

## **Sensoriamento remoto e gestão do território : localização e identificação dos sítios de garimpo ilegais na Guiana Francesa.**

Valéry Gond<sup>1</sup> e Christine Brognoli<sup>2</sup>

1 - Laboratoire Régional de Télédétection  
Route de Montabo- BP 165- 97323 Cayenne cedex  
gond@cirad.fr

2 – Cirad département forêts, TA 10/D Campus de Baillarguet, 34398 Montpellier Cedex 5,  
brognoli@cirad.fr

### **Abstract**

In the amazonian basin, the tropical humid forest covers the majority of the territory and has few infrastructure of access. In the context, many activities are made without being perceived by the coastal population. Thus, some of these activities are practiced totally out law. It is the case for the illegal gold mining which damages the environment and leads to a strong pollution of the rivers, with the use of bad technics and the eagerness characteristic of the illegal exploitations. At the moment, the increase of the outlaw exploitations and the conflicts it generates with official exploitation's owners requires operational means of surveillance. In this article, it is proposed a tecnic based on satellital imagery with the creation of a detection filter. Strong and reliable, it remains with the problem of the clouds, important in tropical regions. Nervertheless, the possibility of obtaining regular informations could become a substancial oportunity for the management of the territory in French Guiana as in the others countries which encounter the same problem with gold mining.

**Key-words:** filter, French Guiana, gold mining, management, remote sensing.

**Palavras-chave:** filtro, Guiana Francesa, garimpo, gestão, sensoriamento remoto.

### **1. INTRODUÇÃO**

Atualmente, a Guiana Francesa não dispõe de ferramentas para localizar e avaliar a evolução do garimpo, em particular ilegal, no território dela. Os serviços do Estado só têm acesso em informações parciais e muito heterogêneas sobre o que acontece no interior do país. A localização no meio da floresta amazônica fica muito problemática por causa do isolamento devido à falta de infraestrutura de acesso. No objetivo de organizar melhor a exploração de ouro, é necessário de fazer o ponto da exploração atual (legal e ilegal) e de colocar em prática ferramentas de vigilância dessa atividade mineira. Racionalizar essa exploração permitiria então de controlar melhor as fraudes, os rejeições de poluídos mas também de organizar as concessões de exploração precisamente e por fim de limitar a destruição da floresta em meios muito sensíveis que são as margens dos rios (a exploração de ouro, na Guiana, é principalmente de tipo aluvial).

Poucas de ferramentas foram desenvolvidas para vigiar o demastamento com relação à exploração de ouro (Almeida-Filho, 2002). Ao nível local, este tipo de destruição é nefasto para o meio ambiente mas também para as populações locais. Nota-se o interesse grande tão das coletividades locais como das Organizações Não Governamentais (ONG) de proteção ambiental. Que saibamos, têm poucas iniciativas na detecção de sítios de garimpo com imagens de satélite (Polidori et al., 2001). Muitas pesquisas são realizadas sobre as condições e os impactos das poluições sobre o meio ambiente (Grasmick et al., 2001). A vigilância sistemática fica pouca desenvolvida mas interessa muitos parceiros regionais. Neste contexto o Centro Internacional de Pesquisa em Agronomia para o Desenvolvimento (CIRAD – France) tomou a iniciativa de iniciar um projeto para coordenar e divulgar o conhecimento prático desse instituto nessa área (Forest and Remote Sensing Exchanges Network, FORESEEN, Gond, 2003)

## 2. MATERIAL E MÉTODO

### 2.1. Os sítios de garimpo

Os sítios de garimpo nos quais usa-se a técnica atual de retiro do solo têm uma assinatura espectral muito particular. Em efeito, o arranco total dos aluviões (até uma profundidade de 10m) projectados da às expolações um aspecto totalmente pelado (sobre varios kilómetros as vezes e sobre uma largura de 50 à 150m). O solo triturado e remanejado fica pois totalmente estéril. Isso leva a uma grande dificuldade pela re-vegetalisação desses sítios (Petersen et Heemskerk, 2001). Essas marcas muito profundas na vegetação podem ser assimiladas a ferimentos bem contrastados com a floresta não perturbada. (**Figura 1**)



*Figura 1 : uma zona de garimpo na floresta perto de Maripasoula. Distingue-se nitidamente as zonas de demastamento assim como a perturbação do rio. Março 2003.*

No jusante desses sítios de garimpo, os rejeições de lama no rio leva uma forte coloração da água. Este aumento de matéria em suspensão asfixia totalmente o meio aquático sobre vários kilómetros, perturbando o funcionamento ecológico certo dos rios. Além disso a extração de ouro com uso do amalgamo mercúrio-ouro leva poluições químicas muito tóxicas.

