

Image Ikonos et étude environnementale : le camp de réfugiés du Hcr en Guinée forestière

Cette étude est un essai pour **améliorer la gestion des situations d'accueil** de réfugiés en Afrique de l'Ouest. Elle a été réalisée à la demande du Fonds français pour l'environnement mondial (Ffem) pour le compte du Haut-Commissariat des Nations unies pour les réfugiés (Hcr). Ce volet met en œuvre les dernières avancées de l'imagerie satellitaire. Il est couplé notamment avec un volet socio-économique et environnemental (encadré 1).



Jacques IMBERNON
Cirad-tera, TA 60/F
Programme espaces et ressources
34398 Montpellier Cedex 5
France

Femme guinéenne avec sa fille.
Guinean woman with her daughter.
Photo Cirad-forêt.

RÉSUMÉ

IMAGE IKONOS ET ÉTUDE ENVIRONNEMENTALE : LE CAMP DE RÉFUGIÉS DU HCR EN GUINÉE FORESTIÈRE

L'impact environnemental du camp de populations réfugiées de Katkama, en Guinée forestière, est mesuré par télédétection spatiale en utilisant une image du satellite Ikonos à très haute résolution. Sur une zone de 100 km² autour du camp, cette image permet de cartographier finement l'habitat, les forêts secondaires, les agroforêts et la palmeraie traditionnelle, ainsi que l'accès au réseau routier et aux bas-fonds cultivables. La photo-interprétation met en évidence une forte emprise spatiale des camps de réfugiés, un grand nombre de bas-fonds cultivables, et une faible couverture forestière. Plus encore, les palmiers à huile sont identifiés individuellement. De l'analyse spatiale de ces informations, il ressort la faible densité de forêts et de palmiers à huile, et le fort potentiel pour l'agriculture de bas-fond. La position du camp de Katkama permet de minimiser les risques de dégradation environnementale et facilite l'accès à l'eau et aux bas-fonds cultivables. Enfin, une analyse de l'ensemble de l'image montre que le couvert arboré est fragmenté en îlots, que les agroforêts forment le plus souvent des auréoles autour des villages et que la densité de palmiers à huile varie entre les terres cultivées, les agroforêts et les forêts secondaires. Dans cette étude environnementale, l'imagerie à très haute résolution est une technologie utile et adaptée, alliant un fort pouvoir de discrimination des objets et une grande facilité d'intégration dans un système d'information géographique.

Mots-clés : télédétection, image Ikonos, occupation des sols, réfugié, Guinée.

ABSTRACT

IKONOS IMAGERY AND ENVIRONMENTAL STUDIES: AN HCR REFUGEE CAMP IN THE GUINEAN FOREST

The environmental impact of the refugee camp in the Guinean forest region of Katkama was measured by remote sensing using very high resolution Ikonos satellite imagery. The image has enabled detailed maps to be made of a 100 km² area around the camp, including habitat, secondary forest, agro-forestry zones and traditional palm groves, as well as access to roads and to moist hollows where cultivation is possible. Photo-interpretation has shown the considerable extent of encroachment of the refugee camp, a large number of moist hollows and low forest cover (12 % of the total area). Each oil palm can be identified individually. Spatial analyses of the data on the camp's immediate surroundings show the low density of forest and oil palms and the high potential for cultivation in moist hollows. The position of the Katkama camp thus minimises risks of environmental degradation and facilitates access to water and moist hollows. Finally, an analysis of the image of the whole shows that tree cover is fragmented into patches, that cultivated trees generally form rings around the villages and that the density of oil palms varies between cultivated areas, agroforest and secondary forest. Very high resolution imagery has proved to be both useful and well-suited to such environmental studies, thanks to excellent capacity for discrimination between objects and for integration within geographic information systems.

Keywords: remote sensing, Ikonos imagery, land use, refugee, Guinea.

RESUMEN

IMAGEN IKONOS Y ESTUDIO MEDIOAMBIENTAL: CAMPO DE REFUGIADOS DEL ACNUR EN GUINEA FORESTAL

Se empleó la teledetección espacial para medir el impacto medioambiental del campo de refugiados de Katkama, en Guinea Forestal, utilizando una imagen de muy alta resolución del satélite Ikonos. Dentro de una zona de 100 km² en torno al campo, esta imagen permite cartografiar detalladamente el hábitat, los bosques secundarios, los agrobosques y el palmeral tradicional, así como el acceso a la red de carreteras y a las tierras bajas cultivables. La fotointerpretación pone de manifiesto una fuerte influencia espacial de los campos de refugiados, un gran número de tierras bajas cultivables, y una escasa cobertura forestal; y todavía más, se pueden identificar individualmente las palmeras de aceite. El análisis espacial de estas informaciones a proximidad de los campos, muestra la baja densidad de bosques y palmeras de aceite, y el alto potencial para la agricultura de los terrenos bajos. La posición del campo de Katkama permite pues minimizar los riesgos de degradación medioambiental y facilita el acceso al agua y a las tierras bajas cultivables. Por último, un análisis del conjunto de la imagen muestra que la cubierta arborea está fragmentada en forma de islotes, que los agrobosques forman a menudo aureolas en torno a los pueblos y que la densidad de palmeras de aceite varía entre las tierras cultivadas, agrobosques y bosques secundarios. En este estudio medioambiental, las imágenes de muy alta resolución constituyen una tecnología útil y adaptada que reúne un fuerte poder de distinción de objetos y una gran facilidad de integración en un sistema de información geográfico.

Palabras clave: teledetección, imagen ikonos, ocupación de suelos, refugiado, Guinea.

Contexte général de l'étude

L'intérêt de l'imagerie satellitaire n'est plus à démontrer dans les domaines de l'agriculture, de la forêt, de la gestion des ressources naturelles ou de la surveillance des risques naturels. Des capteurs à haute résolution (HR), comme Hrv du satellite Spot 4 ou Tm+ de Landsat 7, ont été et restent largement utilisés. Différentes méthodes de classification sont disponibles pour affecter chaque pixel à un certain thème, en se fondant sur les caractéristiques spectrales du pixel : classification supervisée à partir d'échantillons caractérisés au sol ou classification non supervisée définissant des classes spectrales qui sont ensuite agrégées par l'analyste de façon interactive.

