Télédétection, 2005, vol. 4, n°4, p. 355-371
Droit de photocopie soumis à l'autorisation

© 2005 CONTEMPORARY PUBLISHING INTERNATIONAL
Publié sous l'enseigne *Éditions scientifiques GB*

USAGE D'IMAGES TM ET ETM+ DE LANDSAT DANS UN CONTEXTE PLURIDISCIPLINAIRE : ORPAILLAGE, AGRICULTURE AMÉRINDIENNE ET RÉGÉNÉRATION NATURELLE EN TERRITOIRE YANOMAMI (AMAZONIE BRÉSILIENNE)

FRANÇOIS-MICHEL LE TOURNEAU[1] et BRUCE ALBERT[2]

[1] Centre de Recherche et de Documentation sur l'Amérique Latine (CREDAL-CNRS)
28, rue Saint Guillaume, 75007 Paris, France

[2] UR 169, Institut de Recherche sur le Développement (IRD)
C.P. 7091, Lago Sul 71619 – 970, Brasilia (DF), Brésil

Courriels [(1,2)] : fmlt@fmlt.net ; brucealbert@aol.com

(soumis : 6 mai 2004 ; révisé : 3 novembre 2004 ; accepté 17 mars 2005)

À la suite de l'invasion de leur territoire traditionnel par des milliers de chercheurs d'or à la fin des années 1980, de nombreux groupes yanomami du Brésil se trouvent aujourd'hui dans une situation socio-économique préoccupante, leur environnement forestier, sur lequel repose l'intégralité de leur apport alimentaire, ayant été sévèrement dégradé. Afin de proposer des solutions pour remédier à cette situation, une équipe pluridisciplinaire a été formée en 2002 à la demande d'une ONG locale, la CCPY (Comissão Pró-Yanomami), pour étudier l'une des régions les plus problématiques, à savoir la zone de « Homoxi » (haut rio Mucajaí, état de Roraima, nord du Brésil).

Afin de quantifier l'importance des dégradations liées à l'action des chercheurs d'or et d'évaluer leurs impacts sur le système productif des groupes yanomami, il fut décidé d'incorporer dans l'étude une composante SIG et télédétection, dont le rôle devait être de fournir, à partir de l'étude d'images TM et ETM+ de Landsat, des données quantitatives sur l'intensité de l'activité des orpailleurs et la présence amérindienne locale. Par l'utilisation de données diachroniques, on espérait également pouvoir obtenir des informations sur la dynamique de l'orpaillage et sur la question de la régénération naturelle de la forêt tropicale.

Cet article présente les résultats des travaux réalisés sur la région de Homoxi en discutant de diverses options méthodologiques disponibles, tout en insistant sur le défi que représente l'usage de la télédétection dans une région de fort relief et d'ennuagement permanent et pour la détection d'objets de petite taille. Malgré la faible quantité de données disponibles, des résultats quantitatifs permettent d'évaluer l'ampleur de la ruée vers l'or qui a affecté la zone (1988-1998), et de tirer des conclusions sur la dynamique du peuplement yanomami. Cette étude démontre enfin la richesse des interactions possibles entre les moyens cartographiques issus du monde des SIGs et de la télédétection avec la connaissance intime que les peuples amérindiens possèdent de leur environnement.

Mots-clefs : Amazonie ; indiens Yanomami ; orpaillage ; télédétection, images Landsat ; occupation de l'espace ; ethnocartographie.

LANDSAT TM AND ETM+ IMAGES IN A MULTIDISCIPLINARY CONTEXT : WILCAT GOLD MINING, INDIGENOUS AGRICULTURE AND NATURAL REGENERATION IN THE YANOMAMI TERRITORY (BRAZILIAN AMAZON)

In the aftermath of the invasion of their traditional territory by thousands of gold miners in the late 1980s, numerous Yanomami groups in Brazil now find themselves in a precarious socioeconomic situation due to the impact of mining activities on the tropical forest environment which forms the foundation of their food supply. In order to propose solutions to this situation, a multidisciplinary team was formed in 2002 at the request of the Pro-Yanomami Commission (CCPY), a Brazilian nongovernmental organization, to study one of the most problematic regions, known as Homoxi, located on the upper Mucajaí River in the state of Roraima in northern Brazil.

The first aim of the study was to measure the extent of the environmental damage, implying the use of GIS and analysis of Landsat TM/ETM+ images. However, such tools are not easily employed in the Homoxi region, since it is an area of highlands covered almost permanently by clouds and fog. From 1985 to 2002, satellites were able to capture only two images of this region with adequate quality. The information they provided made it feasible, through various interpretive techniques (from visual interpretation to supervised classification), to generate quantitative data on gold panners' activities and land-use by local Yanomami groups. Such data, in turn, made it possible to evaluate the environmental impacts of the miners' actions, the extent of the natural regeneration of the forest, and the dynamics of the Yanomami settlement pattern in such areas.

The research team was able to show that the amount of land surfaces directly impacted by the gold panners represents about 700 hectares in the Homoxi region. One portion of these surfaces was already beginning to regain aspects of a primary forest in 2002 ;

another portion revealed aspects of secondary forest; while yet another (about 200 hectares) was still totally exposed and needed to be restored through environmental intervention.

Primary data on Yanomami settlements (locations, population density) could not be obtained directly by remote sensing because of the geographic characteristics of the highlands and the small size of the collective round houses typical of Yanomami villages in this region. Secondary data, however, such as the location of gardens, made it possible to get a clear idea of the overall dynamics of local settlement and migration patterns. With the help of indigenous informants, the research team was thus able to retrace the migratory itinerary of two local groups over the last twenty years.

In trying to establish a collaborative interaction between new cartographic technologies and the traditional geographic knowledge of an indigenous people, this study suggests a fruitful avenue for research in the future.

Keywords : Brazilian Amazon ; Yanomami Indians ; wildcat gold mining ; remote sensing ; Landsat images ; land-use ; ethno-cartography.

1. INTRODUCTION

1.1. Contexte de l'étude : la ruée vers l'or dans la Terre Yanomami et ses conséquences

La hausse spectaculaire du cours de l'or au début des années 1980 a entraîné de véritables ruées d'orpailleurs dans plusieurs régions d'Amazonie brésilienne (Cleary, 1990). L'une d'elles s'est déroulée dans l'ouest de l'état de Roraima de 1987 à 1989 (MacMillan, 1995), entraînant une invasion à grande échelle du territoire traditionnellement occupé par les Indiens Yanomami, peuple amérindien nombreux et pour une grande partie sans contact avec la société « blanche » jusqu'à cette époque. Face à la couverture médiatique et la mobilisation mondiale des ONG contre ce qui était devenu, pour l'opinion publique internationale, le « génocide yanomami », le gouvernement brésilien se décida à mettre fin à l'invasion en janvier 1990 et attribua, en 1992, au territoire des Yanomami le statut protégé de « Terre Indigène » (figure 1). Toutefois, dans les faits, les intrusions d'orpailleurs demeurèrent fréquentes et importantes au moins jusqu'en 1998.

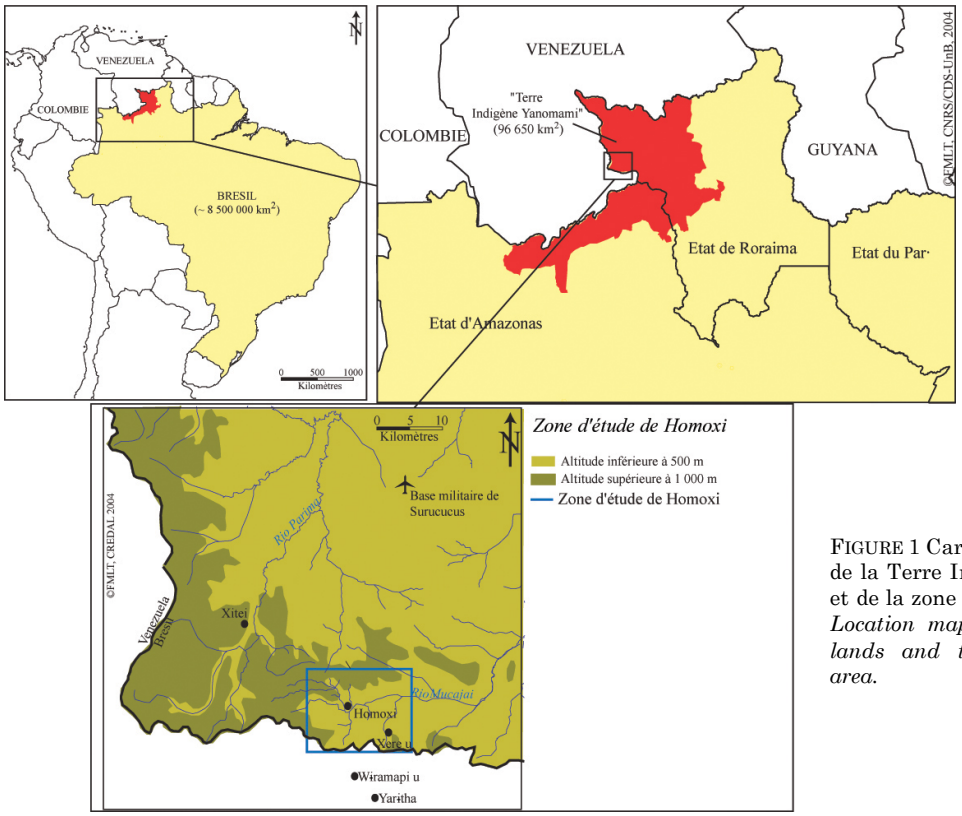


FIGURE 1 Carte de localisation de la Terre Indigène Yanomami et de la zone d'étude de Homoxi. *Location map of the Yanomami lands and the Homoxi study area.*

La pénétration d'un nombre très important de chercheurs d'or sur leur territoire a eu de graves conséquences pour les Yanomami, non seulement du fait des violences et de la situation épidémiologique catastrophique occasionnée par leur présence (Albert, 1990, 1994), mais également en raison de l'impact social et écologique durable de l'orpaillage sur leur mode de vie et leur système

productif. Ainsi, mise en fuite par le bruit des motopompes fonctionnant jour et nuit et par le trafic incessant des avions et hélicoptères transportant hommes et ravitaillement, la faune a largement déserté les zones exploitées, diminuant drastiquement le rendement de la chasse, activité sur laquelle repose une part fondamentale de la diète des Yanomami (Albert, 2003). La pollution des fleuves par les boues ou le mercure a réduit, elle, drastiquement les ressources halieutiques.