### 2.2. Os dados de satélite usados

#### 2.2.1. Captores usados

Tres captors sobre plataformas de satélite diferentes apareceram adequados por este estudo. Trata-se do captor HRVIR (Alta Resolução Visível e Infra-Vermelho) do satélite Spot-4, do captor TM (Thematic Mapper) do satélite Landsat 5 e do captor ETM+ (Enhance Thematic Mapper) do satélite Landsat 7. A resolução espacial é de respeitante 20m, 30m e 30m.

#### 2.2.2. Dados SPOT e LANDSAT

Em nossa análise, várias imagens foram usadas para realizar o algoritmo de detecção. Trata-se primeiro de uma imagem Spot 4 do día 18 de outubro 2001 adquirida pelo programa ISIS do CNES (França). O tratamento dessa imagem comporta correções radiométrica e geométrica. Pontos geográficos foram coletados no campo por GPS (Magellan 315) na meta de geo-

referenciar mais precisamente a imagem. A precisão geográfica assim obtida é de 10m, o que é bem suficiente para este estudo. A projeção foi efetuada no formato UTM22N no referencial geodésico WGS84. As bandas espectrais usadas foram o vermelho, o infra-vermelho próximo e o infra-vermelho meio. Em seguida, uma série de de imagens Landsat 5 e Landsat 7 foram adquiridas via o site internet da Universidade do Maryland (USA) GLCF (Global Land Cover Facility). Os dados são todas corrigidas radiometricamente e geometricamente. A projeção é idêntica à imagem Spot. A precisão é cerca de 15m com acordo a nossas estimações. Um conjunto de dados do 24 de julho 1990 e do 18 de outubro 2001 foi analisado.

### 3.3. Princípio do método usado

O princípio geral do método usado é baseado sobre o uso dos contrastes entre o objeto observado e o meio ambiente dele (Gond et al., 2004). No caso deste estudo o objeto observado (os sítios de garimpo) se distingue do meio ambiente (a floresta tropical) com um contraste forte (solo pelado vs. vegetação). A ampliação deste contraste por métodos de cálculo só tem como objetivo de isolar corretamente os objetos estudados e assim de identificá-los melhor. Depois os objetos são extraídos das imagens sob forma de vetores. Esses vetores podem em seguida ser entrados em um Sistema de Informação Geográfica.

### 3.4. Desenvolvimento das técnicas adaptadas

#### 3.4.1. Tratamento da imagem

O algoritmo foi principalmente realizado na imagem Spot-4 do 18 outubro 2001. As bandas espectrais visíveis, infravermelho próximo e infravermelho meio foram usadas. Um filtro, com papel de eliminar as nuvens, foi construído (Colson et al., 2003) para evitar as confusões possíveis. Um filtro similar foi também desenvolvido para as imagens Landsat (Trébuchon, 2003). Para todos esses dados, foi necessário produzir novos canais (combinação de várias bandas espectrais entre elas) para preparar os dados para o algoritmo realizado.

Por uma parte pela composição de um índice de vegetação (Rouse et al., 1974) :

$$NDVI = (PIR - VIS) / (PIR + VIS)$$

Onde NDVI é o « Normalized Difference Vegetation Index », o PIR é a banda spectral infra-vermelho próximo e VIS a banda spectral vermelho dos captadores considerados.

E por outra parte pela composição de um índice de umidade das folhas (Gao, 1996)

$$NDWI = (PIR - MIR) / (PIR + MIR)$$

Onde NDWI é o « Normalized Difference Water Index », PIR é a banda spectral infra-vermelho próximo e o MIR a banda spectral infra-vermelho meio dos captadores considerados.

Esses dois índices combinados com a banda spectral infra vermelho meio permitem então de tirar um forte contraste nas valores numéricas da imagem de satélite (**Figura 2-b**). É possível então de estabelecer escalões para isolar e extrair a informação procurada. Depois que os objetos sejam identificados, uma vetorização é feita para extrair a informação (função do software de tratamento de imagem ENVI 3.5). Seja com o Spot ou o Landsat esses escalões são similares. Só as valores mudam levemente relativo às larguras das bandas espectrais próprias aos diferentes captadores (HRVIR, TM e ETM+).