La résolution spatiale de ces images HR est de 20 m pour Spot Hrv et de 30 m pour Landsat Tm+. Se pose, toutefois, le problème de la classification des pixels mixtes, composés de plusieurs objets, soit parce que leur taille est inférieure à la résolution du capteur, soit parce que le pixel est à cheval sur deux objets. Dans des paysages relativement fragmentés, comme par exemple de petites parcelles de culture distribuées en forêt, ou pour des études locales nécessitant une grande précision spatiale et thématique, la classification de ces données HR ne fournit pas d'informations suffisamment fiables ou pertinentes. De ce fait, beaucoup d'études d'impact ou de projets de développement local ne font pas appel à ces images HR.

Depuis peu, l'imagerie satellitaire à très haute résolution (Thr), dont la résolution est de 1 à 4 m, offre de nouvelles perspectives dans ces domaines d'application. Comparées à la photographie aérienne de même échelle, ces images sont numériques, géoréférencées et multispectrales. Elles sont à la fois riches en informations et directement utilisables dans

Encadré 1

LES ÉTUDES SOCIO-ÉCONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTALE

Sur le terrain, des études sont aussi menées dans deux domaines complémentaires du volet présenté dans cet article.

- En socio-économie, on étudie l'insertion des réfugiés libériens et sierra-léonais dans l'économie régionale et les structures productives en milieu rural, ainsi que les différentes formes d'accès à la terre chez ces réfugiés en fonction des divers statuts fonciers. Le volet économique est l'occasion de resituer la question des pressions exercées sur les ressources naturelles par rapport à la réalité de la demande et des spéculations les plus importantes. L'enquête va permettre d'évaluer le poids des sollicitations induites par le débouché des marchés et de confronter le problème des dégradations environnementales aux tendances et enjeux d'une économie en pleine restructuration. Les premières enquêtes ont, d'ores et déjà, permis de se rendre compte de l'importante implication des réfugiés dans les circuits d'échange, et dans l'ensemble des activités économiques de la région en général. Certains produits sont actuellement en plein essor grâce aux réfugiés, tels les produits maraîchers. Et la capacité de ces derniers à être mobiles leur a également permis de se constituer en main-d'œuvre journalière dans la coupe du bois et le transport vers les centres urbains. Le second volet, consacré à l'étude de l'impact des réfugiés sur les structures et les pratiques foncières, permet d'analyser les modes d'accès à la terre, la participation des réfugiés à l'activité agricole, l'évolution des modes d'occupation des terres au sein des terroirs (dont les espaces cultivés), la pression foncière actuelle, et plus globalement l'ampleur des défrichements occasionnés ou non par la présence des réfugiés en milieu rural. Des villages et des camps ont été sélectionnés en tenant compte de la diversité régionale, d'un point de vue écologique, économique, ethnique et démographique, de la diversité de l'habitat (en milieu urbain, en milieu rural, en camp de réfugiés isolé) et de l'ancienneté des camps (camp nouveau, camp ancien).

- En foresterie et écologie forestière, on évalue la part respective des réfugiés et des populations locales, avec leurs pratiques traditionnelles, dans la disparition de la forêt dense, ainsi que la régénération forestière (d'un point de vue qualitatif et quantitatif) dans les zones dégradées puis abandonnées par les réfugiés rapatriés dans leur pays d'origine (cas des réfugiés libériens dans la région de Diécké).

Certains sites sont communs aux enquêtes socio-économiques et aux inventaires floristiques. Nous cherchons plus particulièrement, sur ces sites, à suivre les circuits économiques de la commercialisation du charbon de bois et à mesurer le rôle des réfugiés. Des images Ikonos y sont également programmées pour disposer (comme cela a été fait autour du camp de Katkama) d'une localisation des diverses activités et occupations des sols, ainsi que d'une évaluation planimétrique des impacts qui sont évalués par les travaux de terrain.

L'étude socio-économique est réalisée par Aboubacar Camara (Irag) et Adrienne Polomack (université Paris VII). L'inventaire floristique est établi par Moussa Diabate (Irag) et Bernard Dreyfus (Ird).

Contexte environnemental et humanitaire

des systèmes d'information géographique (Sig) pour des diagnostics et une aide à la décision. Il s'agit donc d'une opportunité technique et méthodologique qui nous est offerte pour mieux appréhender les territoires et leurs ressources.

L'analyse que nous avons faite ici de ces données Thr s'intègre dans un projet intitulé « Impact environnemental des populations réfugiées dans les zones d'accueil ». La zone d'accueil étudiée plus particulièrement se situe en Guinée forestière (figure 1).

La Guinée forestière est une région montagneuse, dont l'altitude moyenne varie entre 600 et 800 m, le relief étant le plus souvent formé de collines à fortes pentes, séparées par des bas-fonds et des plaines alluviales. Elle est le château d'eau de l'Afrique de l'Ouest, avec de nombreux et importants cours d'eau qui y prennent leur source (comme le Milo et le Niandan, qui alimentent le Niger au nord).

Cinq types de végétation sont majoritairement présents : les forêts denses, qui correspondent le plus

souvent aux forêts classées, protégées ou enclavées sur des reliefs peu accessibles ; les recrûs forestiers plus ou moins anciens (que nous appellerons par la suite forêts secondaires), dominés par le parasolier (*Musanga cecropioides*) et le palmier à huile (*Elaeis guineensis*) ; les jachères dominées par des espèces spontanées, herbacées et arbustives ; les forêts secondaires dégradées, soumises aux feux de brousse et à la culture itinérante ; les savanes herbeuses et arbustives, le plus souvent impropres à l'agriculture.