En conséquence de ces atteintes, et bien que l'orpaillage à grande échelle ait effectivement cessé dans les années 1990, la situation sociale et sanitaire de nombreuses communautés yanomami est demeurée très précaire jusqu'en 2000, avec des indices très importants de mortalité et de dénutrition signalés par les ONG et administrations chargées de l'assistance sanitaire dans la région.

1.2. Objectifs : cartographier les impacts pour y remédier

Dans ce contexte, l'association brésilienne *Comissão Pró-Yanomami* (CCPY) a décidé de convier des spécialistes de plusieurs disciplines (anthropologie, pédologie, géographie et botanique) à réaliser une étude conjointe de la région de Homoxi (figure 1), l'une des zones les plus affectées par les activités d'orpaillage en territoire yanomami de 1988 à 1998. Cette étude devait conduire à la mise en place d'un système d'information géographique (SIG) capable d'orienter une action de récupération de l'environnement local.

Dans la mesure où Homoxi figure sans doute parmi les régions les plus isolées de l'Amazonie brésilienne, inaccessible par voie fluviale ou terrestre, et que les ONG et administrations spécialisées n'ont pu y pénétrer que récemment, très peu d'informations précises, en particulier géographiques, étaient disponibles sur la zone. L'équipe décida donc d'utiliser des images de télédétection comme sources principales des données qui devaient être recueillies dans le système d'information géographique.

Le traitement des images a été réalisé avec deux objectifs distincts : évaluer les effets de l'activité des orpailleurs sur l'environnement ainsi que l'ampleur de la régénération naturelle en cours, et donner des indications sur le peuplement amérindien de la région et les activités agricoles associées. Dans les deux cas, les traitements effectués ont pris en compte les éléments apportés par la bibliographie sur des sujets similaires.

1.3. Intérêt scientifique

Le travail réalisé dans le cadre de l'expédition Homoxi a permis de s'intéresser à la capacité de la télédétection à fournir des informations pertinentes pour des actions de restauration environnementale et sociale dans un contexte difficile, à la fois en raison de la pénurie de données et de la très petite échelle des phénomènes à détecter. Nous montrons dans cet article comment, par l'application de méthodes classiques en télédétection, nous sommes parvenus à estimer et différencier les zones affectées par les chercheurs d'or et celles exploitées par les Indiens Yanomami. Nous tentons également de décrire à chaque fois les processus écologiques et sociaux à l'œuvre, établissant les liens entre ceux-ci et la configuration de paysage décrite par les images satellitales.

Ces résultats quantitatifs sont fondamentaux dans une zone dans laquelle aucune autre source documentaire n'existe. Ils montrent, par ailleurs, l'intérêt des méthodes de télédétection et de SIG dans un contexte pluridisciplinaire au sein duquel elles sont à même de fournir une information élémentaire sur les zones d'étude à partir de laquelle d'autres disciplines concernées (en l'occurrence ici anthropologie, pédologie et botanique) peuvent élaborer leurs propres analyses. Enfin, outre leur portée générale et leur intérêt pratique, ces résultats apportent de nouveaux éléments dans un débat anthropologique ancien sur la dynamique de peuplement des groupes locaux Yanomami.

1.4. Travaux antérieurs

1.4.1. Télédétection et orpaillage[1] en Amazonie

La détection des dégradations liées à l'activité des chercheurs d'or est étudiée dans un article de Almeida-Filho et Shimabukuro (2002) pour une autre région du Roraima (plateau de Tepequém). Les auteurs disposaient d'un jeu de données plus étoffé que le nôtre, leur zone d'étude (comparable à celle de Homoxi) étant plus épargnée par la couverture nuageuse. Nous utiliserons cependant leurs résultats à des fins de comparaison.

Par ailleurs, de nombreuses études existent sur l'impact du déboisement ou de l'orpaillage en Amazonie brésilienne (Houghton *et al.*, 2000 ; Sgrenzaroli *et al.*, 2002). Elles n'ont cependant pas pu être véritablement utilisées dans la mesure où leur contexte géographique est en général complètement différent de notre zone d'étude; la frontière Nord du Brésil, dans laquelle s'insère la

[1] Nous utilisons le terme « orpaillage » comme équivalent du portugais *garimpagem*, même si la notion d'artisanat souvent associée à ce mot n'est pas valide dans ce cas, l'orpaillage moderne étant fortement capitalisé et mécanisé (utilisation de puissantes motopompes, de moyens de transport coûteux – hélicoptères et monomoteurs – et de grandes quantités de mercure pour l'amalgame de la poudre d'or).

Serra Parima, constituant une région aux caractéristiques très particulières.

1.4.2. Télédétection et peuplement Yanomami

Ce sujet a été abordé dans plusieurs articles récents (Craig, 1999 ; Craig and Chagnon, 2000, s.d. ; McGwire *et al.,* 1996). Les auteurs y insistent tout d'abord sur l'utilité des données Landsat TM dans ce domaine d'étude en fonction de la dispersion du peuplement yanomami sur de très vastes étendues et la compatibilité de son impact environnemental avec une résolution de 30 m. Néanmoins, du fait de la grande complexité des données, ils suggèrent une série de traitements (indice de végétation, analyse en composantes principales, chapeau haut-de-forme, etc.) afin de détecter plus facilement les zones de peuplement et de les différencier d'autres artefacts. Deux traits de la présence yanomami leur semblent pouvoir être détectés sur les images : les clairières de défriche-brûlis et les habitations collectives (auvents circulaires ou maisons coniques).

2. L'ENVIRONNEMENT DE LA SERRA PARIMA

2.1. Une région difficile d'accès

La région de Homoxi que nous étudions se situe au sein d'un ensemble de collines et de vallées désignées sous le nom de Serra Parima et délimitant la frontière entre le Venezuela et le Brésil. L'ensemble de la région est constitué d'un socle cristallin (le bouclier des Guyanes) portée à une altitude modérée et profondément disséqué par l'intense érosion de la région. En résulte un paysage composé d'innombrables vallées, assez encaissées[2] et couvertes de forêt tropicale dense, au sein desquelles se dégagent parfois quelques plateaux d'altitude couverts de savane.

Du fait de son altitude (jusqu'à 1 600 m), la Serra Parima est un obstacle important qui empêche la circulation des nuages d'est en ouest. De ce fait, la nébulosité y est presque constante et les précipitations sont très élevées. De nombreux cours d'eau naissent de l'ensemble montagneux, mais la plupart d'entre eux sont barrés par de nombreuses cascades ou rapides qui les rendent impropres à la navigation.

En raison de toutes ces caractéristiques, la région de la Serra Parima et sa population Yanomami sont restées dans un isolement presque total jusqu'au milieu des années 1970. Ce n'est qu'après la révélation de sa richesse minérale potentielle que des prospecteurs réussirent à s'y établir, une première fois brièvement en 1975, puis en masse à partir de 1987, grâce à l'ouverture de dizaines de pistes d'atterrissage clandestines, le plus souvent rudimentaires. L'accès de la région demeure aujourd'hui encore difficile. Le seul accès à la région étudiée est une des anciennes pistes ouvertes par les orpailleurs en 1988, maintenue et utilisée par les organismes chargés de l'assistance sanitaire.

2.2. Rareté des sources d'information géographique

La région de la Serra Parima est très pauvre en ressources cartographiques, surtout à des échelles fines. La seule couverture cartographique exhaustive a été menée dans les années 1970 dans le cadre de l'opération RADAM[3], utilisant un radar à synthèse d'ouverture aéroporté, et a permis la réalisation de cartes thématiques au 1 : 1 000 000 (végétation, géologie, sols, etc.), dont l'échelle se prête mal aux études locales, ou de cartes topographiques au 1 : 250 000, constituées d'un fond d'images radar enrichi de surcharges correspondant aux routes ou aux principales agglomérations. Dans la Serra Parima, ces surcharges sont quasiment inexistantes et au surplus obsolètes. Par ailleurs, le fort relief de cette région et les particularités des images radar dans la restitution de celui-ci font que la géométrie de ces données n'est pas nécessairement parfaite.

À ces sources, on peut ajouter une « carte planimétrique » à l'échelle du 1 : 250 000 des années 1980, c'est-à-dire un fond de carte sur lequel ont été localisés principaux cours d'eau et reliefs, sans garantie de précision, et une carte topographique de synthèse sur le Roraima, éditée en 1995, à l'échelle du 1 : 1 000 000.

Tous ces documents ont été scannés pour la région de Homoxi (figure 1) et insérés dans un système d'information géographique. Les principaux éléments cartographiques ont été vectorisés, formant l'une des sources d'information utilisées dans le présent travail. Il est toutefois à noter qu'un travail d'adaptation de ces données a été nécessaire pour les rendre compatibles avec les données satellitales, d'échelle plus fine. Dans tous les cas où ces dernières étaient interprétables, on a préféré leurs informations. Dans les cas où des nuages, par exemple, empêchaient l'interprétation, le fond cartographique a été utilisé en substitution.

[2] Les fonds des vallées se situent à des altitudes proches de 600 m. et les cols permettant de passer de l'une à l'autre à des altitudes moyennes de 900 m. Dans la région de Homoxi, les vallées ont une largeur la plupart du temps inférieure à 1 km, les pentes qui les cernent sont donc assez abruptes.

[3] Grande opération de cartographie thématique menée par le Brésil au milieu des années 1970 en utilisant un capteur RSO (Le Tourneau, 1999, DNPM, 1975).

2.3. Données utilisées

Au vu de la pénurie de données et du fait des objectifs de ce travail, les images de télédétection ont constitué la source d'information majeure pour réaliser la base cartographique nécessaire à l'opération. Du fait de l'importance de la couverture nuageuse dans la Serra Parima et devant les résultats obtenus en Guyane (Rudant *et al.*, 2004), l'usage de données radar a été envisagé. Il a cependant dû être abandonné car il ne permettait pas de détecter les objets qui nous intéressaient, soit en raison des altérations de la rétrodiffusion liées au relief tourmenté de la région de la région d'étude (cas des images ERS dont nous disposions), soit en raison d'une résolution trop grossière pour les objets que nous voulions étudier (cas de la mosaïque JERS du GRFM[4]).