Figura 2-a : a composição colorida de origem com o infra-vermelho médio (vermelho), o infra-vermelho próximo (verde) e o vermelho (azul). A zona explorada aparece nitidamente na floresta mas pode confundir-se com outros objetos (zonas de agricultura...).

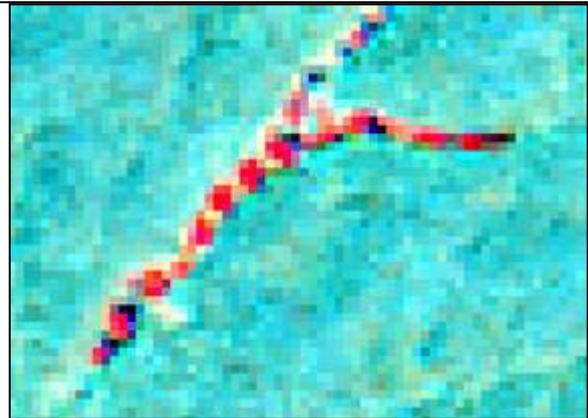


Figura 2-b : A composição colorida é apresentada com os novos canais NDVI, NDWI e o canal de origem infra-vermelho médio. Essa configuração permite localizar melhor as zonas de exploração no seio do dossel da floresta e de evitar as confusões com outros objetos.

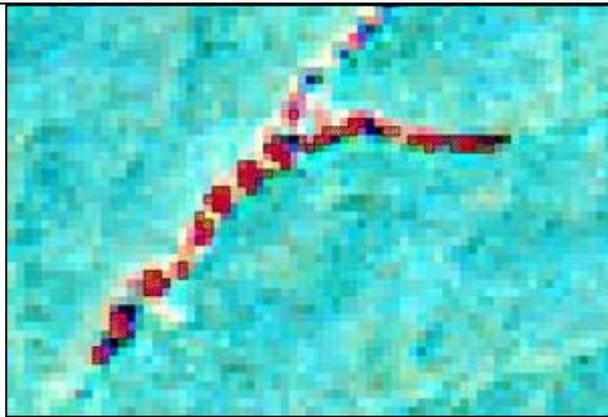


Figura 2-c : O filtro automático permite então de identificar e contornar as zonas tipicamente de solo pelado. Esa vectorização isola de jeito certo a presença de garimpo.

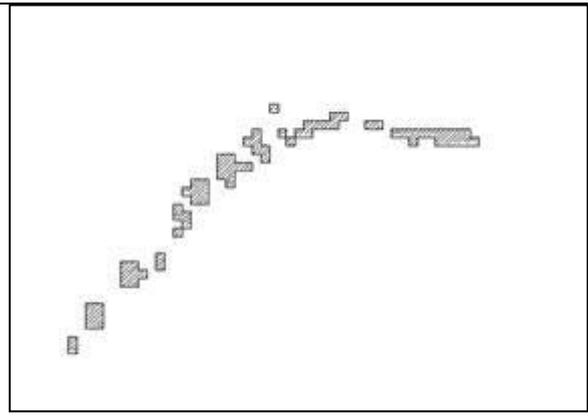


Figura 2-d : finalmente só se conserva o arquivo vector para usar esse dado em um sistema de informação geográfica. Cada polígono tem um tamanho de 20m como a imagem de origem.

### 3.4.2. Integração em um Sistema de Informação Geográfica

Esses vectores são as limites das zonas exploradas. Só fica entra-las em um SIG que permite avaliar a amplitude das explorações e a localização delas. Esses dados podem então atualizar mapas precedentes e contribuir assim na vigilância do território. O formato dos arquivos (Shapefiles) de saída são genéricos e utilizáveis pelos princípios softwares SIG.

### 3.5. Validação no campo

Um sitio de garimpo foi validado. Trata-se de um lugar recém abandonado sobre o rio Plomb (ao este da barragem do Petit Saut). A ferida muito visível na imagem Landsat 7 do 18 de outubro 2001, foi localizada (**Figura 3-a**). No campo as zonas de retenção da água e de sedimentos foram localizados por GPS pois controladas na imagem. A boa correspondência geográfica não deixa nenhuma duvida sobre a localização correta do sitio. Com relação à

forma, fica muito bem conservada pelo filtro. Trataria-se agora de ir mais por frente e de validar mais sitios mas isso pede recursos muito importantes.