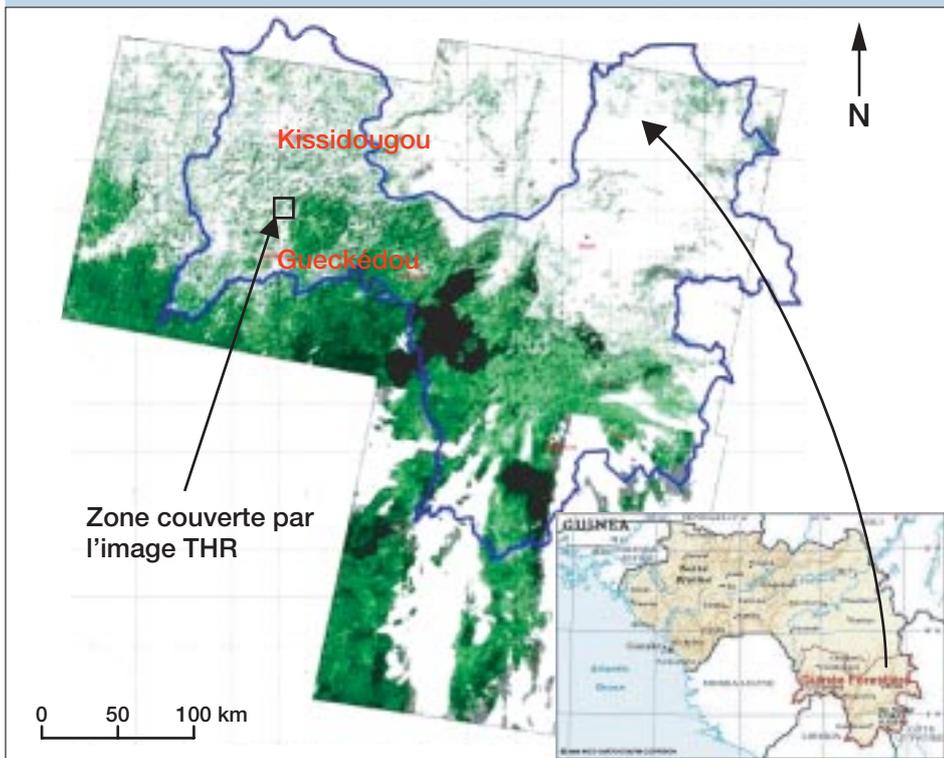
Le climat de la Guinée forestière est de type subéquatorial, avec une longue saison des pluies, de sept à huit mois (d'avril à novembre). La pluviométrie annuelle varie entre 1 750 mm, à Beyla et Kissidougou, et 2 500 mm, à Gueckédou et Macenta.

La population est essentiellement rurale (78 %) et la densité moyenne de 43 habitants au kilomètre carré. L'agriculture repose sur le riz, aliment de base, cultivé majoritairement en pluvial sur les coteaux, mais également de plus en plus dans des bas-fonds irrigués. Le café, culture pérenne souvent en association avec le bananier, est cultivé dans les zones de forêts denses humides et de forêts secondaires. Enfin, le palmier à huile, présent dans les zones de culture pluviale et en périphérie des forêts, apporte traditionnellement un complément alimentaire et monétaire non négligeable.

D'après le recensement de 1996, la population de Guinée forestière est estimée à plus d'un million cinq cent mille personnes. Toutefois, compte tenu de la proximité avec la Sierra Leone et le Liberia, qui connaissent depuis une dizaine d'années conflits internes et guerres civiles, la Guinée forestière accueillait à la même époque environ 620 000 réfugiés, soit 40 % de la population totale. Pour plus de 75 %, ces réfugiés se sont installés en zone rurale, dans des camps jouxtant des villages guinéens ou au sein même de ces villages, disséminés tout au long de la frontière.

Figure 1.

Localisation de l'image Ikonos (de très haute résolution, Thr) en Guinée forestière. La limite administrative de la Guinée forestière est représentée par un trait bleu ; la forêt dense est en vert foncé et la forêt secondaire en vert clair.
Location of the Ikonos image (very high resolution or VHR) in the forest areas of Guinea. The administrative boundaries of the area are shown as blue lines; dense forest is shown in dark green and secondary forest in light green.



Si la situation alimentaire de ces populations est restée satisfaisante tout au long de cette période, c'est en partie grâce à l'aide alimentaire distribuée par le Hcr et les Ong. Mais c'est aussi du fait d'une exploitation accélérée des ressources naturelles par l'agriculture, la coupe de bois, ou les prélèvements sur la palmeraie (palmes et vin de palme). Dans certaines zones, ces pratiques des réfugiés ont entraîné d'importantes dégradations : déboisement, érosion des sols, dégradation de la palmeraie.

Téledétection spatiale

Sur les espaces où sont accueillis des réfugiés, les changements dans l'occupation des sols peuvent être très rapides du fait de la concentration subite des populations dans un espace réduit. En contrepartie, l'extension spatiale de ces changements peut rester relativement circonscrite à la proximité des camps. Pour caractériser la diversité des situations et suivre les changements dans l'occupation des sols, nous utilisons, dans ce projet, toutes les résolutions de la télédétection spatiale : depuis la basse résolution (1 km) pour l'échelle régionale jusqu'à la très haute résolution (1 m) pour des camps, en passant par la haute résolution (20 à 30 m).

L'imagerie satellitaire à très haute résolution (résolution de l'ordre de 1 à 4 m) est nouvelle. Nous montrerons l'utilisation d'une image Ikonos (encadré 2) à 1 m de résolution sur le camp de Katkama (au sud de Kissidougou). Ce camp a un intérêt particulier car il a été créé en urgence, au début de l'année 2001, pour accueillir les dizaines de milliers de réfugiés repoussés vers cette région par les incursions de la guérilla.

L'analyse de cette image Ikonos a pour but de caractériser l'environnement immédiat de ce nouveau camp, afin de mieux évaluer les ressources naturelles et les risques liés

Encadré 2

IMAGE IKONOS

L'image a été acquise par le capteur du satellite Ikonos-2 le 7 mars 2001. La couverture demandée, 12,5 km x 12,5 km, est assurée par deux images de 2,6 km x 12,5 km et 11 km x 12,5 km, ayant un recouvrement de 1,1 km. Ces images sont des produits « *pan-sharpening* », combinant le contenu spatial d'images panchromatiques (0,45-0,90 μm) à 1 m de résolution et le contenu radiométrique d'images multispectrales à 4 m de résolution. La résolution spatiale des images délivrées est donc de 1 m et la résolution spectrale de quatre canaux : bleu (0,45-0,53 μm), vert (0,52-0,61 μm), rouge (0,64-0,72 μm) et proche-infrarouge (0,77-0,88 μm). Ces deux images sont corrigées géométriquement et mises dans la projection *Universal Transverse Mercator*, hémisphère Nord, zone 29, datum WGS84. Les angles zénithal et azimutal solaire de ces images sont voisins de 60° et 117° respectivement. Le format des données délivrées par le fournisseur (Spacemaging) est un GeoTiff codé sur 11 bits par pixel. Cette image Ikonos est difficilement comparable à une image Spot ou Landsat de la même zone (figure 2). On identifie, en effet, sur l'image Ikonos les éléments individualisés du paysage : une habitation, un abri de réfugiés, un arbre, une piste, une parcelle de culture, un bas-fond (figure 3), alors que ces éléments sont « mélangés » sur l'image Spot (pixels mixtes).