Devant la difficulté d'usage des données radar et face à la pénurie d'information cartographique fiable, les données optiques ont constitué la principale source de notre SIG. Cependant, là encore, la forte nébulosité de la zone d'étude a fortement restreint le choix des images disponibles. Aucune ne figurait au catalogue SPOT, dont la résolution aurait pourtant été mieux adaptée au travail envisagé et à la dimension de la zone d'étude. Deux images Landsat (une TM de 1989 et une ETM+ de 1999) utilisables sur la région de Homoxi ont été trouvées (et il ne semble pas en exister plus sur la période 1986-2002 !), la première[5] dans le catalogue des images acquises par la station de Cuiabá et l'autre dans le catalogue Landsat 7[6]. Ces limitations extrêmes dues à la nébulosité – causée par la difficulté des nuages, emmenés par les vents dominants, à passer le relief de la Serra Parima (1 600 m) – sont un obstacle majeur pour l'acquisition de nouvelles données, rendant très faible la probabilité d'obtenir dans le futur des images de très haute résolution de bonne qualité.

Le géoréférencement des images a été réalisé en utilisant les coordonnées fournies avec l'image ETM+, dont l'excellente qualité a été confirmée lors des études de terrain grâce à l'acquisition de points GPS sur des lieux remarquables (pistes d'atterrissage, sites d'habitation et jardins amérindiens, anciens placers[7], etc.). L'image de 1989 a été recalée sur celle de 1999, de même les informations cartographiques ont été corrigées, lorsque cela était nécessaire, à partir de cette donnée qui a constitué notre référence.

Images acquises :
TM de Landsat 5 001/058 du 28/02/1989 ;
ETM+ de Landsat 7 001/058 du 15/11/1999.

3. TRAITEMENT DES DONNÉES DE TÉLÉDÉTECTION

3.1. Interprétation visuelle préliminaire de la présence amérindienne

Le signe le plus évident de la présence de groupes yanomami est l'existence de jardins qui se signalent soit par la présence de sols nus (au moment de la défriche), soit, beaucoup plus fréquemment, par la présence d'une végétation moins dense que celle de la forêt (cultures ou forêt secondaire), dont le comportement dans la bande 5 (forte réflexion) permet de la différencier facilement de la forêt primaire (figure 2). Ceci s'explique par la pratique de l'horticulture sur brûlis par les Yanomami, qui ne défrichent chaque année qu'une petite surface - entre 0,5 et 1 ha par famille et par an – laquelle ne reste véritablement dépourvue de végétation que le temps de la saison sèche, entre le moment de l'abattage des arbres et le temps du brûlis. Le mélange des espèces, comme le manioc, les bananiers ou la canne à sucre, plantées par petits groupes adjacents, expliquent aussi que, vue par le capteur TM de Landsat, la plus grande partie des jardins yanomami se présente comme une zone forestière de faible densité.

Les clairières restent longtemps visibles dans la mesure où la récupération du profil forestier est lente. Même une fois abandonnées, la reconquête se fait d'abord par des espèces typiques de forêt secondaires (*Cecropia* spp.) tandis que certains cultigènes subsistent, comme les bananiers (*Musa* spp.), les *pupunheiras (Bactris gasipaes)*, les taros (*Xanthosoma* sp.) et les cannes à flèches (*Gynerium sagittatum*). Dans la mesure où, du fait de l'activité agricole, toute la végétation a le même âge, la canopée reste très uniforme vue de haut, sans que certains arbres plus grands ne jettent de l'ombre sur ceux qui sont en dessous, expliquant la très forte rétrodiffusion dans la bande 5. Ce n'est qu'au bout d'une vingtaine d'années en moyenne que les espèces forestières commencent à percer au dessus des espèces de reconquête, redonnant à la canopée son aspect « moutonnant » et retrouvant dans les images TM la réponse spectrale de la forêt primaire.

[4] Voir Siqueira *et al.*, 2000.
[5] Acquise par la CCPY auprès de l'Institut brésilien d'Etudes Spatiales (INPE).
[6] Acquise par le CREDAL (CNRS/France) auprès du *Tropical Rainforest Information Center*, TRFIC, Université du Michigan.
[7] Placer : gisement alluvionnaire de métal précieux en exploitation.

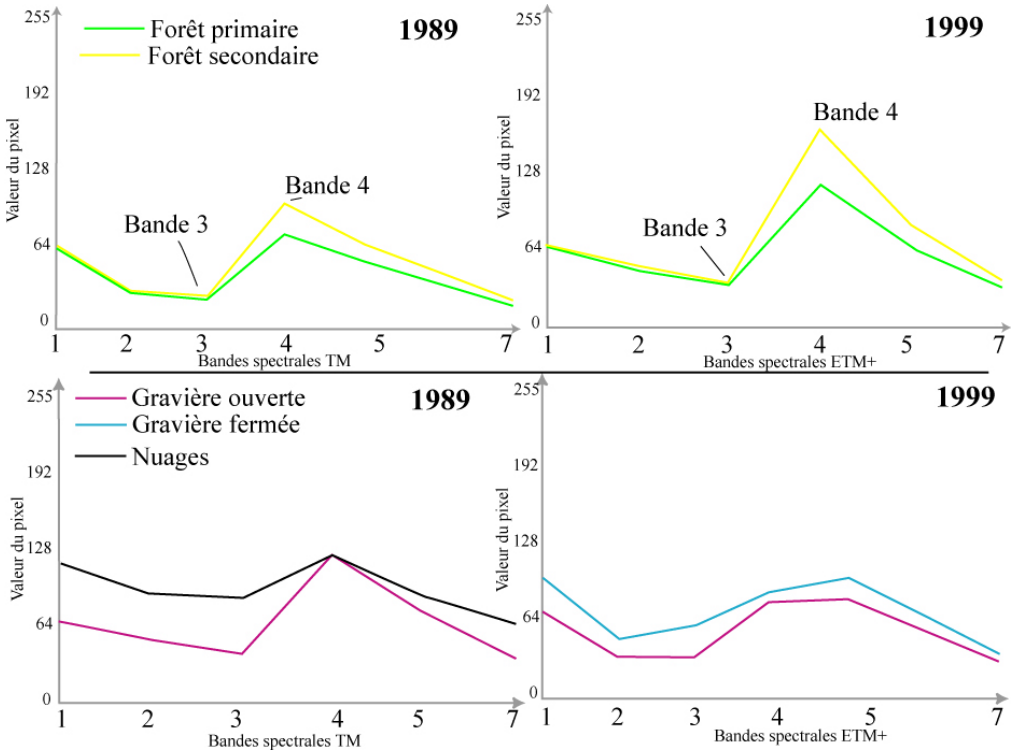


FIGURE 2 Signatures spectrales des classes les plus importantes en 1989 et 1999. *Spectral signatures of the most important classes in 1989 and 1999.*

Nous avons conduit sur la région de Homoxi une série de tests afin de déterminer l'apport des traitements proposés par Craig (1999) à l'interprétation des images. Si l'usage d'un indice de végétation afin de différencier les zones de végétation appauvries (cultures amérindiennes ou forêts secondaires associées aux placers) et les versants à l'ombre s'est révélé concluant, on peut noter que les autres traitements n'ont pas apporté beaucoup plus d'information que celle fournie par l'interprétation visuelle d'une combinaison des bandes 3, 4 et 5. Les combinaisons en vraies couleurs ont, en plus, l'avantage d'être plus facilement « lisibles » par nos collaborateurs yanomami qui commentent ainsi avec l'anthropologue les mêmes données que celles sur lesquelles le photo-interprète va travailler, facilitant l'interaction entre les disciplines sur le terrain. Par ailleurs, l'interprétation visuelle permet d'utiliser d'autres critères que les radiométries des pixels pour différencier les objets identifiés, en particulier leur forme ou leur taille, rendant bien plus efficace le travail de cartographie, au moins sur un espace réduit, et permettant de distinguer des objets équivalents en fonction de leur origine (établie par d'autres sources), par exemple de différencier les jardins yanomami des espaces de forêt secondaire recouvrant d'anciens placers.

3.2. Interprétation visuelle préliminaire de la dynamique de l'orpaillage

La méthode de prospection généralement utilisée par les orpailleurs en Amazonie consiste à déboiser les berges des rivières à exploiter, à liquéfier les accumulations d'alluvions aurifères grâce à un jet à haute pression, et à pomper le liquide ainsi obtenu pour extraire l'or par décantation puis amalgame au mercure. Dès que le rendement décroît, les berges exploitées sont abandonnées en l'état, c'est-à-dire transformées en une série de mares séparés par des monticules constitués des éléments les plus gros, graviers et cailloux. Du fait de la similarité d'aspect, nous utiliserons le terme de « gravières » (*cascalheiras* en portugais) pour les désigner, en distinguant entre « gravières ouvertes », c'est-à-dire celles dont le sol est effectivement à nu et dont l'exploitation est en cours, et « gravières fermées », c'est-à-dire celles sur lesquelles une reconquête végétale de basse densité, composée en particulier de graminées, a eu lieu (figure 6). Si les placers sont nombreux, ce qui était le cas dans notre région d'étude, le cours des rivières est lui-même modifié, créant de nouvelles zones d'inondation en saison

des pluies et posant un problème général de salubrité (prolifération des anophèles vecteurs du paludisme).

Dans les images Landsat, les activités d'orpaillage se manifestent principalement par l'apparition de sols totalement nus, à la radiométrie très caractéristique (figure 2), le type d'agriculture pratiquée par les Indiens ne dénudant que très rarement le sol complètement, et ce sur de très petites surfaces. Sur l'image de 1989, deux types de réponse spectrale de placers existent, l'une véritablement de sol nu (de couleur rose dans la composition 3, 4, 5), l'autre de sol nu couvert de graminées (couleur mauve), cette dernière pouvant être confondue avec les savanes d'altitude couvrant les plateaux voisins. Dans l'image de 1999, seule la seconde réponse apparaît, les aires de sols nus des placers étant toutes plus ou moins recouvertes d'une faible couche de graminées, ce qui confirme l'absence d'activité d'orpaillage à cette époque.

Toutefois, limiter l'impact de l'activité minière aux régions couvertes de sols nus en 1999 conduit à le minimiser considérablement. Dans les zones dans lesquelles le sol contient encore des éléments organiques, cette végétation rase devient rapidement un couvert forestier appauvri, de type forêt secondaire. Almeida-Filho et Shimabukuro (2002) remarquent ainsi dans leur zone d'étude qu'entre 1995 et 1996 le taux de reprise forestière est très important, voire « irréaliste ». Ceci est sans doute dû à la disparition rapide de tout petits placers, rapidement recouverts de végétation secondaire comme les *Cecropia*.