*Figura 3-a : nessa imagem Landsat aparece a zona de exploração ao Este da barragem do Petit-Saut.*



*Figura 3-b : as zonas de garimpo são facilmente encontrada no campo. Uma localização com GPS permitiu confirmar a posição deste lugar.*

## **4. VIGILANCIA DO TERRITORIO GUIANENSE**

### **4.1. Contexto e necessidades**

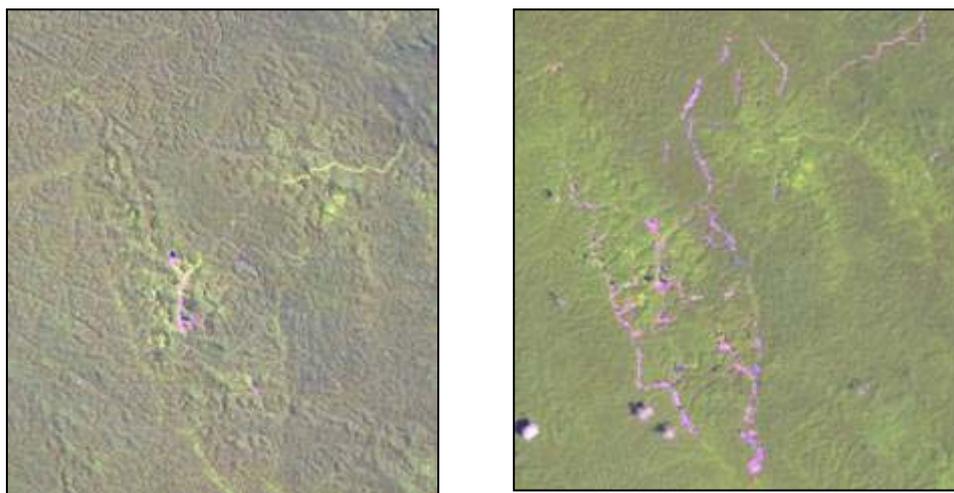
Desde 1995, com conseqüência da aumentação do garimpo relacionada ao desenvolvimento das técnicas e ao encarecimento do ouro no mercado internacional, a Guiana se tornou uma estaca importante tão de um ponto de vista económico como ambiental. De um ponto de vista económico, o desenvolvimento do sector do ouro é importante mais precisa de investimentos caros que engendra a realização de uma exploração (matériel, transporte, infraestructuras). Além disso, essas atividades oficiais e legais são em concôrrencia cada vez mais com as atividades ilegais. Esses fenômenos levam uma distorção económica e criam tenções muita vivas com os exploradores oficiais mas também entre exploradores ilegais. Essa situação é pernicioso pela imagem desse sector indutrial e muita perigosa socialmente. Em efeito, as explorações ilegais oferecem condições de trabalho ruins para os obreiros. É óbvio também que a gente que trabalham là são em uma larga maioria imigrantes clandestinos. Essa situação administrativa em um contexto de floresta tropical úmida isolada e com condições de trabalho difíceis engendra condições de vida muita precária.

De um ponto de vista ambiental tem uma necessidade forte de vigiar as instalações para limitar as poluições. A utilização errada do mercúrio leva poluições muito importantes para o meio ambiental dos sitios mas também para a cadeia alimentária alrededor dos rios. Ao topo dessa cadeia, as populações de beira rio sofrem dessa poluição pelo mercúrio. O nível de mercúrio encontrado nas pessoas morando perto do rio Maroni por exemplo é dramático (Carmouze et al., 2001 ; Taubira-Delannon, 2000).

Tem então uma dupla necessidade de localizar, inventariar e vigiar essas atividades na floresta guianense. Para fazer isso, o sensoriamento remoto parece uma ferramenta robusta e barata (em comparação com vôos aéreos regulares por exemplo) quando se trata de vigiar um território com uma larga superfície e que tem poucos meios de comunicação. Pois a observação desde o espaço parece ter um grande futuro para as missões de vigilância do território.

### 4.3. Monitoramento do fenômeno no tempo

O sensoriamento remoto oferece a possibilidade de observar no tempo o desenvolvimento do fenômeno da exploração de ouro. Em efeito se pode observar um lugar definido para vigiar a extensão da atividade mais também com os arquivos se pode olhar como o fenômeno se desenvolveu no tempo e analisar, entender e talvez prever o desenvolvimento futuro. Os arquivos SPOT (desde 1986) e Landsat (desde 1980) são adequadas por isso (**Figura 4**).