Chaque élément identifié sur l'image Ikonos a lui-même une variabilité interne. Il est caractérisé non seulement par sa radiométrie (moyenne et variance) dans les différentes bandes spectrales, mais également par sa forme et, pour les objets élevés, par leur ombre. Aucun traitement « automatique » par des méthodes de classification spectrale ou des méthodes de morphologie mathématique n'est utilisé. Les erreurs seraient trop importantes pour les besoins de l'étude. Seule une photo-interprétation de l'image a été réalisée dans le but d'estimer l'apport de cette image pour caractériser finement l'environnement du camp.

Les images au format GeoTiff sont intégrées directement dans un système d'information géographique (Sig). En combinant les canaux R, V, B, l'image est affichée en vraies couleurs et elle est photo-interprétée à l'écran à l'aide du logiciel MapInfo pour produire rapidement et avec une bonne précision des couches d'informations vectorielles et géoréférencées. Cette utilisation directe de l'image à très haute résolution dans un Sig, sans recours à un logiciel d'analyse d'image, a été choisie pour rendre le traitement accessible à un plus grand nombre d'utilisateurs.

aux prélèvements par les réfugiés. L'objectif est aussi de mieux caractériser les composantes et les formes d'organisation des paysages de la zone, pour réduire au maximum les impacts environnementaux sur des espaces plus larges, mais qui risquent d'être perturbés par cette arrivée massive de réfugiés.

L'image Ikonos sera utilisée plus particulièrement pour cartographier et analyser la répartition de l'habitat et du couvert forestier (forêts secondaires, agroforêts et palmeraie traditionnelle), l'accès au réseau de communication et aux bas-fonds potentiellement cultivables.

Défriche par les réfugiés, dans le « bec de canard », au sud de Gueckedou. Juillet 2000.

Clearings made by refugees in the "duck's bill" to the south of Gueckedou. July 2000.

Photo J. Imbernon.





Figure 2.
Superposition sur le camp de Katkama d'un extrait d'image Spot (résolution 20 m), en haut, avec un extrait d'image Ikonos (résolution 1 m), en bas.
Extract of a Spot image (20 m resolution) superimposed over the Katkama camp (above), with an extract from the Ikonos image (1 m resolution) below.

Résultats cartographiques et statistiques

Réseaux linéaires

Les pistes et les routes goudronnées ont été cartographiées sur l'image Ikonos (tableau I et figure 4). La route goudronnée Kissidougou-Guekedou est large (6 m environ, soit 6 pixels), et elle est bordée par un fossé. Elle est détectable sur les images HR Spot et Landsat dont nous disposons. Par contre, les pistes de terre sont étroites (1 à 4 m de largeur), et elles ne sont pas discernables sur les images HR. Or de nombreuses pistes rayonnent depuis la route goudronnée, et assurent un accès relativement aisé aux villages et aux zones de culture.

Les rivières cartographiées (tableau I et figure 4) sont celles qui font apparaître de l'eau libre. De fait, ces rivières peuvent être considérées comme permanentes car la date de la prise de vue se situe en pleine saison sèche (7 mars 2001). Ce réseau de rivières permanentes dense confirme le rôle de château d'eau de la région et l'accès facile à la ressource en eau.

Occupation des sols

La photo-interprétation a permis de cartographier les classes suivantes d'occupation des sols : l'habitat que constituent les villages et les camps de réfugiés, les bas-fonds qui représentent un potentiel agricole important pour la riziculture intensive, enfin le couvert forestier formé par les agroforêts ou les forêts secondaires (aucune forêt dense n'existe dans la zone couverte par l'image).

Ces résultats mettent en évidence une emprise totale des trois camps de réfugiés équivalente à celle des 41 villages et hameaux guinéens (tableau II et figure 4). Sous l'hypothèse d'une égale densité de l'habitat dans les villages et les camps, le nombre de réfugiés dans la zone avoisinerait donc la population guinéenne.

La cartographie montre aussi le grand nombre de bas-fonds (178), avec une superficie moyenne de 5 ha, une faible largeur (40 à 80 m) et de nombreuses discontinuités le long du bief, liées au relief (figure 5). Sachant que les rendements de riz sont de 4 t/ha et 0,7 t/ha respectivement pour les bas-fonds et les coteaux, et que l'agriculture sur coteaux est une agriculture itinérante sur brûlis, on voit tout l'intérêt de ces bas-fonds en termes de production agricole (le potentiel est d'environ 3 500 tonnes de riz, de quoi nourrir plus de 10 000 personnes) et en matière de protection de l'environnement.

La couverture forestière est relativement faible, avec seulement 12 % de la superficie totale (figure 6). Il ne s'agit donc plus à proprement parler d'un paysage forestier, comme le suggère le nom de Guinée forestière. De plus, les forêts secondaires et les agroforêts sont peu denses. Ces dernières jouent, cependant, un rôle important dans l'économie régionale. Elles permettent notamment une production de produits vivriers consommés localement (banane, cola) ainsi que de produits d'exportation (café, cacao).

Détails dans les classes d'occupation des sols

Sur l'image Ikonos, il est possible d'identifier, dans les bas-fonds, des canaux d'irrigation gravitaire, des aires de battage du riz (taches claires) ou des parcelles cultivées en buttes pour des tubercules comme le taro ou le manioc (figure 8). De ce fait, nous pouvons caractériser plus finement les bas-fonds : aménagés, non aménagés, cultivés en riz, cultivés en tubercules.