Pour évaluer correctement l'impact spatial de l'orpaillage, il faut en conséquence s'intéresser également à une autre « trace » de l'activité minière : l'existence de zones de forêt secondaire négligées dans l'article cité. Comme ces zones ne peuvent être distinguées sur le plan spectral des zones de forêt secondaire qui recouvrent d'anciens jardins amérindiens, ces régions ne peuvent faire l'objet d'une interprétation automatique (ou du moins nécessitent-elles une réinterprétation postérieure). L'interprète visuel peut, en effet, prendre en compte certains critères permettant de diminuer sérieusement les risques de confusion, comme la géométrie des parcelles ou leur localisation. Ainsi, des parcelles de forêt secondaire de forme irrégulière, situées le long de cours d'eau et dans une région où se trouvent des sols nus (en particulier en 1989) ont toute chance d'être d'anciens placers. Pour une interprétation réellement exacte, seul un travail de terrain comme celui que nous avons mené à Homoxi, combinant reconnaissance des aires concernées et collecte d'information auprès des populations locales, permet de distinguer jardins et placers. On notera, toutefois, que dans certains cas, l'ouverture de placers ou de pistes d'atterrissage sur le site de jardins yanomami rend presque impossible cette distinction, et donc l'estimation des aires affectées par l'un ou l'autre, comme c'est le cas dans la région de Homoxi où l'on sait que les pistes « Macarão » et « Julio do Blefe » et placers adjacents se sont superposés à des jardins et des habitations yanomami. Seul un suivi diachronique entre 1987 et 1991, avec un pas de temps très faible (par exemple tous les six mois), permettrait d'étudier précisément de tels cas ; ce qui est malheureusement impossible du fait de la rareté des données, comme nous l'avons souligné plus haut.

3.3. Utilisation de classifications supervisées

Malgré les avantages de l'interprétation visuelle pour l'explication du contexte, nous avons également eu recours à une classification dirigée, à partir de polygones choisis visuellement, sur chacune des deux images (figure 3) de manière à pouvoir les comparer par la méthode des matrices de confusion. Les autres méthodes de comparaison automatique, en particulier celles basées sur la comparaison des indices de végétation, n'ont pas été retenues car nos deux images ont été prises l'une en début et l'autre en fin de saison sèche, décrivant donc des états fort différents de la végétation. Elles proviennent, de plus, de deux instruments différents et leur calibrage radiométrique s'avérait très délicat.

Dans la mesure où les deux images dont nous disposons ne sont pas totalement sans nuages (4, 5 % de nuages sur l'image de 1989 et 5 % en 1999, *cf.* tableau 1), il a été nécessaire de réserver des classes pour décrire cet ennuagement. Initialement, deux classes avaient été prévues, l'une pour les nuages et l'autre pour leurs ombres. Il est rapidement apparu, en raison de l'importance d'un certain nombre de confusions, qu'il était nécessaire d'en rajouter deux. L'une concerne la frange des nuages qui, particulièrement en 1999, est souvent confondue avec des gravières, rendant très incertain le résultat de la classification. Après l'ajout de cette classe, les confusions ont été très largement réduites (divisant par deux l'aire des gravières détectées), mais quelques pixels demeurent mal classés, ce qui est visible sur le résultat graphique, bien que leur influence sur les résultats quantitatifs soit négligeable. Une autre source d'erreur gênante fut la confusion par l'algorithme de classification de vastes aires de forêt primaire couvertes de légères brumes, avec des forêts secondaires. Une fois la classe idoine créée, le problème a été résolu, au prix d'une augmentation importante des régions classées comme « nuages ».

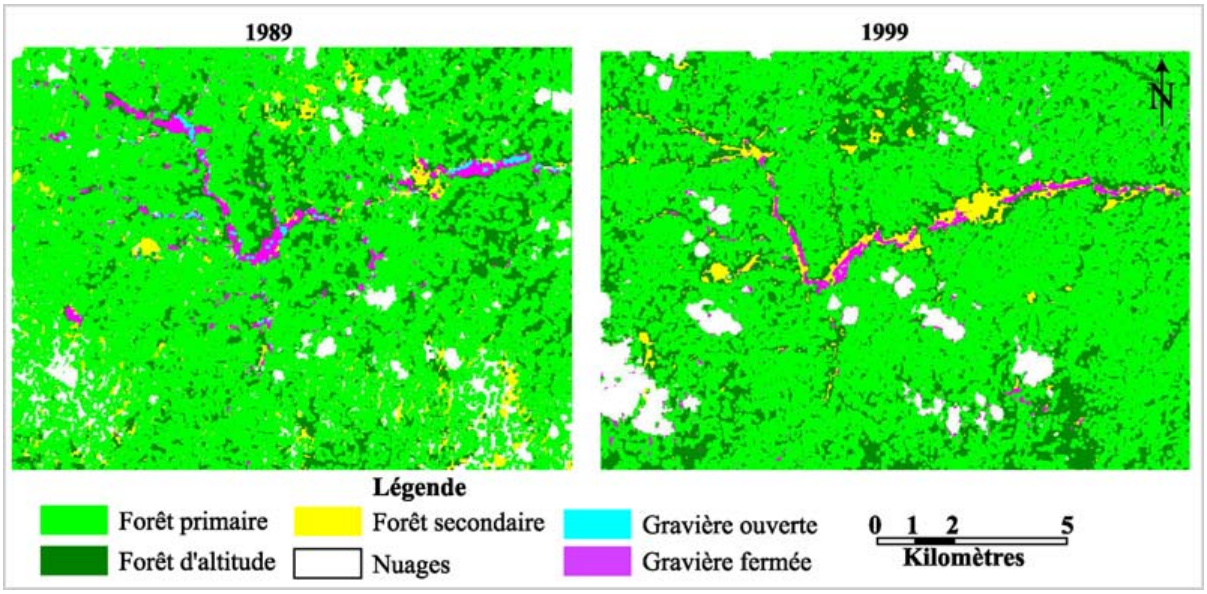


FIGURE 3 Résultats de la classification automatique sur la zone d'étude en 1989 et en 1999. *Results of the automatic classification over the study area in 1989 and 1999.*

Tableau 1 Résultats des classifications sur la zone de Homoxi et évolution des classes entre 1989 et 1999. *Classification results on Homoxi's zone and class evolution beetwen 1989 to 1999.*

1999 \ 1989	Forêt (ha)	Forêt d'altitude (ha)	Forêt secondaire (ha)	Gravières ouvertes (ha)	Gravières fermées (ha)	Nuages et ombres (ha)	TOTAL 1999 (ha)
Forêt	12 844	1 952	123	13	82	545	15 559
Forêt d'altitude	2 677	913	390	16	137	270	4 403
Forêt secondaire	142	79	140	18	153	19	551
Gravières	94	22	20	43	77	13	269
Nuages et ombres	868	65	26	2	12	152	1 125
TOTAL 1989	16 625	3 031	699	92	461	999	

Au total, 8 et 9 classes ont été identifiées pour diriger la classification par maximum de vraisemblance effectuée sur les images de la région de Homoxi : forêt primaire, forêt secondaire, gravières ouvertes (seulement en 1989), gravières fermées, forêt d'altitude, nuages, bordure de nuages, brumes et ombres des nuages. Le résultat a ensuite été nettoyé avec un filtre adaptatif (figure 3) pour retirer les pixels isolés et les classes liées à la nébulosité ont été fusionnées. Les deux classifications ont alors été comparées automatiquement pour voir quelle proportion de pixels de chaque classe de 1989 se trouvait dans une classe équivalente en 1999. Ces comparaisons chiffrées sont légèrement biaisées par la question de l'ennuagement et nécessitent des précautions lors de l'interprétation. En effet, environ 5 % de la zone d'étude de chacune des deux images n'est pas exploitable, et moins de 15 % de ces nuages sont à la même place dans les deux cas. Il faut donc bien prendre garde, lors des réflexions sur les évolutions, à retenir qu'une partie des régions a pu ne pas être détectée en raison des nuages, ce qui ne veut pas dire qu'elle n'existait pas. Nous indiquons donc toujours la proportion des classes recouvertes de nuages afin de bien cadrer l'interprétation.

3.4. Cartographie et réalité du terrain

Les données des classifications ont été étalonnées à partir des opérations de réalité terrain menées lors de la recherche menée à Homoxi. Pas moins de 150 points GPS ont été relevés (figure 4), détaillant les milieux naturels, la localisation des pistes d'atterrissage, des principaux placers et jardins yanomami. Un survol aérien à basse altitude de la zone d'étude a également été réalisé. Parallèlement, l'enquête ethnographique menée sur l'usage des ressources locales a abouti à la réalisation, par les Yanomami,

de cartes détaillant leurs connaissances géographiques et écologiques sur la zone. Les tirages d'images satellite à l'échelle du 1 : 200 000 et 1 : 100 000 ont également été présentés à plusieurs collaborateurs yanomami, qui ont rapidement pu s'y localiser à partir du réseau hydrographique et de quelques points de relief, permettant l'enregistrement d'une toponymie de la zone dans leur langue, dont quelques éléments sont présentés ici dans les cartes de mouvements migratoires. Au final, c'est une véritable ethnocartographie qui ressort de ce travail, rendant possible une compréhension approfondie de l'occupation de l'espace par les groupes yanomami de la région de Homoxi.

