001. Le mercure en Amazonie. Rôle de l'Homme et de l'environnement, risques sanitaires. Expertise collégiale. Paris, France, Ird éditions, 493 p.

CHARLET L., BOUDOU A., 2002. Cet or qui file un mauvais mercure. *La Recherche*, 359 : 52-59.

COLSON F., GOND V., FREYCON V., BOGAERT J., CEULEMANS R., 2003. Detection of treefall gaps using Spot-4 imagery in a tropical rain forest (Counami, French Guiana). *Forest Ecology and Management*, submitted.

COPPEL A., 2004. La brigade-nature de l'ONF. *MenmoMag*, 13 : 40-41.

GAO B.-C., 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., 2003. Monitoring of the Guyana shield vegetation and human activities impacts with visible remote sensing data. *Monitoring workshop of the Guiana Shield Initiative*, IUCN, May 6-8, Belém, Brésil.

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.

GOND V., BARTHOLOMÉ E., OUATTARA F., NONGUIERMA A., BADO L., 2004. Surveillance et cartographie des plans d'eau et des zones humides et inondables en régions arides avec l'instrument VEGETATION embarqué sur Spot 4. *International Journal of Remote Sensing*, 25 : 987-1004.

GRASMICK C., CORDIER S., FRÉRY N., BOUDOU A., MAURY-BRACHET R., 1998. La pollution mercurielle liée à l'orpaillage en Guyane : contamination des systèmes aquatiques et impact sanitaire chez les Amérindiens du Haut-Maroni. *Jatba, Revue d'Ethnobiologie*, 40 : 167-179.

ORRU J.-F., 2001. Typologie des exploitations aurifères de Guyane et spécificités du contexte socio-économique local. *In* : Carmouze J.-P., Lucotte M., Boudou A. (éd.). *Le mercure en Amazonie*. Paris, France, Ird éditions, p. 425-446.

PETERSON G., HEEMSKERK M., 2001. Deforestation and forest regeneration following small-scale gold mining in the Amazon : the case of Suriname. *Environmental Conservation*, 28 : 117-126.

POLIDORI L., FOTSING J.-M., ORRU J.-F., 2001. Déforestation et orpaillage : apport de la télédétection pour la surveillance de l'occupation du sol en Guyane française. *In* : Carmouze J.-P., Lucotte M., Boudou A. (éd.). *Le mercure en Amazonie*. Paris, France, Ird éditions, p. 473-494.

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.

TAUBIRA-DELANNON C., 2000. L'or en Guyane. Éclats et artifices. Rapport. Paris, France, La Documentation française, 139 p.



**Figure 8.** Image Spot, du 18 d'octobre 2001 (© Cnes, 2001), où sont portées les zones orpaillées (limitées en noir) ainsi que la concession officielle (carré blanc de 1 km de côté). Aucune activité minière visible dans la concession mais quatre chantiers illicites dans le voisinage.