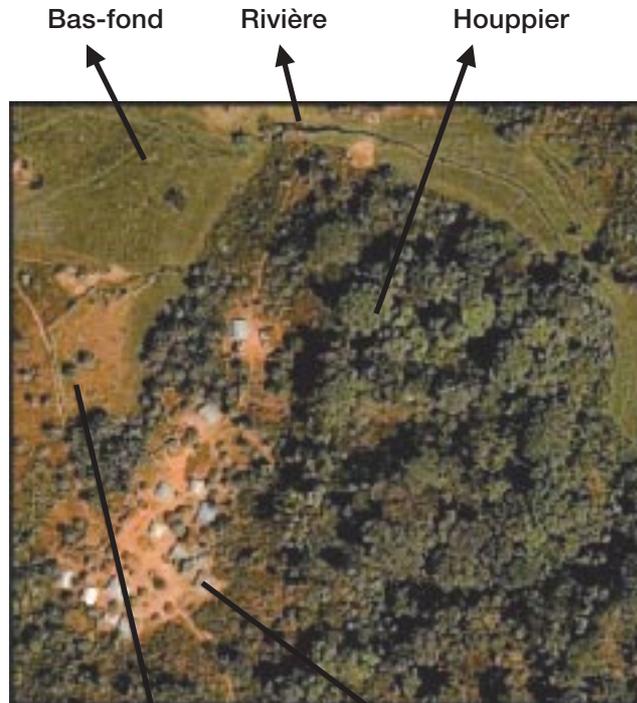


Abri de réfugiés

Tente du Hcr

Case de village
(toit en tôle)

Grenier à céréales

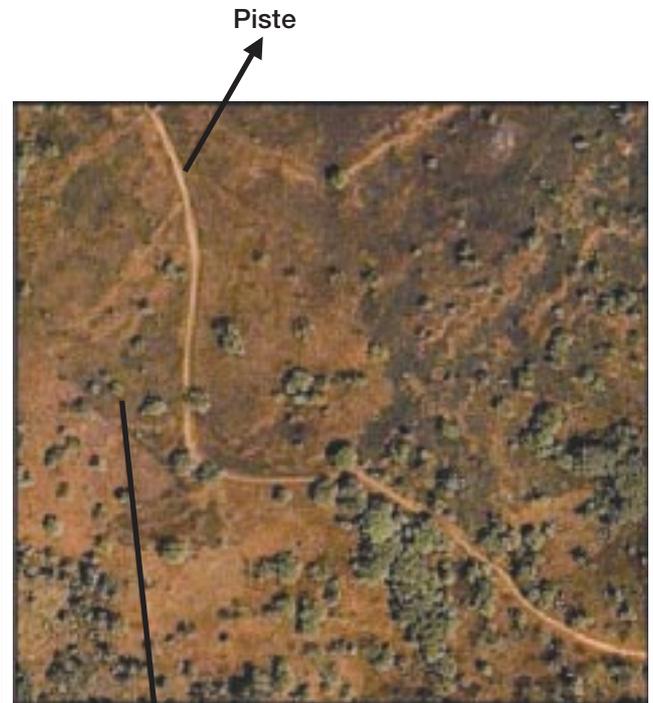


Bas-fond

Rivière

Houppier

Palmier

Case de village
(toit en chaume)

Piste

Arbuste

Figure 3.
Objets identifiable sur des extraits de l'image Ikonos.
Identifiable objects in extracts from the Ikonos image.

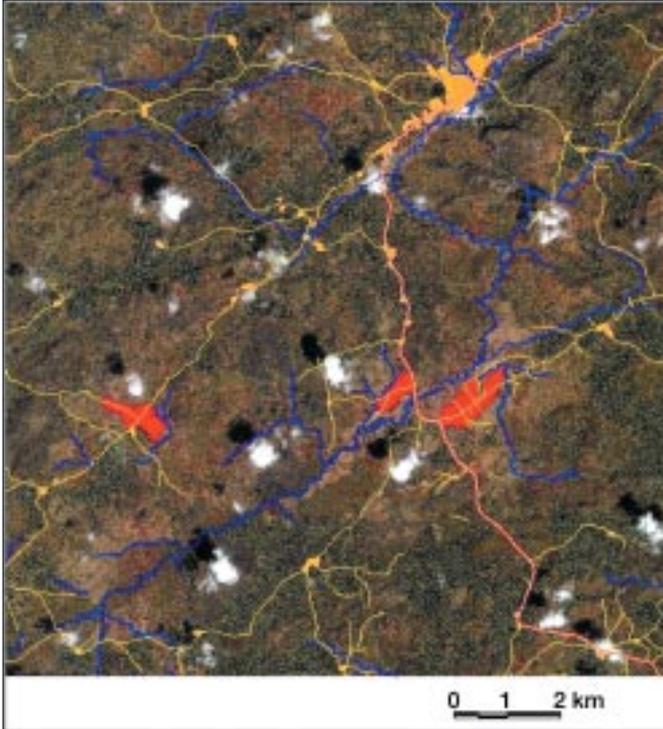


Figure 4.

Image Ikonos figurant les réseaux routiers (rose et jaune), les rivières (bleu foncé), les camps (rouge) et les villages (orange).
Ikonos image showing road networks (pink and yellow), rivers (dark blue), camps (red) and villages (orange).

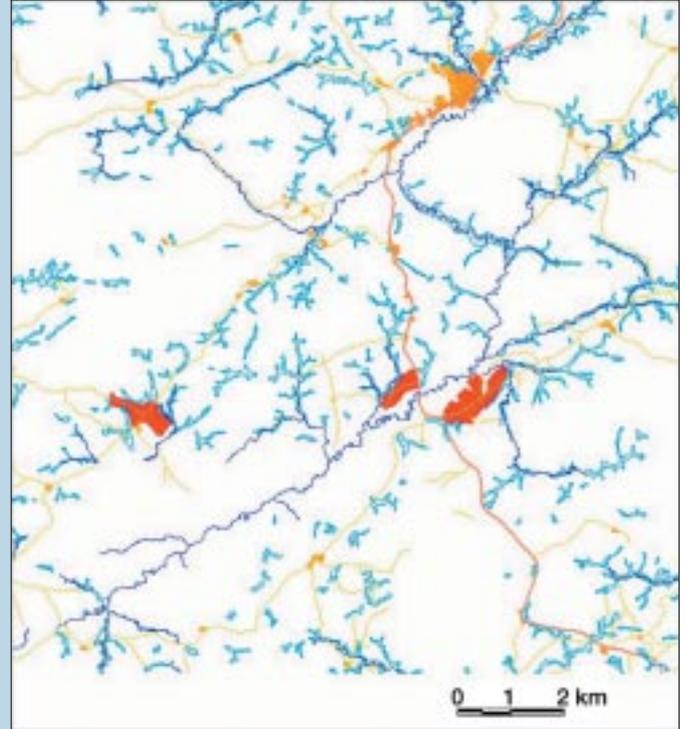


Figure 5.