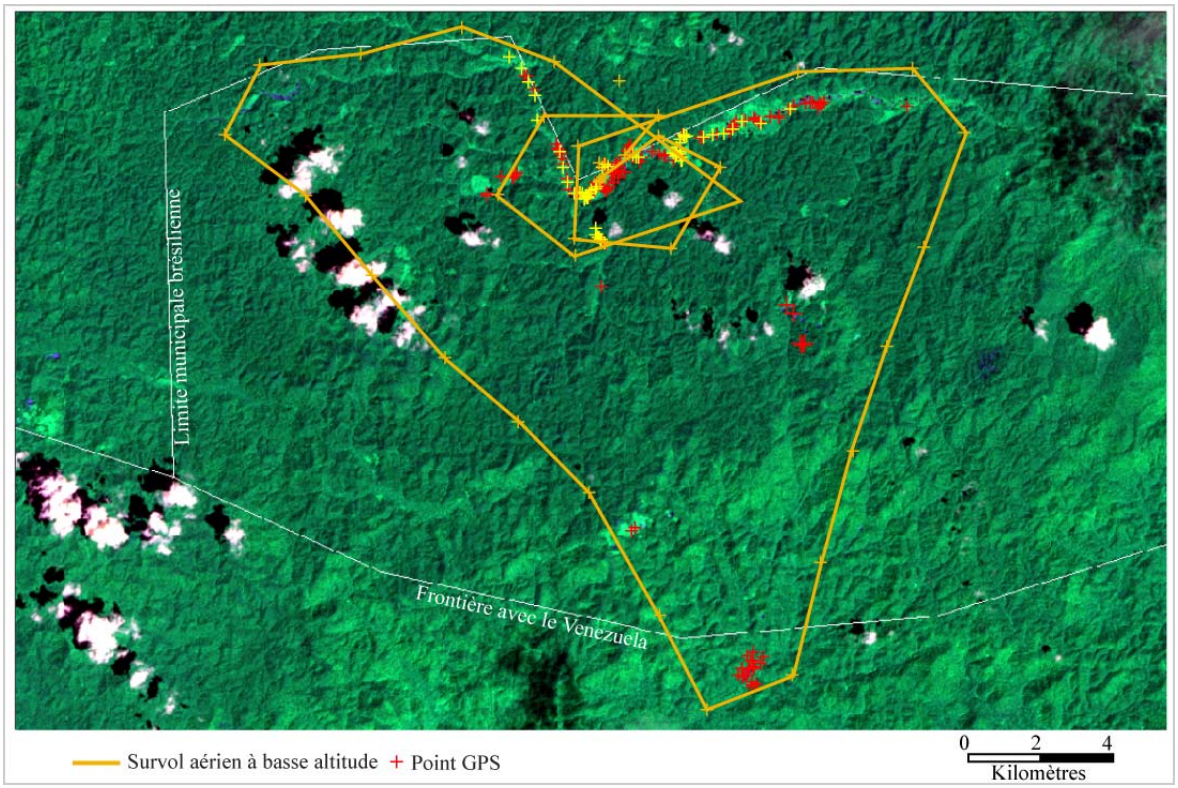


FIGURE 4 Survol aérien effectué sur la région et points GPS relevés. *Aerial survey carried out over the region and acquired GPS points.*

4. RÉSULTATS

4.1. Régions affectées par les placers et dynamique de ceux-ci

La comparaison entre les deux scènes que nous possédons permet d'identifier trois stades d'état du sol liés à l'orpaillage.

Le premier stade est celui du placer en activité, qui apparaît en rose vif sur les images. Le sol est mis à nu et dépourvu de toute couverture végétale détectable par le satellite, ce qui lui donne une réponse facilement identifiable. C'est probablement le stade pour lequel le moins de confusion est possible, puisque l'agriculture yanomami ne laisse quasiment jamais de sol aussi bien « nettoyé » de toute végétation, et que les placers se situant le long des berges des fleuves, dont l'humidité est bien plus élevée que celle des jardins, rajoutant un élément discriminant dans les bandes 1 et 2. On peut noter que les plus petits placers, périphériques aux grands cours d'eau, ne dégageant que le lieu exact d'une exploitation aurifère à petite échelle[8] (au maximum quelques centaines de mètres carrés), échappent à la détection puisqu'un

[8] Ces placers périphériques sont en général ouverts par des orpailleurs peu fortunés qui ne sont pas insérés dans le circuit des placers mécanisés et associés à des pistes d'aviation. Ils se multiplient autour des filons les plus rentables comme autant de tentatives de profiter de l'aubaine, à distance respectueuse néanmoins des gardes armés que les « propriétaires » des grands placers utilisent. Il peut également, dans d'autres cas, s'agir de placers de prospection dans lesquels on n'a rien trouvé d'assez intéressant.

pixel d'une image Landsat équivaut à environ 900 m². Ils se trouvent ainsi confondus dans les autres types, voire dans la forêt primaire pour les plus petits.

Le second stade est constitué par les placers abandonnés qui voient un début de reconquête végétale, essentiellement par des graminées et quelques arbustes. Ce stade de végétation est transitoire, il prépare vraisemblablement la reconquête forestière en enrichissant le sol en élément nutritifs et en créant les premières zones ombragées. Pour autant, en fonction de l'état du sol (parfois complètement minéral après une activité d'orpaillage mécanisé) et de la taille des aires à reconstituer, la régénération peut s'avérer extrêmement longue. Ainsi, dans l'image de 1989, on peut remarquer certaines zones déjà abandonnées et transformées en gravières colonisées (soit une transformation rapide puisque les premiers placers ne sont pas antérieurs à 1988). Les évolutions sont donc contrastées, comme le montre l'exemple de la figure 5, sur la zone d'orpaillage autour de la piste d'atterrissage « Pedro Jacarandá » (située en limite de la région de Homoxi, mais particulièrement représentative de cette complexité).

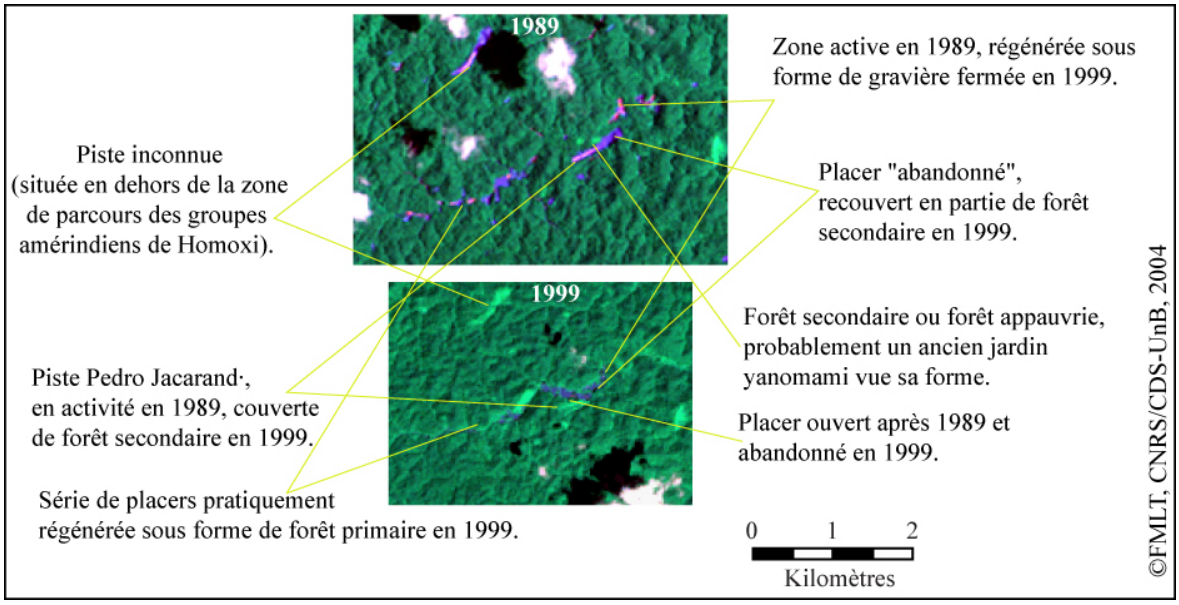


FIGURE 5 Dynamique de régénération des placers autour de la piste Pedro Jacarandá. *Dynamics of the regeneration of the placers surrounding the Pedro Jacarandá trail.*

Le troisième stade des aires travaillées est celui qui révèle l'implantation d'une forêt secondaire, déjà évoquée précédemment.

Dans la région de Homoxi, on dénombre 93 ha de gravières ouvertes et 461 ha de gravières fermées pour 1989, ainsi que 271 ha de gravières fermées en 1999 (tableau 1), soit un fort recul entre les deux dates, ce qui correspond à la chronologie des activités minières établies à partir des témoignages de terrain. On remarque aussi que cette région a bien été la plus active sur le plan de l'orpaillage puisqu'elle concentre 75 % des gravières ouvertes, ou des placers en cours d'exploitation enregistrés sur la région Homoxi en 1989. Mais comme nous l'avons indiqué, les 271 ha détectés en 1999 ne correspondent pas uniquement à des régions déjà exploitées en 1989. Seuls 120 ha sont dans ce cas, alors que 94 ha proviennent de forêt primaire. L'activité d'orpaillage s'est donc poursuivie après 1989, avant de refluer par la suite, ce qui là encore rejoint la chronologie établie par d'autres sources (bibliographie, témoignages). Un autre indice est l'absence en 1989 de pistes que nous avons formellement identifiées sur le terrain, et qui ont donc été ouvertes par la suite : si les pistes « Pupunha », « Jeremias », « Chimarão », « Baiano Formiga », « Malária » et « Pedro Jacarandá » sont très visibles, on ne trouve en revanche pas de trace de « Pau Grosso », « Macarão » ou « Julio do Blefe ».

4.2. Images Landsat et peuplement yanomami

L'interprétation des images a montré qu'il était relativement aisé de détecter les jardins yanomami. Cependant, ceux que nous repérons sur l'image représentent plusieurs générations de culture et il est difficile de relier leurs surfaces à la densité du peuplement local. Ainsi dans la région de Homoxi (au sens large), on ne dénombre que trois commu-

nautés (*Tirei*, *Xere u* et *Yaritha*), tandis que l'on détecte sept aires de défriche-brûlis. Chaque communauté possède donc plusieurs sites de culture (aire actuelle et aires correspondant aux anciennes localisations du groupe qui jouent encore un rôle dans l'approvisionnement (arbres fruitiers anciens et autres plantes utiles). Il est donc impossible de se fier au nombre de clairières ou à leurs tailles cumulées pour estimer le niveau de population de la zone. Par ailleurs, il faut souligner que dans la région de Homoxi, une partie des forêts secondaires doit être associée à l'activité des chercheurs d'or, ce qui sera analysé plus loin.

Autre facteur compliquant l'évaluation de la population amérindienne locale, il n'a pas été possible de repérer les habitations collectives yanomami, car les communautés de la région de Homoxi (des hautes terres, d'une façon générale) sont constituées de plusieurs petites maisons collectives plurifamiliales coniques (figure 6), de trop petite taille pour pouvoir être détectées en tant qu'objet particulier sur les images de haute résolution[9]. Nous rejoignons ici Mac Gwire *et al.* (1996), qui soulignaient l'importance d'images de résolution inférieure à 10 m pour rendre possible ce type de repérage.