*Figura 4 : ilustração do desenvolvimento das atividades de garimpo no sector do St-Elie. A esquerda uma imagem Landsat 5 de 1990 e a direita uma imagem Landsat de 2001. Percebe-se nitidamente as zonas de explorações em côr-de-rosa.*

## 5. DISCUÇÃO E PERSPECTIVAS

O poder do sensoriamento remoto na forma atual é muito importante. As resoluções espaciais dos captadores são totalmente suficientes para fazer a localização dos sitios de garimpo no contexto da floresta tropical. Os limites dos captadores podem ser as nuvens que podem perturbar a observação durante alguns periodos do ano (estação de chuva por exemplo) o em alguns sectores (a região Este da Guiana tem mais nuvens). O desenvolvimento de técnicas radar seria um complemento apreciado para realizar uma detecção em qualquer tempo (Almeida-Filho et al., 2003).

Um limite desse método é a nova técnica de extração do ouro. Parece que as prospeções se fazem cada vez mais no pé das colinas e debaixo do dossel da floresta (ONF comunicação pessoal). Isso perturba pouco o dossel vegetal e será muito difícil de localiza-lo. Poderia-se

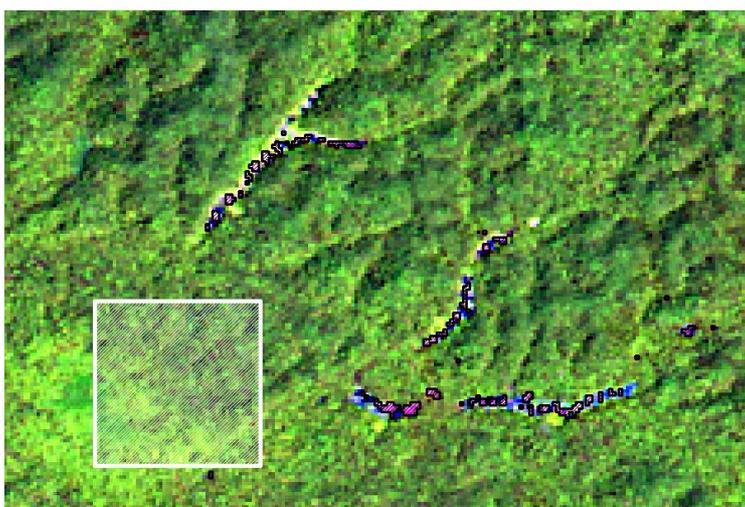
desenvolver outros algoritmos capazes de detetar a taxa de sol perturbado debaixo de uma cobertura vegetal se essa técnica de extração se desenvolve.

O método experimental desenvolvido em nosso contexto pode ser melhorado. A sensibilidade do filtro pode ser ainda mais aumentada para evitar as confusões com estradas e zona de agricultura. Mas esses objetos geralmente ficam longe das zonas de garimpos.

Atualmente o método foi validado com poucos dados Spot e Landsat com um muito bom resultado. Automatizar o processo é necessário para um uso como fonte de dados em um Sistema de Informação Geográfica por exemplo.

Um outro interesse seria de orientar as pesquisas sobre o grau de atividade dos sítios observados. Em efeito avaliar diretamente se o sítio seja ativo ou não, seria muito importante em uma segunda etapa. Por isso um trabalho no campo seria necessário para medir as refletâncias relacionadas a diferentes graus de atividade (ativo, recém abandonado e antigamente abandonado).

Dispôr na Guiana ou em qualquer região do mundo atingida pelo garimpo, de um observatório permitiria de ser mais eficiente na vigilância do território. O acesso imediato à informação envolve esse sistema de vigilância útil (**Figura 6**). Os atores políticos disporiam assim de uma ferramenta para interferir quando precisar em prazos muito cortos (menos de um dia). Tal um observatório seria pois plenamente capaz de fornecer dados em tempo-real para um sistema de alerta na totalidade do território guianense por exemplo.