Les bas-fonds (bleu pâle), les réseaux et l'habitat.
Moist hollows (light blue), networks and habitat.



Figure 6.

Les forêts secondaires (vert pâle), les agroforêts (vert foncé) et l'habitat (camps en rouge, villages en orange).
Secondary forest (light green), agroforest (dark green) and habitat (camps in red, villages in orange).

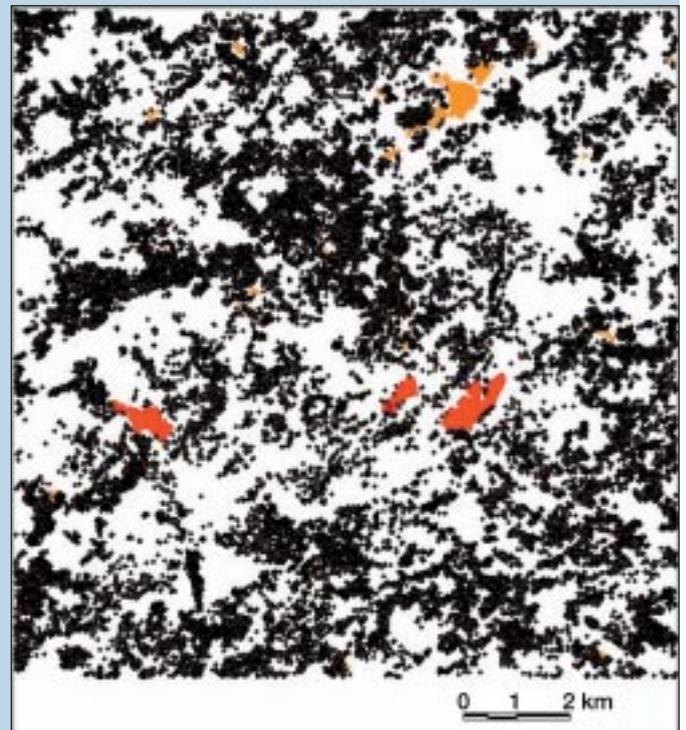


Figure 7.

Les palmiers à huile (points sombres) et l'habitat (camps en rouge, villages en orange).
Oil palms (dark dots) and habitat (camps in red, villages in orange).

Analyse spatiale

Environnement des camps

Les abris dans les camps de réfugiés et les habitations dans les villages peuvent également être identifiés individuellement. Nous pouvons ainsi cartographier des densités d'habitat (techniques utilisées en imagerie médicale). Enfin, les différents types d'abris ou de bâtis sont discernables : abris de réfugiés en argile ou grandes tentes du Hcr, cases d'habitation au toit en tôle ou en paille, petits greniers à grain autour des cases.

Dans le cas des forêts secondaires, il est difficile de discerner les arbres individualisés. Cela est dû à la faible taille des houppiers et au fort recouvrement entre houppiers. Quelques grands houppiers peuvent toutefois être identifiés et il est probable que, dans le cas d'une forêt primaire, l'image Ikonos permettra d'individualiser et de sélectionner ces grands houppiers.

Les palmiers à huile

Il s'agit du palmier à huile *Elaeis guineensis*, dont les fruits sont utilisés pour produire des corps gras à usage alimentaire. Ce palmier à huile, originaire du golfe de Guinée, est présent en grand nombre dans la région mais il est dispersé dans des palmeraies naturelles, sur les terres de cultures annuelles et dans les jachères (figure 7).

Pour l'ensemble de la zone, la densité moyenne (quatre palmiers par hectare) est élevée, et le palmier à huile est bien un élément marquant de ce paysage. Le nombre total de palmiers identifiés (61 000) est important. Il équivaut à environ 427 ha de plantations pures. Ces chiffres ne sont pas négligeables dans la production agricole locale, même si la productivité de ces palmiers reste faible, comparée à une plantation pure avec du matériel sélectionné.

Une analyse spatiale quantitative peut être menée par rapport à la distance aux camps. Ainsi, nous avons réalisé des aires concentriques (*buffers*) d'égale distance au camp, 500 m, 1 000 m, 2 000 m et 3 000 m, et nous avons extrait les statistiques pour chaque type d'objet en fonction de l'éloignement (figure 9).

La densité de forêts et de palmiers à huile à proximité des camps est faible. La ressource en bois et en palmes accessible aux populations réfugiées est donc également faible et on peut considérer que leur impact sur cette ressource sera limité, tout au moins autour des camps. Elle sera probablement prélevée à court terme et les prélèvements vont ensuite s'exercer à plus grande distance, vers les forêts denses, situées à l'est de la zone étudiée.

Les statistiques montrent également le fort potentiel de développement de l'agriculture de bas-fond. En effet, en bordure de chaque camp existent de grands bas-fonds aménageables (85 ha de bas-fonds à moins de 500 m des camps), qui pourraient constituer des pôles d'agriculture intensive pour les populations réfugiées.

Tableau I.
Longueur et densité des routes, pistes et rivières sur l'image Ikonos.

Réseaux	Longueur (km)	Densité (km/km ²)
Routes	18	0,11
Pistes	134	0,84
Rivières	116	0,73

Organisation spatiale du couvert arboré

Les forêts secondaires sont distribuées de manière discontinue. Elles apparaissent comme une mosaïque d'îlots forestiers de faible superficie (21 ha en moyenne). Certaines de ces forêts sont associées à un village et à des pratiques sociales et culturelles (forêts sacrées). Elles répondent aussi à des besoins alimentaires et énergétiques (FAIRHEAD, LEACH, 1996). La distribution spatiale de ces îlots dépend donc, en partie, de la distribution de l'habitat. Cela est aussi vrai pour les agroforêts cultivées en caféiers, bananiers et colatiers, qui entourent ou bordent la plupart des villages. Elles forment une structure de paysage en auréole (figure 10), caractéristique de la région de Gueckedou, plus au sud, et bien visible sur les images Spot et Landsat.