Les résultats des interprétations sont discutés dans la section 5. Il est certain que la méthode visuelle, si elle devait être appliquée sur un jeu de données plus important, poserait sans doute des problèmes en raison du temps qu'elle demande et également en raison des différences d'interprétation pouvant survenir entre deux opérateurs différents ou bien entre des interprétations de la situation à deux dates différentes. Dans notre cas, les cartes produites se sont avérées cependant bien adaptées à la réalité que nous voulions décrire et ont toujours été confirmées lors des études de terrain.

4.3. Essai de calcul de la régénération naturelle

La comparaison entre l'image de 1989 et celle de 1999 permet de faire quelques déductions sur la régénération naturelle, tout en conservant à l'esprit les limitations signalées plus haut et les difficultés présentées par forêts secondaires, dont certaines ont pour origine l'orpaillage et d'autres l'activité des Amérindiens. Les calculs globaux de régénération seront donc à prendre avec beaucoup de recul, constituant plus une indication sur la capacité de la forêt à se reconstituer après un défrichement que sur la réaction de ce milieu naturel à la seule agression des chercheurs d'or. Enfin, ces indications doivent être confrontées aux inventaires botaniques effectués dans le cadre de l'étude sur Homoxi afin de prendre tout leur sens. En effet, la télédétection ne mesure que la densité végétale et la géométrie du couvert dans un lieu donné. Elle ne permet donc pas de faire de différences fines entre une forêt secondaire ancienne (i.e. dense et de canopée diversifiée en hauteur, mais d'une diversité restreinte en terme d'espèce) et une véritable forêt primaire compre-nant des spécimens de plusieurs centaines d'années.

En ayant à l'esprit ces limitations, il reste que la télédétection nous apporte de nombreux éléments sur l'activité aurifère dans la région et sur la reprise végétale. On remarque ainsi que la majorité des gravières de 1989 de la région de Homoxi n'est plus classée dans cette catégorie en 1999 (tableau 1), sans être pour autant dissimulée par des nuages : 79 % sont classées dans une autre catégorie et 2 % sont sous des nuages. Plus des trois quarts des gravières ont donc changé de catégorie, se trouvant assimilées à des formations forestières : 17 % sont assimilées à de la forêt primaire, 30 % à de la forêt secondaire et 27 % à de la forêt d'altitude. Dans la mesure où les deux dernières catégories sont très proches, ce qui amène de nombreuses confusions visibles à l'œil nu sur les résultats graphiques des classifications, on peut penser qu'une proportion importante des forêts d'altitude de 1989 sont des forêts secondaires. On peut donc en déduire que dix ans après, près de 60 % des placers sont régénérés en forêt secondaire, 17 % sont retournés à un stade de forêt primaire (sans doute les plus petits dissimulés au milieu de la forêt) et 21 % sont encore recouverts de végétation rudimentaire, à l'évidence les plus intensément exploités. Logiquement, ce sont près de 50 % des gravières dites « ouvertes » en 1989 qui sont encore classées en gravières en 1999 contre seulement 17 % des gravières dites « fermées » (figure 7).

La régénération naturelle semble donc relativement efficace sur un intervalle de dix ans. S'il demeure encore environ 270 ha de formations ouvertes en 1999, une bonne partie provient d'ouvertures relativement récentes qui devraient se cicatriser en quelques années. Ce sont plus les 120 hectares qui subsistent ouverts dix ans après (dont 80 se trouvent aux abords immédiats de la piste de Homoxi) qui doivent faire l'objet d'un effort spécifique de réhabilitation, la nature semblant, en ce cas, éprouver quelques difficultés.

[9] Les vastes auvents circulaires sont plutôt une caractéristique des Yanomami occidentaux, récemment empruntée à la communauté *Tirei*.



FIGURE 6 Photos de la zone d'étude. *Photographs of the study area.*

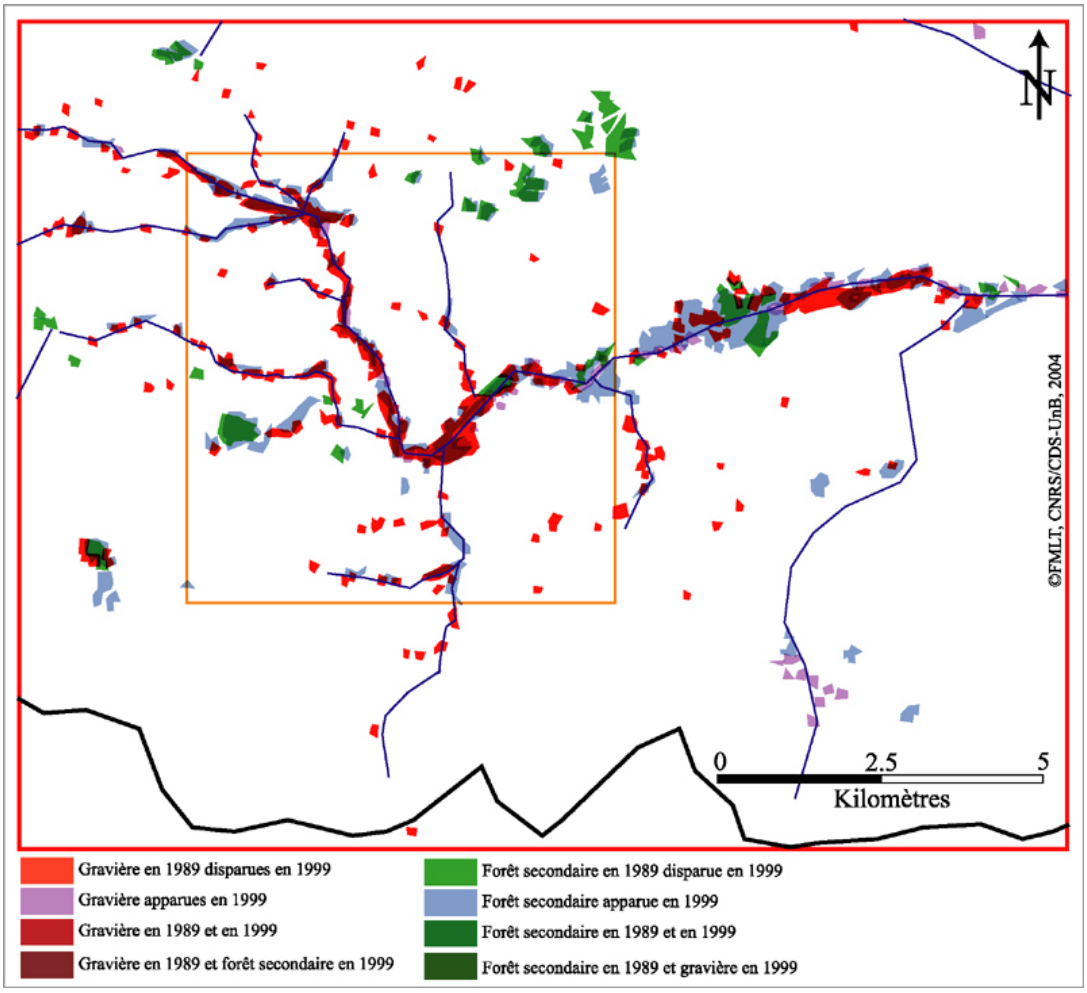


FIGURE 7 Dynamique des placers et de la régénération naturelle dans la région d'étude. *Dynamics of the placers and the natural regeneration in the study area.*

5. DISCUSSION DES RÉSULTATS

5.1. L'aire réellement affectée par l'activité des chercheurs d'or et ses conséquences

D'une manière générale, les résultats obtenus confirment la chronologie de l'activité des chercheurs d'or – pic en 1989 et reflux jusqu'à une absence totale en 1999 – et la dynamique de ceux-ci puisque les changements de catégorie des aires de placers entre 1989 et 1999 montrent que les rives exploitées le sont durant une courte période avant d'être abandonnées, les orpailleurs s'attaquant alors à un autre site. Il est difficile cependant de calculer exactement l'aire totale affectée par l'activité minière dans la mesure où les deux images sont trop distantes dans le temps, que les forêts secondaires qui apparaissent le long des fleuves sont parfois également dues à l'agriculture yanomami, et que les nuages compliquent la tâche.

On peut néanmoins estimer que l'aire totale affectée par les chercheurs d'or dans la région de Homoxi est d'au moins 700 ha, ceci sans compter les forêts secondaires. Bien que ce chiffre soit relativement faible (il représente moins de 4 % de la surface de la région considérée), il représente néanmoins une atteinte très sérieuse à l'environnement. En effet, les placers sont localisés exclusivement le long des cours d'eau. C'est donc un ensemble de ressources halieutiques très importantes (pêche, collecte) pour les Yanomami qui a été mis à mal. Par ailleurs, la pollution générée sur place (boues, détritus, mercure) a pu être disséminée dans tout le bassin du rio Branco en aval. Enfin, sachant que les placers comptaient en général 4 hommes pour travailler environ 100 mètres carrés, ces chiffres donnent une idée du nombre très important d'orpailleurs qui ont fréquenté la région, dont le nombre a pu atteindre

7 000 personnes simultanément. On notera que cette évaluation est assez proche des chiffres donnés par Almeida-Filho et Shimaburuko (2002) dans leur travail sur le plateaux de Tepequém, zone de taille comparable. On imagine que les conséquences écologiques, épidémiologiques et sociales de la présence d'un tel contingent aient été très importantes sur une population amérindienne encore isolée.

5.2. L'occupation amérindienne dans la région

Comme il a été dit plus haut, il est très difficile de relier la quantité de forêt secondaire à l'importance des effectifs des communautés yanomami dans une région donnée, puisque chacune exploite au même moment plusieurs jardins circonvoisins à des stades de culture différents, et qu'elles peuvent, de plus, disposer de zones agricoles plus distantes. Cela dit, l'apparition régulière de nouvelles forêts secondaires (puisque les aires mises en culture chaque année acquièrent rapidement une réponse spectrale de forêt secondaire) peut donner une idée du dynamisme de la présence amérindienne dans une région donnée. Dans la région de Homoxi, on constate que la quantité de forêt secondaire qui apparaît est limitée : 142 ha classés comme forêt primaire en 1989 apparaissent convertis en forêt secondaire en 1999 (tableau 1). Si l'on tient compte du fait qu'une partie de ces forêts est due à l'activité des orpailleurs, on peut en déduire, sans doute, une certaine faiblesse de l'activité agricole des Yanomami de la région de Homoxi, au moins en comparaison avec les surfaces que nous avons pu mesurer plus récemment[10] dans d'autres régions moins affectées. À partir de ces données, on aurait pu s'attendre à une surface utilisée pour l'agriculture d'environ 200 ha sur 10 ans pour les 300 personnes des communautés de *Tirei*, *Xere u* et *Yarɨtha*. Selon toute probabilité, le fait que les surfaces mesurées à Homoxi soient inférieures est essentiellement attribuable à la relation de dépendance alimentaire (riz, haricots rouges, biscuits, conserves) entretenue envers les orpailleurs (puis la structure d'assistance sanitaire) sur la période considérée, durant laquelle des épidémies récurrentes (paludisme, infections respiratoires) ont peu à peu décimé la plupart des personnes d'âge mûr sur lesquelles reposait la responsabilité des travaux agricoles.