*Figura 6 : Nessa composição colorida Spot do 18 de outubro 2001 foi sobreposto o vector das zonas exploradas (em preto) assim como a limite das concessões oficiais (em branco). A concessão faz 1km quadrado. Nota-se que nenhuma atividade mineira é visível dentro da concessão mas que quatro sítios de garimpo se localizam na periferia dela.*

## 6. CONCLUSÃO

As ações concretas daquele sistema de observação do território poderiam ser classificadas em quatro direções de trabalho.

O primeiro consistiria na realização de um inventário dos sítios de garimpo. Seria fazer atualização regular para repertoriar os sítios de exploração do ouro (legais e ilegais).

Na segunda direção, um catálogo histórico dos sítios poderia ser construído. Caracterizar o histórico das concessões de ouro no território permitiria entender melhor o fenómeno de disseminação por uma parte mas também de analisar como a natureza se instala de novo depois do abandono dos sítios (revegetação).

No seio da terceira direção, aparece útil de realizar ferramentas de avaliação das poluições relacionada ao garimpo. Analizando o nível de atividade, os rejeitos, seria possível avaliar o impacto ecológico de cada lugar. Conhecer melhor permitiria controlar melhor as fontes de poluição (turbidez, mercúrio, rejeitos diversos e material abandonado).

Finalmente na última direção seria necessário exportar essa técnica nos países vizinhos. Tem que coordena-nos com os vizinhos do planalto das Guianas que têm os mesmos problemas (Brasil, Surinam, Guyana, Colômbia e Venezuela). Permitiria por uma parte de iniciar uma cooperação regional para a vigilância da exploração mineira mas também fortaleceria com certeza as ações de polícia relacionada com as emigrações clandestinas.

## Referências

- Almeida-Filho, R.; Shimabukuro, Y. 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**, v. 79, p. : 42-50, 2002.
- Colson, F.; Gond, V.; Freycon, V.; Bogaert, J.; Ceulemans, R. Detection of treefall gaps using Spot-4 imagery in a tropical rain forest (Counami, French Guiana), **Functional Ecology**, Submitted, 2003.
- Gao, B-C. NDWI – A Normalized Difference Water Index for remote sensing of vegetation liquid water from space, **Remote Sensing of Environment**, v. 58, p. 257-266, 1996.
- Gond, V.; Féau, C. ; Pain-Orcet, M. Télédétection et aménagement forestier tropical : les pistes d’exploitation, **Bois et Forêts des Tropiques**, v. 275, p. 29-36, 2003.
- Gond, V.. Monitoring of the Guyana shield vegetation and human activities impacts with visible remote sensing data. In: *Monitoring workshop of the Guiana Shield Initiative*, 2003, Belém (Brazil), UICN, 2003.
- Gond, V. ; Bartholomé, E. ; Ouattara, F. ; Nonguierma, A. ; Bado, L. Surveillance et cartographie des plan d’eau et des zones humides et inondables en régions arides avec l’instrument VEGETATION embarqué sur Spot 4, **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, p. 987-1004, 2004.
- Grasmick, C. ; Cordier, S. ; Fréry, N. ; Boudou, A. ; Maury-Brachet, R. 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**, v. 40, p. 167-179, 1998.
- Orru, J-F. Typologie des exploitation aurifères de Guyane et spécificités du contexte socio-économique local. In : Carmouze, J-P.ed – **Le mercure en Amazonie**, Paris : IRD Editions, p. 425-446, 2001.
- Peterson, G.; Heemskerk, M. Deforestation and forest regeneration following small-scale gold mining in the Amazon: the case of Suriname, **Environmental Conservation**, v. 28, p. 117-126, 2001.
- Polidori, L. ; Fotsing, J-M.; Orru, J-F. Déforestation et orpaillage : apport de la télédétection pour la surveillance de l’occupation du sol en Guyane française. In : Carmouze, J-P.ed – **Le mercure en Amazonie**, Paris : IRD Editions, pp 473-494, 2001.
- Rouse, J.; Haas; R., Schell; J., Deering; D.; Harlan, J. Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation, NASA/GSFC, Type III, Final report, Greenbelt, MD, USA, 1974, 371 p.
- Taubira-Delannon, C. **L’or en Guyane. Eclats et artifices**. Rapport, Paris, 2000, 139 p.
- Trébuchon, J-F., 2003, **Le bouclier oriental Guyanais, cartographie des forêts tropicales humides à l’aide d’images Spot-4 / VEGETATION et Landsat 7 ETM+**. 2003. 43p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) CETEL, Toulouse. 2003.