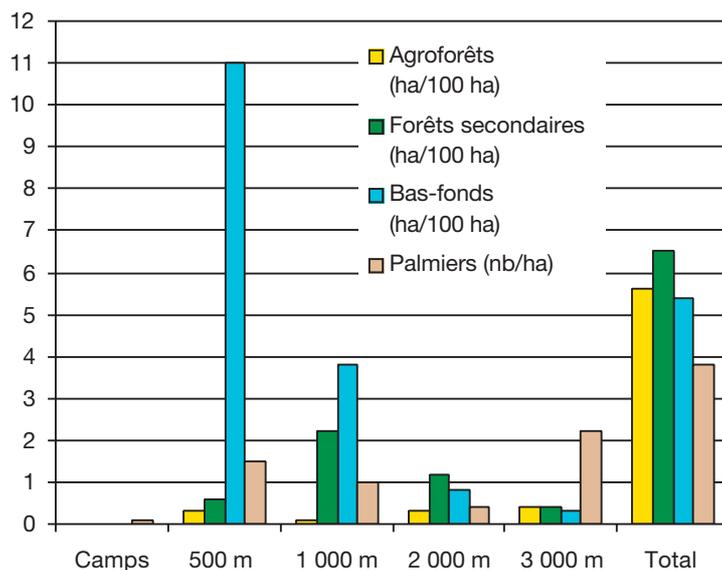
Tableau II.
Caractéristiques des villages, camps, bas-fonds, agroforêts et forêts secondaires d'après l'image Ikonos.

Éléments	Nombre	Surface				Densité (ha/100 ha)
		totale (ha)	maximale (ha)	minimale (ha)	moyenne (ha)	
Villages	41	113	46	1	7	0,7
Camps	3	103	51	18	34	0,6
Bas-fonds	178	861	60	1	5	5,4
Agroforêts	32	896	97	2	28	5,6
Forêts secondaires	49	1 038	117	1	21	6,5

**Figure 8.**

Sur l'image Ikonos d'un bas-fond, identification des canaux d'irrigation gravitaire, des aires de battage du riz et des parcelles cultivées en buttes.

Ikonos imagery of a moist hollow showing identifiable gravity-fed irrigation canals, rice winnowing areas and mound cultivation.

**Figure 9.**

Densité d'agroforêts, de forêts secondaires, de bas-fonds et de palmiers en fonction de la distance au camp de Katkama.

Density of agroforest, secondary forests, moist hollows and palms, according to their distance from Katkama camp.

Les îlots forestiers peuvent être reliés entre eux par des forêts-galeries, distribuées le long du réseau hydrographique. Ce réseau étant dense dans cette zone, les forêts-galeries sont nombreuses, ce qui permet, dans une certaine mesure, la préservation de la biodiversité.

Dans le cas présent, le palmier à huile (*E. guineensis*) est bien représenté, notamment dans les terres de culture, les têtes de bas-fond et les forêts secondaires. Nous distinguons quatre types de répartition pour cette espèce :

- dispersée sur les zones de cultures annuelles (faibles densités sur de grands espaces) ;
- concentrée (en taches) dans des agroforêts ou des forêts secondaires ;
- répartie en périphérie (pourtour) des agroforêts et des forêts secondaires ;
- concentrée en tête (en taches) ou en périphérie (pourtour) de bas-fonds.

Pour des raisons de droit d'accès, ce sont les palmiers hors des parcelles de cultures pluviales, c'est-à-dire à la périphérie des agroforêts et des forêts secondaires, ou le long des bas-fonds, qui seront les plus exposés aux prélèvements des réfugiés.



Bas-fond aménagé par le Hcr dans la région de Gueckedou. Juillet 2000.

Moist hollow in the Gueckedou region, with HCR equipment. July 2000.

Photo J. Imbernon.

Perspectives

L'analyse d'une image à très haute résolution *Ikonos pan-sharpening* (1 m de résolution, quatre bandes spectrales) offre donc une nouvelle vision des paysages par rapport aux images Spot ou Landsat. Non seulement les limites géométriques des unités sont plus précises, mais leur contenu thématique devient beaucoup plus détaillé.

L'image Ikonos que nous avons utilisée améliore les possibilités d'analyse. Elle permet d'identifier de nombreux éléments du paysage que nous ne pouvions pas discerner sur les images Spot ou Landsat, comme les réseaux de pistes rurales, les agroforêts ou les palmiers. Elle permet de mieux caractériser les unités de paysage, comme les bas-fonds (types d'aménagement ou de mise en culture) ou les constructions (abris de réfugiés, cases villageoises, greniers à grain).

Pour le Hcr, qui cherche à minimiser l'impact environnemental des populations de réfugiés et à mieux planifier ses actions dans ce sens, l'imagerie à très haute résolution apparaît bien adaptée à ses préoccupations. D'une part, elle informe sur la

localisation des camps et des infrastructures. Jusqu'à maintenant, le Hcr réalisait ces levés au moyen de Gps. Le plus souvent, il ne dispose d'aucun plan de ces camps. D'autre part, l'image Ikonos permet de localiser et d'évaluer les ressources naturelles qui environnent le camp à plus ou moins grande distance : couvert forestier, bas-fonds cultivables, arbres isolés. Cette information doit aider le Hcr à prendre les décisions afin de réduire au maximum les impacts environnementaux : programmes de fourniture de foyers améliorés, d'aménagement de bas-fonds ou de plantation forestière. Le Hcr a perçu cette opportunité puisque, dès à présent, il commande des images sur les nouveaux camps qui viennent d'être installés au nord de Kissidougou, de même qu'il en acquiert pour d'autres situations (Népal, Kenya). Ainsi, pour les besoins opérationnels du Hcr, la photo-interprétation de ces images s'avère être un moyen fiable et facile à mettre en œuvre, de par l'intégration directe de l'image sous le format GeoTiff dans un système d'information géographique (ici MapInfo).

Du point de vue méthodologique, le traitement automatique ou interactif de l'imagerie à très haute

résolution va, toutefois, requérir de nouvelles approches fondées à la fois sur la radiométrie et sur la forme des objets. Ces approches restent à développer sur la base d'algorithmes disponibles mais qui nécessitent d'être adaptés et assemblés. La cartographie à partir de cette imagerie engendre également des difficultés dans la généralisation cartographique pour regrouper un ensemble d'objets individualisés (points) en une zone (classe thématique). C'est pourquoi des méthodes de densitométrie (évaluation de la densité d'objets individualisés par unité de surface) seraient intéressantes à appliquer dans ce cas.