La détection des jardins a également permis d'utiliser les images pour établir les trajectoires migratoires des groupes yanomami de la région et tenter de reconstituer leurs itinéraires et zones de parcours à un moment donné. Pour ce faire, nous avons longuement dialogué sur les images avec nos collaborateurs yanomami, et ceux-ci ont rapidement pu reconnaître et nommer leurs zones de culture, actuelles ou anciennes, dans une région plus vaste que notre région d'étude de Homoxi (tableau 2 et figure 8). Leur chronologie, confrontée avec les situations données par les images, s'est avérée cohérente. Il est ainsi possible de reconstituer l'itinéraire de la communauté de *Tirei*, de la montagne de Xitei vers leur implantation principale actuelle près de Homoxi**,** en passant par les étapes de *Tirei*, *Potomatha* et *Thoothothopi* (figure 8). On peut également reconstituer la chronologie de l'itinéraire des membres de la communauté de *Yarɨtha*. Ceux-ci ont longtemps occupé la grande roça bien visible de *Paxokɨkɨ u* (proche de la rivière *Hoomoxi u*), et l'on constate en 1989 l'ouverture de nouvelles cultures dans la zone dite *Wakaxëno u* (les premières clairières apparaissent et il n'y a pas encore de forêt secondaire), événement effectivement enregistré dans les entretiens. En 1999, on ne trouve plus que de la forêt secondaire à *Wakaxëno u* et *Paxokɨkɨ u*, alors que le lieu dit *Wɨramapi u* apparaît comme très actif. Le lieu dit *Yarɨtha*, plus au sud, est à son tour en train d'être ouvert (une clairière d'environ 20 ha), et nous savons qu'en 2002, il constitue la résidence principale de ce groupe. En ce qui concerne le groupe *Tirei*, on note l'absence d'activité à *Xere u* en 1989 alors qu'en 1999, on y constate des premiers signes d'ouverture et quelques taches de forêt secondaire probablement issues de jardins récemment abandonnés. Ces données confirment les hypothèses proposées plus haut sur la relative faiblesse de l'activité agricole des groupes de Homoxi entre 1990 et 1998, dans la mesure où elles indiquent clairement une augmentation considérable des surfaces utilisées à partir de 1999.

Les éléments obtenus sur l'occupation yanomami de la région, s'ils ne peuvent que très difficilement permettre la production d'une estimation de la population (point sur lequel nous ne suivons pas la démonstration de Craig et Chagnon, 2000), sont toutefois très importants pour la clarification des chronologies et la détermination des itinéraires migratoires. Ils constituent donc de précieux auxiliaires pour l'analyse des entretiens réalisées par les anthropologues.

[10] Dans le cadre d'un projet de recherche à long terme financé par une « Action Concertée Incitative » du Ministère français de la Recherche, les auteurs de ce travail effectuent une série de relevés sur l'usage que diverses communautés yanomami font de leur espace. Les premières missions effectuées ont permis de relever des informations chiffrées sur les surfaces utilisées pour la chasse et l'agriculture dans le cas de communautés des basses terres (région de Demini).

TABLEAU 2 Tailles des jardins récents et des forêts secondaires sur jardin (*capoeiras*) appartenant aux groupes de la région de Homoxi et identifiés sur l'image de 1999. *Size of recent gardens in secondary forests in garden (capoeiras) belonging to groups of the Hoxomi area, identified in the 1999's image.*

Lieu	Jardins récents (ha)	***Repousses secondaires (ha)***
Hoomoxi yano *ou* ***Wakaxëno u***		26
Thoothothopi		27,4
Potomatha		4,1
Tirei u		35,3
Xere u 1		12,6
Xere u 2	9,2	13
Yaritha	20,4	
Wïramapi u	9,1	46,5
"Pau Grosso"		5,3
"Macarrão"		??
Apiahipi u		3,9
Waitaropi u		25,1

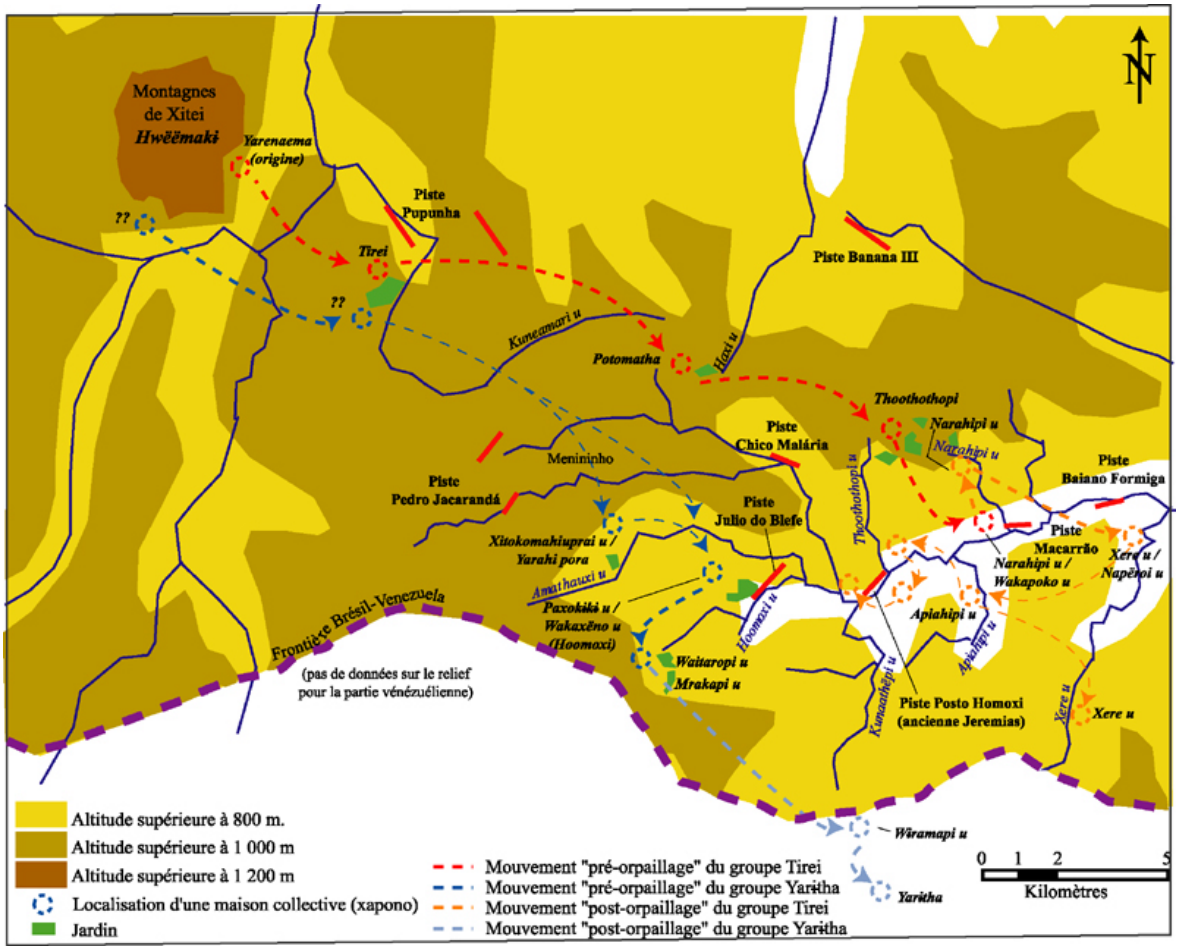


FIGURE 8 Reconstitution de l'itinéraire migratoire des groupes yanomami de la zone de Homoxi. *Reconstitution of the migratory itinerary of the Yanomami groups of the Homoxi area.*

6. CONCLUSION

Bien que les conditions soient extrêmement difficiles, en particulier à cause du relief et de l'ennuagement, les données de télédétection ont fourni à notre étude pluridisciplinaire de précieuses sources d'information, tant au travers d'interprétations manuelles qu'au travers de classifications dirigées. Elles ont permis de décrire de manière objective les dégradations environnementales évoquées par les groupes yanomami de Homoxi lors des entretiens ethnographiques et d'en réaliser une cartographie, laquelle est actuellement utilisée pour mettre en place des actions de récupération environnementale, basées, en particulier, sur la reconquête des espaces de « gravières » par des plantations d'arbres fruitiers[11].

Les résultats obtenus ont également apporté de nouveaux éléments quantitatifs sur l'usage de l'espace par les communautés yanomami, données qui permettent de reprendre sur des bases plus fiables les études anthropologiques sur le sujet. De nouvelles recherches de terrain, plus particulièrement centrées sur cette question, sont prévues au cours des prochaines années afin de tenter d'en renouveler l'approche.

Ainsi, au-delà de la question de l'orpaillage, la fructueuse méthodologie développée lors de cette étude pour établir la description des parcours migratoires et l'usage des ressources locales par les communautés amérindiennes de Homoxi ont permis aux auteurs de cet article de proposer un nouveau projet de « cartographie yanomami », aujourd'hui en cours de réalisation[12], dont l'un des objectifs est de donner aux intéressés des outils pour contrôler et défendre leur territoire contre de futures et malheureusement toujours probables invasions (orpailleurs, colons, grands éleveurs, exploitants forestiers, etc.).

Remerciements

Les auteurs remercient vivement la *Comission Pró-Yanomami* (CCPY) pour l'aide logistique et matérielle qu'elle a apportée à cette étude, *The Nature Conservancy* (TNC) pour le soutien financier et la Fondation Nationale de l'Indien (FUNAI) pour les autorisations de recherches délivrées en un temps record.

[11] Cette action constitue le second volet du projet financé par la TNC et mis en place par le Programme environnemental de la CCPY.

[12] Cf. note 9. Ce projet comprend un volet parallèle à l'analyse de l'usage de l'espace qui consiste à former de jeunes professeurs yanomami au GPS et à l'interprétation d'images satellite afin qu'ils puissent utiliser ces outils pour la défense de leur territoire.

Les auteurs remercient également les lecteurs anonymes de la revue Télédétection pour l'aide apportée à la mise en forme de cet article.

Références

Albert, B. (1990) Développement Amazonien et Sécurité Nationale: les Indiens Yanomami face au projet 'Calha Norte'. Ethnies, n°11-12, p.116-127.

Albert, B. (1994) Indiens Yanomami et chercheurs d'or au Brésil. Le massacre de Haximu. Journal de la Société des Américanistes, t. 80, pp. 250-57.

Albert, B. (2003) Vivre de la forêt. In Albert, B. et Kopenawa D. : Yanomami. L'esprit de la forêt. Actes Sud-Fondation Cartier pour l'Art Contemporain, Paris, 250 p.

Almeida-Filho, R. and Shimabukuro, Y.E. (2002) Digital Processing of Landsat-TM Time Series for Mapping and Monitoring Degraded Areas Caused by Independent Gold Miners, Roraima state, Brazilian Amazon. Remote Sensing of Environment, n°79, pp. 42-50.

Cleary, D. (1990) Anatomy of the Amazon Gold Rush. MacMillan, London.

Craig, N. (1999) Discussion of Image Processing Methods Applied to Multispectral Landsat 5 Thematic Mapper (TM) Data for Identification of Yanomamö Settlements. Publication en ligne (http://titicaca.ucsb.edu/~craig/research/tm_paper2/), 71 p.

Craig, N. (s.d.) Strategies for using multispectral Landsat Thematic Mapper data for the investigation of Indigenous Amazonian Horticulturalist Settlement Patterns. Publication en ligne (http://titicaca.ucsb.edu/~craig/research/tm_paper/TM paper.htm).

Craig, N. and Chagnon, N. A. (2000) Cartographic Analysis of Yanomamö Settlements Using Space Borne Optical Imaging Systems. 65th Annual SAA meeting in Philadelphia.

DNPM (Departamentento Nacional de Produção Mineral) (1975) Projeto RADAMBRASIL, volume 8, Folha NA.20 Boa Vista e parte das folhas NA.21 Tumucumaque, NB.20 Roraima e NB.21, IBGE, Rio de Janeiro, 428 p.

Houghton, R. A., D. L. Skole, C. A. Nobre, J. L. Hackler, K. T. Lawrence, and W. H. Chomentowski (2000) Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. Nature, 403, 301– 304.

Le Tourneau, F.M. (1999) Étude des paysages du littoral amazonien à partir d'images de radar à synthèse d'ouverture. Thèse de Doctorat, Université de Marne-la-Vallée.

McGwire, K., Chagnon, N.A. and Brewer Carías, C. (1996) Empirical and Methodological Problems in Developing a GIS Database for Yanomamö Tribesmen Located in Remote Areas. In Anthropology, Space, and Geographic Information Systems, Aldenderfer, M. and Maschner, H.D.G. (eds.), Oxford University Press, Oxford.

MacMillan, G. (1995) At the End of the Rainbow ? Gold, Land and People in the Brazilian Amazon. Colombia University Press, New York, 199 p.

Rudant, J.P., Kouamé, J, Mascret, A., et Classeau, N. (2004) Continuité des programmes SAR/ERS et ASAR/ENVISAT pour la mise à jour cartographique en contexte tropical. 2004 ENVISAT/ERS Symposium, Salzburg, actes à paraître.

Sgrenzaroli, M., A. Baraldi, H. Eva, G. de Grandi and F. Achard (2002) Contextual clustering for image labeling: an application to degraded forest assessment in LANDSAT TM images of the Brazilian Amazon. IEEE T. Geos. Remote Sensing TGARS, 40: 1833-1848.

Siqueira, P., S. Hensley, S. Shaffer, L. Hess, G. McGarragh, B. Chapman, and A. Freeman (2000) A continental scale mosaic of the Amazon Basin using JERS-1 SAR, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 38:2638–2643.

Remerciements

Nous remercions Daniel Bossé, Hervé Dandjinou et Minh-Nghia Nguyen pour leur support en informa-

tique ou en SIG, Pierre Lanciault pour l'utilisation de son logiciel ainsi que le Centre canadien de télédétection pour l'accès aux données et sa contribution financière, ce qui a permis de présenter le projet et ses résultats lors des colloques ADRO.

Références

Adams, F.T. and Lovell, W. (1984) Mapping prediction of limestone bedrock problems. Transportation Research Record, n° 978, p. 1-5.

Beck, B.F. (1988) Environmental and engineering effects of sinkholes - the process behind the problems. Environmental Geology and Water Sciences, vol. 12, n° 2, p. 71-78.

Brook, G.A. and Allison, T.L. (1983) Fracture mapping and ground subsidence susceptibility modelling in covered karst terrain : Dougherty County, Georgia. *In* P.H. Dougherty (réd.). Environmental karst. Editions GeoSpeleo, Cincinnati, p. 91-108.

Chassé, P.-A. (1999) Logiciel personnel DCOMPTE. Département de géographie et télédétection, Université de Sherbrooke, Sherbrooke.

Côté, D. Dubois, J.-M.M. et Gwyn, Q.H.J. (1990) Les lacs mystérieux de l'ile d'Anticosti. GEOS, vol. 19, nº 3, p. 20-25.

Dubois, J.-M., Gratton, D. et Marceau, D. (1984) Les régions naturelles du Québec : L14, l'île d'Anticosti. Département de géographie, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, 33 p.

Dubois, J.-M., Gwyn, H., Bigras, P., Gratton, D., Painchaud, A., Perras, S. et St-Pierre, L. (1990) Géologie des formations en surface, île d'Anticosti, Québec. Commission géologique du Canada, Ottawa, carte 1660A, carte au 1 : 250 000.

Dubois, J.-M., Gwyn, H., Gratton, D., Painchaud, A., Perras, S. et Cadieux, D. St-Pierre, L. et Bigras, P. (1985) Géologie des formations en surface et géomorphologie de l'île d'Anticosti, Québec. Commission géologique du Canada, Ottawa, dossier public n° 1132, cartes au 1 : 50 000.

Ford, D. and Williams, P. (1989) Karst geomorphology and hydrology. Unwin Hyman, London, 601 p.

Forth, R.A., Butcher, D. and Senior, R. (1997) Hazard mapping of karst along the coast of Algrave, Portugal. *in* B.F. Beck and J.B. Stephenson (eds) The engineering geology and hydrogeology af karst terranes. Proceedings of the third multidisciplinary conference on sinkholes and the engineering and environmental impacts of karst, Springfield, Missouri, 6-9 April 1997, A.A. Balkema, Rotterdam, p. 401-407.

Grenier, A. (1993) Évolution littorale et impact des structures artificielles aux Îles-de-la-Madeleine, golfe du Saint-Laurent, Québec. Mémoire de maîtrise, Département de géographie et télédétection, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, 275 p.

Lanciault, P. (1997) Logiciel personnel TAXI. Département de géographie et télédétection, Université de Sherbrooke, Sherbrooke.

Long, D.G.F. and Copper, P. (1994) The late Ordovician – early Silurian carbonate tract of Anticosti Island, Gulf of St. Lawrence, Eastern Canada. Geological Association of Canada/Mineralogical Association of Canada, Joint Annual Meeting, Waterloo (Ontario), 1994, Field Trip Guidebook B4, p. 1-67.

Marceau, D., Howarth, P.J. and Dubois, J.-M.M. (1989) Automated texture extraction from high spatial resolution satellite imagery for land-cover classification : concepts and application. International Geoscience and Remote Sensing Symposium, July 10-14, Vancouver, Canada, vol. 5, p. 2765-2768.

McCoy, R.M. (1969) Drainage network analysis with k-band radar imagery. The Geographical Review, vol. 59, p. 493-512.

Miller, R.L. and Khan, J.S. (1962) Statistical analysis in the geological sciences. John Wiley & Sons, New York, 483 p.

Nezry, E., Beaudoin, A. and Lopes, A. (1993) Preprocessing of mutifrequency SAR images : application to geological study of karstic formations (Le Larzac-France). International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'93), Tokyo, Japon, 18-21 août, p. 2135-2137.

Paré, G. (2000) Cartographie des géorisques karstiques à l'aide d'images radar : application à l'île d'Anticosti, Québec. Mémoire de maîtrise, Département de géographie et télédétection, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, 175 p.

Parry, J.T., Wright, R.K. and Thomson, K.P.B. (1980) Drainage on multiband imagery in the Laurentian area, Quebec. Photogrammetria, vol. 35, n° 1, p. 179-197.

Petryk, A.A. (1981) Carte géologique de l'île d'Anticosti. Ministère de l'énergie et des ressources du Québec, Québec, DPV-823, 14 p.

Roberge, J. (1979) Géomorphologie du karst de la Haute-Saumons, île d'Anticosti. Mémoire de maîtrise, McMaster University, Hamilton (Ontario), 218 p.

Smith, C.H. and Tribble, A.P. (1979) The utilisation of side-looking airborne radar (SLAR) in the analysis of karst topography. Remote Sensing Quaterly, vol. 1, n° 1, p. 49-57.

Sweeting, M.M. (1972) Karst landforms. Macmillan, London, 362 p.

Ulaby, F.T., Kouyate, F., Brisco, B. and Williams, T.H.L. (1986) Textural information in SAR images. IEEE Transaction on Geosciences and Remote Sensing, vol. GE-24, n° 2, p. 235-245.

Upchurch, S.B. and Littlefield, J.R. (1987) Evaluation of data for sinkhole-development risk models. *In* B.F. Beck (réd.) Engineering and environmental applications : Proceedings of the second multi-disciplinary conference on sinkholes and the engineering and environmental impacts of karst. A.A. Balkema, Rotterdam, p. 359-364.

White, W.B. (1988) Geomorphology and hydrology of karst terrains. Oxford University Press, New York, 464 p.

Wilson, W.L. and Beck, B.F. (1988) Evaluating sinkhole hazards in mantled karst terrane. In N. Sitar (réd.) Geotechnical aspects of karst terrains : exploration, fondation design and performance, and remedial measures. Geotechnical Special Publication, n° 14, p. 1-24.