Au-delà de ces méthodes de cartographie s'ouvre enfin l'étude de l'organisation des paysages, et plus généralement l'écologie quantitative (TURNER *et al.*, 2001). En effet, les travaux menés sur des images Spot ou Landsat sont restés limités, du fait de la faible résolution spatiale de ces capteurs (IMBERNON, BRANTHOMME, 2001). Avec les images à très haute résolution, ces méthodes développées il y a plus de dix ans, pour analyser et quantifier l'organisation des paysages et les processus spatiaux, deviennent à présent applicables.

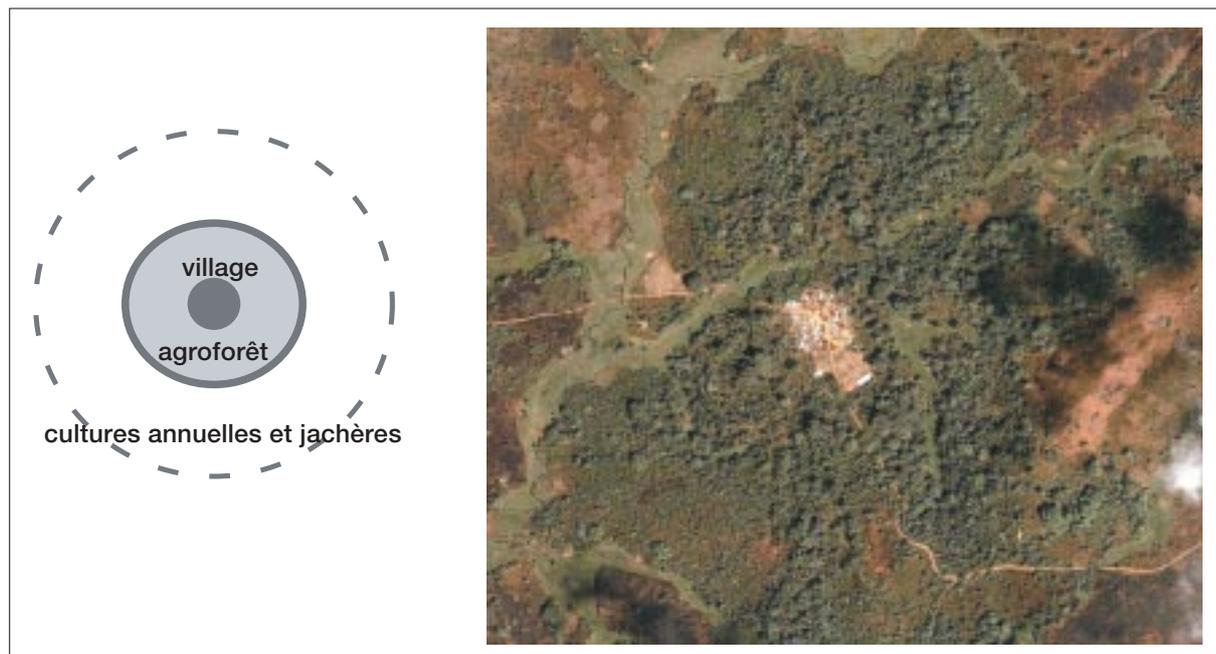


Figure 10.
Organisation du paysage en auréole autour des villages traditionnels.
Landscape organised into rings around traditional villages.

Références bibliographiques

CATANZANO T., IMBERNON J., 2001. Détection d'objets sur des images satellitaires à très haute résolution. Soumis à International Journal of Remote Sensing.

DELORME N., 1998. Aménagement forestier en Guinée. Étude de cas. Montpellier, France, Cirad, 180 p.

DEVEY M., 1997. La Guinée. Paris, France, Karthala.

FAIRHEAD J., LEACH M., 1996. Misreading the african landscape. Society and ecology in a forest-savanna mosaic. Cambridge University press, Royaume-Uni, 354 p.

FRANKLIN S. E., WULDER M. A., GERYLO G. R., 2001. Texture analysis of Ikonos panchromatic data for Douglas-fir forest age class separability in British Columbia. International Journal of Remote Sensing, 22 (13) : 2627-2632.

IMBERNON J., BRANTHOMME A., 2001. Characterization of landscape patterns of deforestation in tropical rain forests. International Journal of Remote Sensing, 22 (9) : 1753-1766.

TURNER M. G., GARDNER R. H., O'NEILL R. V., 2001. Landscape Ecology in Theory and Practice. Pattern and Process. New York, États-Unis, Springer-Verlag, XII, 404 p.

Synopsis

IKONOS IMAGERY AND ENVIRONMENTAL STUDIES: AN HCR REFUGEE CAMP IN THE GUINEAN FOREST

Jacques IMBERNON

The environmental impact

of refugee populations in Guinean forest areas was measured by remote sensing at all spatial scales, during a CIRAD-HCR project. A very high resolution Ikonos satellite image of the area surrounding the Katkama refugee camp was used to evaluate its natural resources and environmental risks.

Using the Ikonos image

This high resolution image offers a new, more "human" view of the landscape, which helps to map habitat in fine detail (villages and camps) as well as secondary forest, agroforest, traditional palm plantations and access to roads and moist hollows where cultivation is possible. Photo-interpretation of the image shows environmental encroachment by the refugee camp equivalent to that of Guinean villages and hamlets. Numerous moist hollows suitable for cultivation (178) are also apparent, as well as the relatively low forest cover (secondary forest and agroforest covering 12 % of the total area). Even individual objects, such as the oil palm *Elaeis guineensis*, are identifiable in the image.

Spatial analysis of concentric areas

A spatial analysis of concentric areas equidistant around the camp (buffers) was then carried out to calculate statistics for each type of object according to its distance from the camp. Results show the low density of forests and oil palms immediately around the camp, and the high agricultural potential of moist hollows less than 500 m away. The analysis thus shows that the choice of Katkama camp's location minimises risks of environmental damage and ensures ready access to water and moist hollows to grow crops.

Analysis of the entire image

Finally, an analysis of the image as a whole shows that tree cover in the area is patchy. Agroforest forms rings around the villages and the density of oil palms varies between annual croplands, agroforest, secondary forests and the periphery of moist hollows. This study demonstrates the valuable technical opportunities offered by very high resolution imagery. The technique removes the usual problems found with aerial photographs or earth observation imagery from Landsat or Spot satellites, since it combines a high level of discrimination between individual objects making up a landscape with a capacity for easy, direct incorporation into geographic information systems.